

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo

ZBORNIK 6. SEMINARJA

RAČUNALNIK V GRADBENEM INŽENIRSTVU

J. Duhovnik (urednik)

Ljubljana, april 1992

CIP - Katalogizacija v knjigi
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

624/628:681.3(063)"1992"
519.688:624/628(063)"1992'

RAČUNALNIK v gradbenem inženirstvu: zbornik 6. seminarja, Ljubljana, april 1992 / J. Duhovnik (urednik). - Ljubljana : Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, OGG, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, 1992

ISBN 86-80223-20-4

1. Duhovnik, Janez 2. Seminar Računalnik v gradbenem inženirstvu (6; 1992; Ljubljana)

29373440

ZBORNIK 6. SEMINARJA

RAČUNALNIK V GRADBENEM INŽENIRSTVU

J. Duhovnik (urednik)
Izdala: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo
Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Ljubljana

© FAGG 1992

Tisk: Formatisk, Ljubljana

Naklada 200 izvodov

ZBORNIK 6. SEMINARJA

RAČUNALNIK V GRADBENEM INŽENIRSTVU

J. Duhovnik (urednik)

Ljubljana, april 1992

VSEBINA

SPLOŠNI DEL

Janez Duhovnik FAGG Ljubljana
UPORABA RAČUNALNIKA PRI TEHNIČNIH NALOGAH V GRADBENIŠTVU V SLOVENIJI 1

Žiga Turk, FAGG Ljubljana
MODELIRANJE GRADBENIH PRODUKTOV 9

Zvonimir Žagar, GF Zagreb
POTREBA UNIFIKACIJE IZRAŽAVANJA EUROCODE STANDARDA 17

Daniel Rebolj, TF Maribor
DVIG NIVOJA ABSTRAKCIJE PROCEDURALNO USMERJENIH PROGRAMSKIH PAKETOV
S POMOČJO METODE *OBJEKTNIH LUPIN* 25

Iztok Kovačič, FAGG Ljubljana
RSO - KNJIŽNICA C++ RAZREDOV ZA SHRANJEVANJE OBJEKTOV 32

Iztok Kovačič,FAGG Ljubljana
OBJEKTNI PRISTOP PRI REŠEVANJU NALOG PO METODI KONČNIH ELEMENTOV 39

Davor Delić, GF Zagreb
EKSPERTNE MREŽE - PRIMJENA U GRAĐEVINARSTVU 46

Iztok Peruš, FAGG Ljubljana
NEVRONSKE MREŽE IN NJIHOVA UPORABA V GRADBENIŠTVU 54

Matjaž Šajn, CGS Ljubljana
NAPREDNE TEHNIKE V INTERAKTIVNI RAČUNALNIŠKI GRAFIKI S PRIMERI REŠITEV
S PODROČJA NIZKOGRADNJE 62

Vlado Gumilar, FAGG Ljubljana
RAČUNALNIŠKO PODPRTO ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V GRADBENIŠTVU 73

GRADBENI MATERIALI

Staš Urbančič, Jakob Šušteršič, ZRMK
Bojan Cestnik, Tanja Urbančič, IJS
AVTOMATSKA SINTEZA PRAVIL ZA NAPOVEDOVANJE KONSISTENCE BETONA 81

Zvonimir Žagar, Davor Delić, GF Zagreb
STROJNA INTELIGENTNA KLASIFIKACIJA DRVETA 89

Miroslav Magerle, GF Zagreb
KLASIFIKACIJA GRAĐE EKSPERTNIM SUSTAVOM 98

GEOTEHNIKA

Bojan Majes, Boštjan Pulko, FAGG Ljubljana
STATIČNA ANALIZA IN DIMENZIONIRANJE PILOTNIH STEN S POMOČJO RAČUNALNIKA 106

Bojan Majes, Janko Logar, FAGG Ljubljana
AVTOMATIZIRANO DOLOČANJE KRITIČNE KROŽNE DRSINE PRI STABILNOSTNIH ANALIZAH 112

Boštjan Pulko, Bojan Majes, Janko Logar, FAGG Ljubljana
NUMERIČNI RAČUN VELIKOSTI IN RAZPOREDITVE ZEMELJSKIH PRITISKOV V VEČSLOJNIH TLEH 120

Bojan Majes, Janko Logar, FAGG Ljubljana
NUMERIČNA ANALIZA STABILNOSTI POBOČIJ PRI SEIZMIČNI OBTEŽBI 128

Janko Conić, Navratil Zoran, GF Novi Sad
PROGRAM "SWESTAB" ZA PRORAČUN STABILNOSTI KOSINA 136

Ludvik Trauner, Zdenko Zorič, TF Maribor
PRIMER UPORABE VERJETNOSTNEGA RAČUNA V MEHANIKI TAL 143

Ludvik Trauner, Stanislav Škrabl, TF Maribor
RAČUNALNIŠKI PROGRAM SPACESOIL 150

Bojan Žlender, Ludvik Trauner, TF Maribor
PROCESNO VODENE LABORATORIJSKE GEOTEHNIČNE PREISKAVE 158

Ludvik Trauner, Bojan Žlender, Stanislav Škrabl, TF Maribor
UPORABA RAČUNALNIŠKE OPREME PRI IZVAJANJU TERENSKIH GEOTEHNIČNIH PREISKAV 166

KONSTRUKCIJE

Z. Žagar, D. Delić, GF Zagreb
U REALNOM VREMENU KOMPJUTEROM REGULIRANE KONSTRUKCIJE 174

Ante Mihanović, Pavao Marović, GF Split
MODELIRANJE KONTINUIRANE MATERIJALNE I GEOMETRIJSKE NELINEARNOSTI OKVIRA 182

Franc Saje, FAGG Ljubljana
ANALIZA VISKOZNEGA ODZIVA BETONSKIH OKVIRJEV 190

Jože Lopatič, FAGG Ljubljana
NELINEARNA ANALIZA OJAČANIH BETONSKIH OKVIRJEV 198

Maks Oblak, Marko Kegl, TF Maribor
UPORABA APROKSIMACIJSKE METODE S SPREMENLJIVO KONZERVATIVNOSTJO PRI OPTIMALNEM PROJEKTIRANJU 206

Janez Reflak,FAGG Ljubljana
VPLIV MONTAŽNIH PARAPETOV NA STATIČNO IN DINAMIČNO OBNAŠANJE ARMIRANOBETONSKIH OKVIROV PRI HORIZONTALNI OBTEŽBI 213

Darko Beg, Jure Banovec, A. Krajnc, FAGG Ljubljana
NOVA VERZIJA PROGRAMA DIMJ ZA KONTROLO NOSILNOSTI JEKLENIH NOSILCEV 222

Davor Delić, GF Zagreb
EKSPERTNI SUSTAV ZA OPTIMALIZACIJU TIPSKE DRVENE HALE *HALLOPT* 229

Zvonimir Žagar et al, GF Zagreb
STRESS ANALYSIS OF HUMERUS BONE 237

Boštjan Brank, Frano Damjanić,FAGG Ljubljana
RAČUN PLOŠČ IN LUPIN Z UPOŠTEVANJEM VELIKIH POMIKOV 242

Boštjan Brank, Frano Damjanić, FAGG Ljubljana
UPORABNOST PROGRAMA SHELIN ZA RAČUN PLOŠČ IN LUPIN 249

UVOD

Zbornik vsebuje prispevke, predstavljene na 6. seminarju RAČUNALNIK V GRADBENEM INŽENIRSTVU v Ljubljani, 2. in 3. aprila 1992.

Seminar je organiziral Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo na FAGG, OGG v okviru raziskovalne dejavnosti .

Vsebinske priprave za seminar je usmerjal programski odbor v sestavi Janez Duhovnik (predsednik), Jure Banovec, Frano Damjanić, Borut Dobovišek, Peter Fajfar, Tomaž Kastelic, Iztok Kovačič, Aleš Krainer, Boris Lutar, Bojan Majes, Mirko Pšunder, Rudi Rajar, Franc Saje, Miran Saje.

Poleg avtorjev iz R Slovenije so se našemu vabilu za sodelovanje odzvali tudi avtorji iz Karlsruhea, Novega Sada, Splita in Zagreba ter tako prispevali k odmevnosti srečanja.

Seminar je bil namenjen vsem, ki se ukvarjajo s tehničnimi vprašanji pri graditvi objektov.

Vsebina zbornika je razdeljena na več poglavij, v katerih so zbrani prispevki, ki so povezani z določenim področjem.

Pri vseh dosedanjih seminarjih se je izkazalo, da so srečanja med ljudmi, ki se ukvarjajo z uporabo računalnikov na različnih, vendar sorodnih področjih, izredno koristna. To ponovno dokazuje sodelovanje velikega števila avtorjev, ki so sodelovali že na prejšnjih seminarjih.

Ker je v okviru Gradbenega sejma v gornji Radgoni vsako drugo leto (izmenično s seminarjem RGI) organizirano posebno posvetovanje s poudarkom na praktičnih izkušnjah pri uporabi računalnika v gradbeništvu, prispevkov na to tematiko v tem zborniku ni.

Posamezni prispevki so v zborniku objavljeni v obliki, kot so jih pripravili avtorji. Zato je vsak avtor odgovoren za jezikovno in vsebinsko ustreznost prispevka. Za trud, s katerim so nedvomno prispevali k širjenju uporabe računalnika v gradbeništvu, se jim iskreno zahvaljujem.

Pri tehničnem urejanju zbornika je pomagala ga. Alenka Kreft, pri delu v zvezi s pripravo seminarja pa sta sodelovali še ga. Nataša Mayer in ga. Darja Okorn. Vsem lepa hvala.

Pri tisku zbornika so se spet iskazali tiskarji Formatiska pod vodstvom g. Lada Šteblaja. Tudi njim hvala.

6. seminar RAČUNALNIK V GRADBENEM INŽENIRSTVU je bil v dvorani podjetja SMELT v Ljubljani. Zahvaljujemo se jim za gostoljubnost.

Ljubljana, marca 1992

Janez Duhovnik

Andrej Vihtelič, FAGG Ljubljana
GENERACIJA MREŽE KONČNIH ELEMENTOV S PREDPROCESORJEM INGRID 257

Boris Lutar TF Maribor
PRERAČUN STAVB S PROGRAMOM ELAST IN RAZVOJ PROGRAMA 266

Vojko Kilar, FAGG Ljubljana
EAMODEL - GRAFIČNI PREDPROCESOR ZA PROGRAM EAVEK 272

Tatjana Isaković, Matej Fischinger, FAGG Ljubljana
POVEZAVA PROGRAMOV DIANA IN EAVEK ZA RAČUN STENASTIH ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJ 280

Vlado Oštir, FAGG Ljubljana
RAČUNALNIŠKO PROJEKTIRANJE ARMIRANOBETONSKIH PLOŠČ V STAVBAH 286

Igor Grdina, Jernej Cimperšek, FAGG Ljubljana
PROGRAMSKA OPREMA ZA RAČUN MOSTNIH KONSTRUKCIJ 294

Christoph Meinecke, University of Karlsruhe, Germany
Dejan Žlajpah, FAGG Ljubljana
OBJECT ORIENTED PROGRAMMING TO INCLUDE STANDARD KNOWLEDGE INTO EXPERT SYSTEMS 302

ENERGETSKI ODZIV STAVB

Aleš Krainer, Silvija Kovič, Miha Tomšič, FAGG Ljubljana
SOLARNO NAČRTOVANJE URBANEGA OKOLJA 308

Rudi Kladnik, FAGG Ljubljana
VPLIV ATRIJA NA PASIVNO SONČNO OGREVANJE ZGRADBE 316

Aleš Krainer, Rudi Perdan, Roman Zorman,FAGG Ljubljana
EKSPERTNI SISTEM - PROJEKTIRANJE OVOJA ZGRADBE 321

Marjana Šijanec Zavrl, Aleš Krainer, FAGG Ljubljana
ANALIZA TEMPERATURE DISTRIBUCIJE V ZUNANJI STENI: PRIMERJAVA MERITEV IN SITU IN SIMULACIJE S PROGRAMOM TEMPOL 328

PROMET

Tomaž Kastelic, FAGG Ljubljana
UPORABA GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV V PROMETNEM INŽENIRSTVU 336

Marijan Žura, FAGG Ljubljana
POVEZAVA GIS Z MODELI ZA OPTIMIZACIJO VZDRŽEVANJA IN PROJEKTIRANJA CEST 342

Dušan Fajfar, Tomaž Katelic, Marjan Žura, FAGG Ljubljana
NEKATERE TEHNIČNE REŠITVE S PODROČJA UPORABE GIS ZA MODELIRANJE CESTNE MREŽE 347

HIDROTEHNIKA

Mitja Brilly, Andrej Vidmar, FAGG Ljubljana
Lidija Globevnik, VGI
Michael Smith, FAGG Ljubljana
UPORABA GIS PRI MODELIRANJU HIDROLOŠKIH POJAVOV IN NASTAVITVI INFORMACIJSKIH SISTEMOV V VODNEM GOSPODARSTVU 356

Andrej Vidmar, FAGG Ljubljana
Geo/SQL V VODNEM GOSPODARSTVU 363

Michael B. Smith, Mitja Brilly, FAGG Ljubljana
APPLICATION OF A DISTRIBUTED PARAMETER HYDRIOLOGIC MODEL FOR URBAN AREAS 369

Lidija Globevnik, VGI
OPTIMIZACIJA NAMAKANJA V VIPAVSKI DOLINI 377

Hinko Šolinc, FAGG Ljubljana
IZRAČUN HIDRODINAMIČNEGA TLAKA IN ADICIJSKE MASNE MATRIKE TEKOČINE Z NEZVEZNIMI LINEARNIMI ROBNIMI ELEMENTI PRI SEIZMIČNI OBTEŽBI 386

Franci Steinman, Michael Smith, FAGG Ljubljana
STRUKTURA TOKA V ODPRTIH VODOTOKIH 392

Matjaž Četina, FAGG Ljubljana
RAČUNALNIŠKA SIMULACIJA DVODIMENZIONALNEGA TOKA V OŽINI DROBOČNIK NA REKI SOČI 400

prof. dr. Janez Duhovnik, FAGG, IKPIR

UPORABA RAČUNALNIKA PRI TEHNIČNIH NALOGAH V GRADBENIŠTVU V SLOVENIJI

POVZETEK

Članek opisuje stanje na področju uporabe računalnika pri tehničnih nalogah, ki je bilo ugotovljeno na podlagi ankete med gradbenimi in projektivnimi podjetji v Sloveniji v začetku leta 1992. Rezultati ankete kažejo, da je uporaba računalnika v gradbeništvu že močno razširjena, razvidne pa so tudi najpomembnejše možnosti nadaljnjega razvoja.

USE OF COMPUTERS IN CONSTRUCTION AND DESIGN ENTERPRISES IN SLOVENIA

SUMMARY

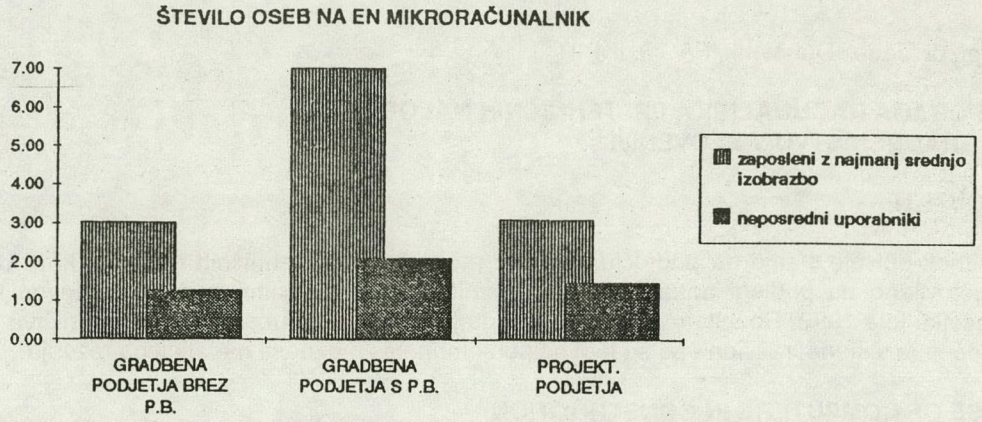
State-of-the-practice in the use of the computers for technical tasks established with the questionnaire among the construction and design enterprises in Slovenia in the beginning of 1992 is described. The results show that the computers have been already widely used and the most significant possibilities of the future development are evident as well.

1. UVOD

Splošno je znano, da je uspešna uporaba računalnika pri večini področij odvisna od usposobljenosti ljudi ter primerne strojne in programske opreme. Za temi tremi dejavniki pa se skriva več podrobnosti, ki pospešujejo ali ovirajo uporabo računalnika. Del teh dejavnikov smo želeli ugotoviti na podlagi ankete, ki smo jo na IKPIR opravili v začetku leta 1992 med 36 podjetji v Sloveniji. Vsa podjetja smo razvrstili v tri skupine: gradbena podjetja brez projektivnih birojev (14), gradbena podjetja s projektivnimi biroji (6) in projektivna podjetja (14). Na podlagi analize odgovorov anketirancev smo poskušali ugotoviti, kateri ukrepi bi najbolj pospešili uporabo računalnika v slovenskem gradbeništvu.

2. PREGLED STANJA IN RAZVOJNE MOŽNOSTI

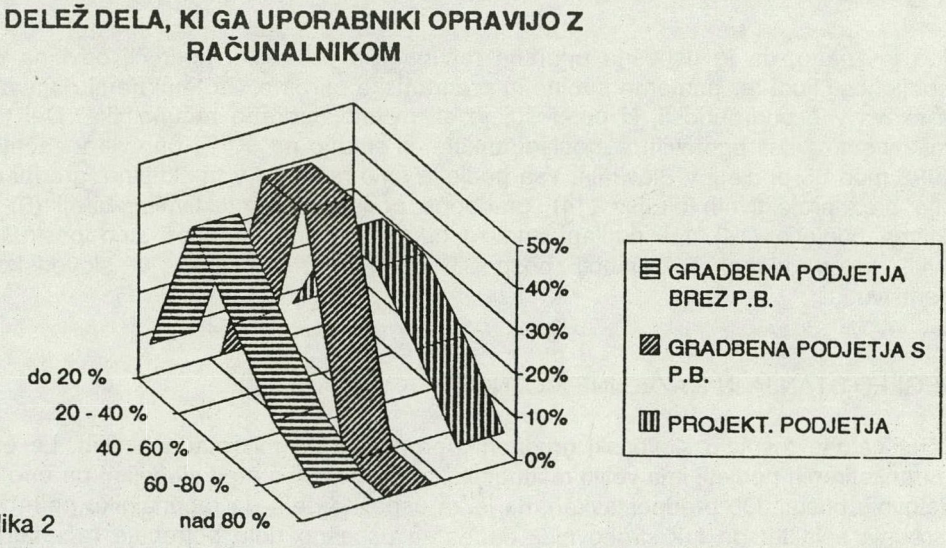
Tehnične naloge rešujejo slovenski gradbeniki predvsem na mikroračunalnikih. Le ena šestina anketiranih podjetij ima veliki računalnik, komaj polovica med slednjimi pa eno ali več delovnih postaj. Ob predpostavkah, da je za uspešno delo na računalniku potrebna vsaj srednja šola ter da tak strokovnjak danes za uspešno delo potrebuje računalnik, lahko ugotovimo, da je za vse, ki se ukvarjajo z računalniki, še veliko možnosti (slika 1). V gradbeništvu je še vedno med eno polovico in dvema tretjinama takih strokovnjakov, ki bodo v prihodnosti začeli delati z računalnikom. Največ jih je v gradbenih podjetjih, ki imajo v svoji sestavi tudi projektivne biroje. To je na prvi pogled nenavadno, toda upoštevati je treba, da gre predvsem za velika podjetja, ki se še niso razdelila na več manjših, specializiranih podjetij. Ta imajo očitno več volje in možnosti za posodabljanje dela, saj so skoraj izenačena s projektivnimi podjetji. Število oseb na en mikroračunalnik, ki je eden izmed dejavnikov, ki kažejo izkoriščenost strojne opreme, je med ena in dva.



Slika 1

Tudi tu so na prvem mestu manjša gradbena podjetja brez projektivnih birojev, takoj za njimi pa projektivna podjetja.

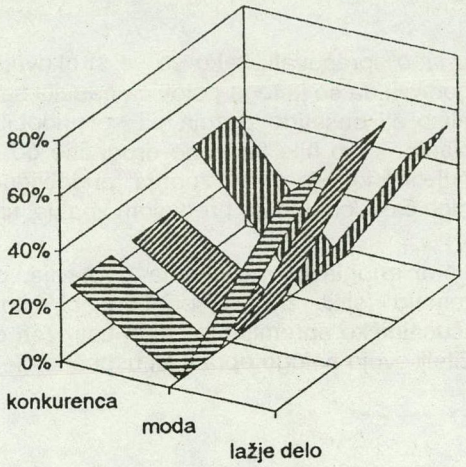
Delež dela, ki ga uporabniki opravijo z računalnikom, je presenetljiv (slika 2). Polovico svojega dela opravi ne glede na vrsto podjetij nad 30% uporabnikov.



Slika 2

Na vprašanje, kaj jih sili v uporabo računalnika (slika 3), je večina odgovorila, da lažje delo, precej manj pa je takih, ki jih v to sili konkurenca. Ker je to moderno, naših gradbenikov ne gane. Stanje je tudi tu po vseh vrstah podjetij skoraj enako.

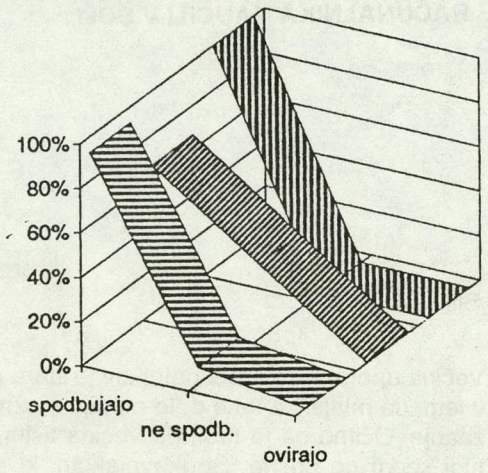
KAJ SILI PODJETJA V UPORABO RAČUNALNIKOV



Slika 3

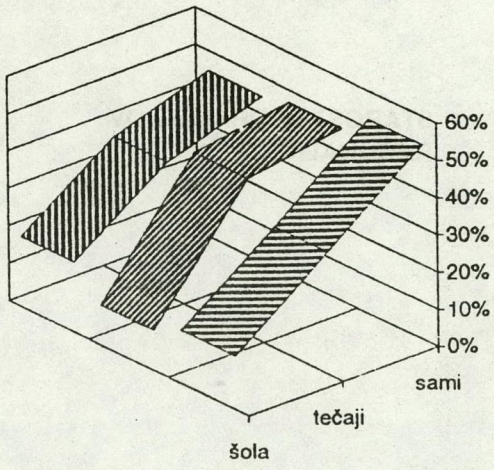
V podjetjih vladajo ugodni odnosi glede dela z računalnikom (slika 4). Skoraj brez izjeme to spodbujajo. Še najslabše je to v velikih podjetjih s projektivnimi biroji.

ODNOS PODJETIJ DO DELA Z RAČUNALNIKOM



Slika 4

KAKO SO SE NAUČILI UPORABLJATI RAČUNALNIK

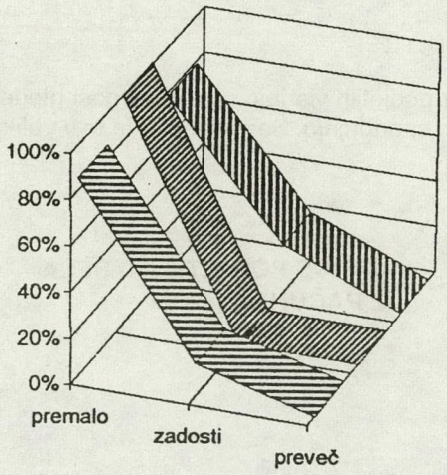


Slika 5

Ko smo spraševali, kako so se strokovnjaki naučili uporabljati računalnik (slika 5), smo ugotovili, da se je tega polovica naučila sama, nekaj manj so znanja pridobili na tečajih, le petino ali desetino znanja pa so pridobili v šoli. Očitno je to posledica razmer v času šolanja, ki so bile bistveno drugačne od sedanjih. Na to kaže tudi stanje v projektivnih podjetjih, kjer je delež znanja, pridobljenega v šoli, največji. Očitno je, da se v šoli že dolgo časa posreduje predvsem znanje, ki je potrebno projektantom.

Skoraj enoglasno pa večina ugotavlja, da so se o uporabi računalnika v šoli naučili premalo (slika 6). Ta odgovor bi bilo koristno uporabiti kot argument za boljše računalniško opremljanje šol in ustrezen delež ur. Ob tem predpostavljamo, da so doslej učitelji svojo nalogo opravljali uspešno glede na razmere.

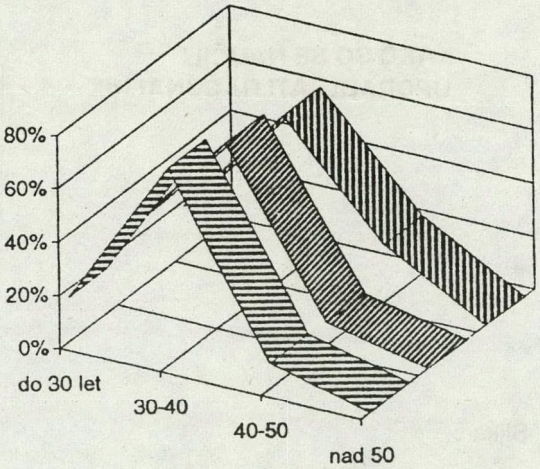
KOLIKO SO SE O UPORABI RAČUNALNIKA NAUČILI V ŠOLI



Slika 6

Večina uporabnikov računalnikov je stara med 30 in 40 let (slika 7). Razlog za to je bodisi v tem, da mlajši za tako delo nimajo možnosti, ali pa si morajo pred tem pridobiti dodatno znanje. Očitno pa je tudi, da večina tistih, ki z računalnikom niso imeli opraviti v šoli, to tudi sedaj ne počne. Strokovnjakom, ki so stari nad 40 let, bi bilo zato treba posvetiti posebno pozornost pri organizaciji tečajev.

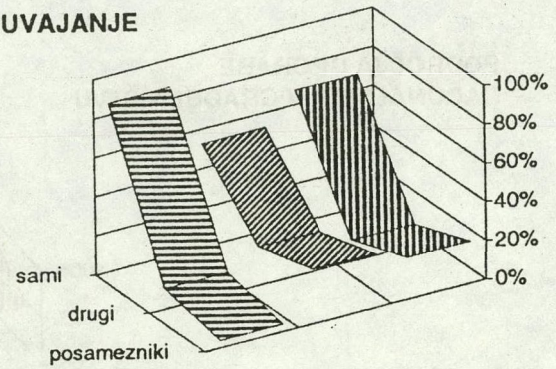
STAROST UPORABNIKOV RAČUNALNIKA



Slika 7

Precejšen delež je takih, ki so za uvajanje računalnikov poskrbeli sami (slika 8). Ni pa malo takih, ki so to skrb prepustili posameznikom v podjetju, ki to največkrat počno kot navdušenci. Ker to početje zahteva dosti ozko specializiranega znanja, je to eno izmed področij, kjer bi mlajši, za delo z računalniki dobro usposobljeni strokovnjaki, lahko našli zaposlitev.

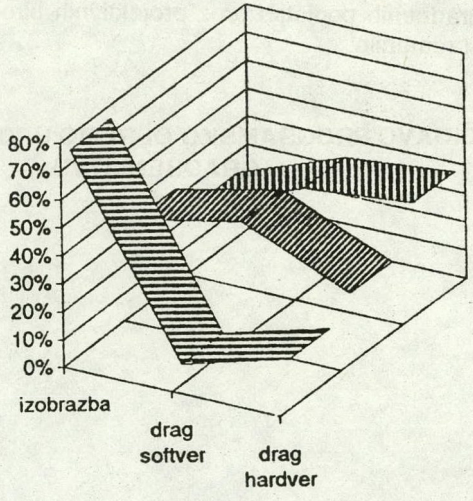
KDO JE V PODJETJIH POSKRBEL ZA UVAJANJE RAČUNALNIKOV



Slika 8

Intenzivnejšo uporabo računalnika ovirajo različni vzroki (slika 9). Čista gradbena podjetja najbolj pogrešajo ustrezno izobražene kadre. Gradbena podjetja s projektivnimi biroji in projektivna podjetja pa ovira pomanjkanje denarja za strojno in programsko opremo. Iz analize vpliva cene programske opreme je lepo razvidno, da čista gradbena podjetja ne potrebujejo dosti specializirane programske opreme, ki je običajno dražja od splošno uporabnih programov. Iz slike je tudi razvidno, da je strojna oprema, ki jo potrebujejo projektivna podjetja,dražja od take, ki zadošča gradbenim podjetjem.

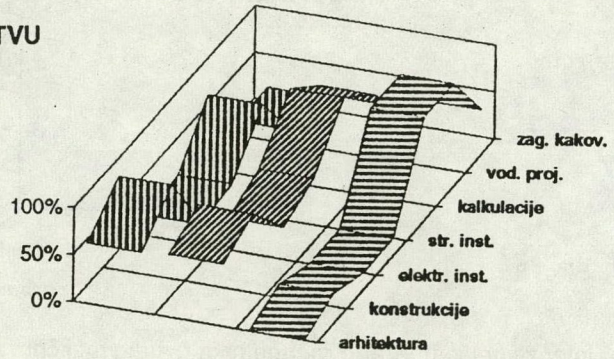
KAJ OVIRA INTENZIVNEJŠO UPORABO RAČUNALNIKOV



Slika 9

Najbolj razširjena je uporaba računalnika na področju kalkulacij, nato pa sledijo konstrukcije (slika 10). Glede na razmere nekaj let nazaj je razveseljivo stanje na področju arhitekture, saj tu računalnik uporablja kar polovica podjetij. Očitno je močno razširjena tudi uporaba računalnika pri vodenju projektov.

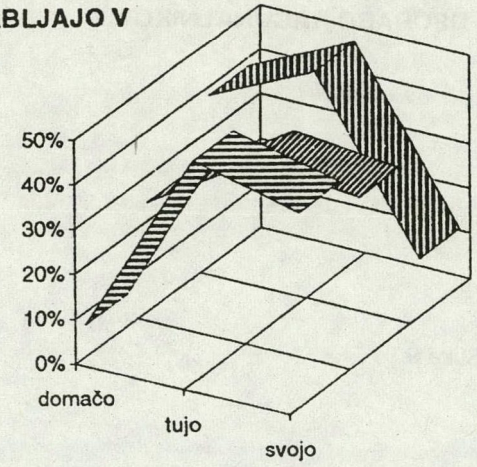
PODROČJA UPORABE RAČUNALNIKA V GRADBENIŠTVU



Slika 10

Skoraj polovica programske opreme pri nas je tujega izvora (slika 11). Delež domače programske opreme je največji v projektivnih podjetjih, svojo pa največ uporabljajo v gradbenih podjetjih brez projektivnih birojev. To stanje se tudi v bodoče verjetno ne bo spremenilo.

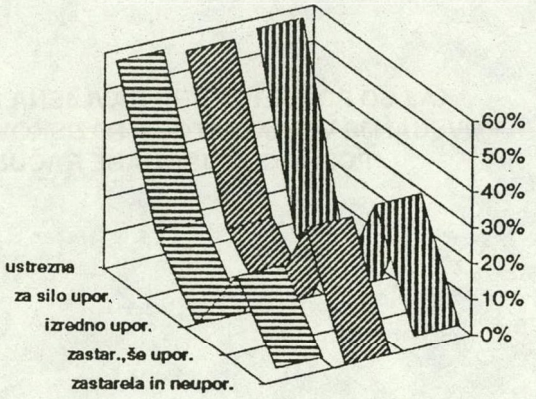
ČIGAVO PROGRAMSKO OPREMO UPORABLJAJO V GRADBENIŠTVU



Slika 11

Ocena programske opreme, ki jo uporabljajo v podjetjih, je izredno vsklajena (slika 12). Nad polovico jih meni, da imajo opremo ustrezno, okoli 30% pa, da je oprema sicer zastarela, toda še uporabna. Proizvajalci programske opreme imajo torej lepe možnosti.

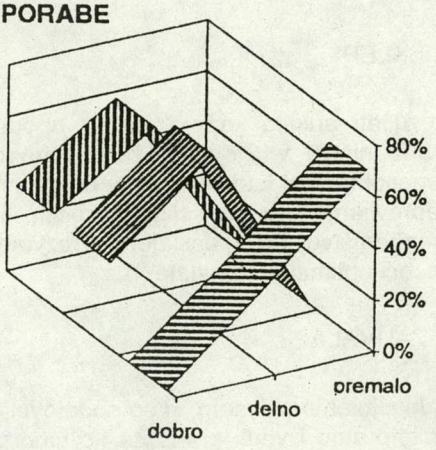
KAKO PODJETJA OCENJUJEJO PROGRAMSKO OPREMO, KI JO UPORABLJAJO



Slika 12

Uvajanje sodobnih tehnologij je nujno povezano z raziskovalnim delom. Odgovori na vprašanje, kako so uporabniki seznanjeni z rezultati raziskovalnega dela na področju uporabe računalnika v gradbeništvu (slika 13), kažejo velike razlike med vrstami podjetij. Tu se pokaže dosedanja dobra povezanost gradbenih podjetij s projektivnimi biroji in projektivnih podjetij z raziskovalnimi organizacijami. Te zveze pri podjetjih brez projektivnih birojev očitno ni.

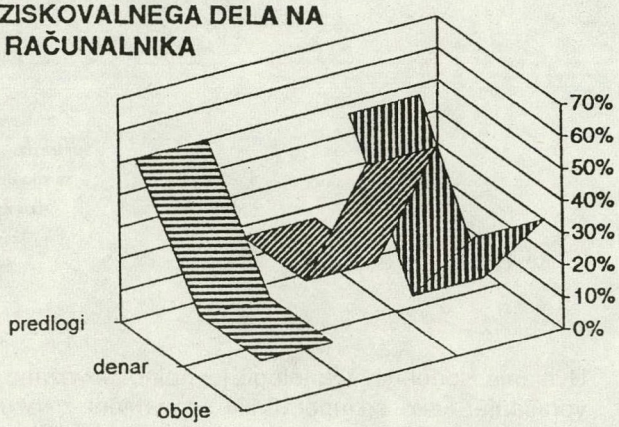
KAKO SO UPORABNIKI SEZNANJENI Z REZULTATI RAZISKOVALNEGA DELA NA PODROČJU UPORABE RAČUNALNIKA V GRADBENIŠTVU



Slika 13

Podobni pravkar opisanim so odgovori na vprašanje, kaj bi bila podjetja pripravljena prispevati za povečanje učinkovitosti raziskovalnega dela na področju uporabe računalnika (slika 14). Predloge in denar bi bili pripravljeni prispevati tisti dve skupini podjetij, ki sta o rezultatih raziskovalnega dela bolje obveščeni.

KAJ SO PODJETJA PRIPRAVLJENA PRISPEVATI ZA POVEČANJE UČINKOVITOSTI RAZISKOVALNEGA DELA NA PODROČJU UPORABE RAČUNALNIKA



Slika 14

3. SKLEP

Rezultati ankete kažejo, da je uporaba računalnika za reševanje tehničnih nalog v gradbeništvu v Sloveniji že močno razširjena. Nadaljnji razvoj ovirajo pomanjkljiva usposobljenost kadrov in ne v celoti ustrezni strojna in programska oprema. Smiselno je odpravljanje ovir na tistih področjih, ki so najbolj zaostala glede na splošno stanje v gradbeništvu. Le z usklajenim razvojem v vseh dejavnostih gradbeništva bo mogoče doseči optimalne rezultate.

4. ZAHVALA

Zahvaljujemo se vsem, ki so sodelovali v anketi in s tem omogočili nastanek tega zapisa. Anketo smo izvedli prvič. Že ko smo prejeli prve odgovore, smo ugotovili, da nekatera vprašanja niso bila dovolj jasno postavljena. Še bolj se je to pokazalo pri obdelavi ankete. Ker menimo, da so rezultati ankete koristni za vse, ki se ukvarjajo z računalniki, bomo anketo v prihodnje nekoliko dopolnili. Vse, ki imajo kakršnokoli pripombo ali predlog, prosimo, da nam jih posredujejo.

mag. Žiga Turk, Univerza v Ljubljani, IKPIR-FAGG, Jamova 2, Ljubljana.

Modeliranje gradbenih produktov

Še posebej če na računalniško integrirano načrtovanje gledamo samo kot na del aktivnosti, ki jih izvajamo v času celotne življenjske dobe objekta, postaja model gradbenega produkta (building product model) skupni imenovalec vseh programskih rešitev v zvezi s tem.. V prispevku bo pokazana vloga modela gradbenega produkta za modeliranje predpisov, standardov, zahtev investitorja, procesa projektiranja, projektne dokumentacije in samega projekta. Opisane bodo metode modeliranja in predstavitve modelov, ki so se uveljavile v svetu oz. so stanadardizirane. S prispevkom bi radi udeležence seminarja opozorili na širši pomen modeliranja informacij v zvezi z gradbenimi produkti, kar bi morala biti osnova za vse, ki se ukvarjajo z izdelavo med seboj sodelujočih računalniških rešitev za gradbeništvo.

Modelling of Building Products

When integrated cad is understood as a part of a building product life cycle, the building product model is becoming an important common factor of the participating software. The paper presents the role of the building product model in modelling of standards and regulations, the design process, the project documentation in the project itself. Information modelling methods and data exchange standards will be presented briefly. It wishes to remind the participants of the seminar on the role of building product information modelling, which should become a foundation for any inter-operable software solutions in civil engineering.

1. UVOD

Računalniški programi pomagajo pri vedno večjem številu operacij, ki povezane tvorijo proces nastajanja navodil za gradnjo, uporabo in načrtovanje konstrukcij (popularno načrt konstrukcije). Ker so programi med seboj pogosto slabo povezani in nezdružljivi, konstrukter često opravlja nalogo vmesnika med izhodom enega in vhodom drugega programa in med otoki avtomatizacije, ki so prisotni na nekaterih področjih.

Zahteva po integraciji opravil v gradbeništvu in arhitekturi s pomočjo računalnikov in informacijske tehnologije se pojavi nekako v istem času, ko se drugje v tehniki pojavi CIM. Tukaj to imenujemo tudi Computer Integrated Construction - CIC. Pomemben del znotraj CIC je računalniško integrirano načrtovanje ali integrirani CAD.

Motiva za integracijo rešitev v vseh inženirskih panogah sta vsaj dva. Prvi je popolnoma naravna želja, da se napori vseh, ki kakorkoli sodelujejo pri izdelavi *enega* produkta čim bolj povežejo, saj gre vendarle za *eno* stvar. Drugi pa je posledica dejstva, da je strošek spremembe v fazi načrtovanja bistveno manjši od stroška, ki bi nastal v kasnejših fazah življenjske dobe produkta, zato je ekonomsko upravičena vsaka rešitev, ki povečuje odziv čim večjega števila sodelavcev v čim zgodnjejši fazi življenja produkta. To pa omogoča ravno integrirano načrtovanje.

1.1 Kaj je integracija

Integriramo subjekte, ki sodelujejo pri načrtovanju. Torej računalniške programe, projektante in računalnike v vseh mogočih kombinacijah oz. vsakega z vsakim. S stališča predmetov načrtovanja (konstrukterska opravila, deli načrta) integriramo (/SAUS90/) računalnik v vsa konstrukterska opravila in konstrukterska opravila med seboj, kjer je računalnik oz. informacijska tehnologija glavno orodje za povezovanje.

Pomembna lastnost povezljivih programov je njihova sposobnost, da z drugimi programi izmenjujejo podatke[1] ali informacije[2]. Namenoma poudarjamo razliko med enim in drugim, saj ravno zaradi razlike med tema dvema pojmomoma prihaja do bistvenih zapletov pri integraciji različnih CA*[3] orodji:

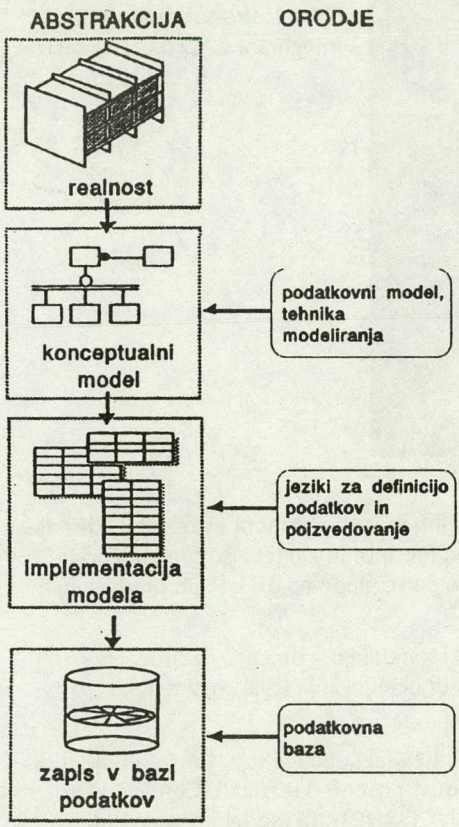
- Večina sedanjih CA* orodij je prirejena samostojnemu delu ali pa kvečjemu izmenjavi podatkov, ne pa tudi izmenjavi informacij.
- Obstoječe programske rešitve in gradbena stroka nasploh doslej ni posvečala posebne pozornosti podatkovnim, kaj šele informacijskim modelom[4] stvari, s katerimi se ukvarja (za razliko od npr. geometrijskih ali matematičnih). Programi imajo nejasne in med seboj nekompatibilne predstave o svetu, ki ga obravnavajo. Pogosto to velja tudi za predpise in strokovno literaturo. Inženir razlike premaguje z globokim znanjem, ki ga je pridobil v času 17 letnega šolanja, globokega znanja pa še ne znamo učinkovito kodirati z računalnikom. Za rešitev problema je potrebna natančna informacijska analiza vsega, kar v računalniško integrirani sistem sodi.
- Programi delajo vsak na svojem modelu. Modeli so na različnih nivojih abstrakcije. Problem je mogoče reševati na več načinov. Najbolj direktna se zdi izdelava ustreznih pretvornikov iz enega v drug model, vendar pretvarjanje podatkov iz nižjega v višji nivo abstrakcije načelno ni mogoče opravljati avtomatsko (npr iz modela EAVEK v geometrijski model).

Razvoja integriranih CAD orodij se lahko lotimo na več načinov. Kratkoročne rezultate lahko pričakujemo z zamenjavo "pametnega" inženirja z "bolj ali manj pametnimi" programi za pretvorbo podatkov, dolgoročnejše rezultate pa, ko bodo programi lahko izmenjevali tudi informacije.

1.2 Informacijsko modeliranje

V luči računalniško integriranega CAD se pojavlja potreba po modelu, ki bi opisoval produkt v njegovi celotni življenjski dobi. Temu modelu pravimo **model gradbeniškega produkta** (building product model) in z njim označujemo unijo vseh podatkov, ki nastajajo, se uporabljajo in izginevajo skozi celotno življenjsko dobo produkta.

[1] predstavitev informacije neodvisno od pomena /WILS87/.
[2] podatek in pripadajoči pomen.
[3] CAD, CAM, CIM, CADD, CAAD ...
[4] samozadostna, logično povezljiva in nedvoumna definicija reči in konceptov, ki se pojavljajo v prostoru diskusije /WILS87/ predvsem s stališča človekovega razumevanja tega prostora; tudi konceptualni model /TURN88/.



Slika 1: Modeli med realnostjo in predstavitvijo konkretnega produkta v računalniku (po /BJOR91/).

Ko začnemo govoriti o totalnosti vseh podatkov, na nek način prihajamo v nasprotje z delom definicije modela, saj naj bi ta vseboval samo nekatere lastnosti stvari, ki se modelira. Iz tega izhaja tudi temeljna težava pri izdelavi modelov produktov, namreč njihova obsežnost in kompleksnost.

To je tudi vzrok za to, da se analize takih modelov lotevamo z močnejšimi orodji za analizo informacij, da na področju prihaja do mednarodnega sodelovanja ter da se modeli in načini za zapis modelov standardizirajo.

1.3 Algoritem izdelave modelov

Za izdelavo modelov gradbenih produktov je torej treba (slika 1):

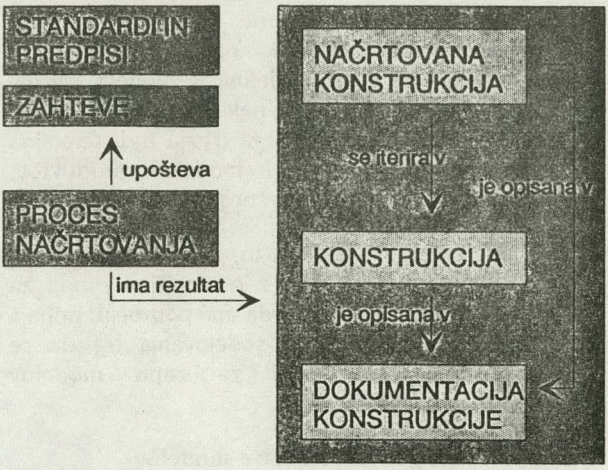
1. Izbrati ali izdelati ustrezen podatkovni model[5].
2. Izbrati tehniko konceptualnega modeliranja glede na podatkovni model.
3. Izdelati konceptualni model produkta z uporabo te tehnike. Po potrebi se vrniti na korak 1.
4. Predstaviti konceptualni model računalniku oz. računalniškim programom, da bodo vanj lahko pisali in iz njega brali vsebino modela.
5. Napolniti predstavitev s podatki o konkretnem produktu.

Korake 1-4 opravijo v razvoju programske opreme, korak 5 pa uporabniki. Za potrebe kreativnega načrtovanja pa Eastman /EAST91/ predlaga, da končni uporabnik izvede tudi koraka 3 in 4 (slednjega naj bi naredil nek program avtomatsko).

2. KONCEPTUALNI MODELI ZA INTEGRIRANI CAD V AEC[6]

Modele, ki se pojavljajo v integriranem CAD lahko v smislu slike 2 razdelimo na naslednje podmodele:

[5]podatkovni model; model, ki daje na razpolago osnove koncepte in orodja za opis podatkov, relacij med podatki, pomena podatkov in omejitev, ki se v zvezi s podatki pojavljajo /KARS91/.
[6]Angleška kratica za področje arhitekture, inženirstva in konstruktive.



Slika 2: Prostor diskusije za integrirani CAD (iz /TURK91/)

model predpisov in standardov ter zahtev investitorja	Modeliramo "robne pogoje", ki jim mora načrt mora ustrezati in kriterije za ocenjevanje kvalitete rešitev. Predpisi in zahteve so semantično in sintaktično podobni, razlikujejo pa se glede na to, kdo jih predpisuje in za kakšen namen.
model proces projektiranja	Modeliramo akcije in akterje, ki sodelujejo v procesu načrtovanja. Akcije kot npr. analiza, sinteza in ocenjevanje izvajajo akterji kot so dizajnerji, programi, računalniki ...
nastajajoči projekt (procesni model)	Modeliramo objekt, kot ga vidimo v fazi načrtovanja, torej vsebuje tudi alternativne rešitve, pojasnila, odvisnost med rezultati. Cornick, ki je tudi posebej poudaril ta model /CORN91/, ta model imenuje tudi procesni model (process model).
končni projekt (statični model)	Modeliramo objekt, ki bo na koncu tudi izveden. Model vsebuje opis izvedenega objekta s potrebnimi navodili za izvedbo. Imenujemo ga lahko tudi statični model.
model izhodne dokumentacije	To je rezultat klasičnega načina projektiranja, ki pa se zahteva tudi od računalniško integriranega CAD. Opisuje statični model na način, ki je razumljiv ljudem. Obliko in vsebino določajo predpisi.

Vsi našteti podmodeli se ukvarjajo z istim produktom. Motivi za razvijanje podatkovnih modelov za CAD so podobni tistim, zaradi katerih načrtujemo podatkovne baze. Gre za to, da je potrebna splošna metoda za predstavitev logične strukture, v enem primeru nekih poslovnih podatkov, v našem pa produktov, ki jih načrtujemo s CAD programi.

3. PODATKOVNI MODELI IN TEHNIKE ZA MODELIRANJE INFORMACIJ

Glede na pestrost informacij, ki se pojavlja znotraj integriranega CAD (slika 2), se uporabljajo tudi zelo različne formalne tehnike za modeliranje oz. opisovanje podatkov, postopkov, znanja ... ki se v tem procesu pojavljajo. Razdelimo jih lahko na:

- Tehnike za modeliranje aktivnosti, ki so uporabne predvsem na področjih, kjer je najbolj zapletena stvar v sistemu nek proces - npr. za opisovanje procesa načrtovanja. Te tehnike so dobro prilagojene algoritmičnemu razmišljanju o programski opremi (npr. IDEF0 - SADT).
- Tehnike za modeliranje toka podatkov se koncentrirajo na to, kaj se znotraj nekega procesa dogaja s podatki, od kje prihajajo, kdo jih uporablja in kam gredo (DFD).
- Tehnike za modeliranje informacij, ki se koncentrirajo predvsem na strukturo podatkov in informacij, ki se pojavljajo v problemu. Te tehnike so uporabne predvsem na področjih, kjer prevladujejo zapletene in raznolike podatkovne strukture (E-R diagrami, NIAM, IDEF1X, EXPRESS-G).
- Tehnike za modeliranje podatkov (Express) določajo implementacijo podatkovnih modelov.

Iz povedanega sledi, da lahko isti problem modeliramo z različnimi tehnikami oz. med seboj tesno povezane probleme (slika 2). Eden od problemov, ki jih je za integrirani CAD potrebno rešiti, je tudi uskladitev modelov, ki nastanejo kot rezultat različnih tehnik modeliranja.

3.1 Splošni koncepti za opisovanje UoD[7]

UoD pogosto razumemo kot množico elementov in relacij med njimi. Stroka si že dolgo prizadeva, da bi definirala splošne koncepte, ki bi jih uporabili za opis poljubnega UoD, ki bi elemente in relacije uredila. Koncepti bodo našteti spodaj.

objekt ali entiteta	Kot objekt (ali entiteta) je predstavljen vsak fizični (npr. stena) ali abstraktni element (ekonomske zahteve do stene). Objekte nekateri delijo še na navadne objekte (bolj konkretne stvari) in razrede (abstraktni objekti).
atribut	Atributi opisujejo lastnosti objektov. V nekaterih modelih je atribut abstraktni objekt, ki se nanaša na množico objektov, ki imajo določeno lastnost (npr. množica vseh betonskih sten ima marko betona). Drugi atribut razumejo kot pridevnik objekta (npr. "betonska" stena). Atribut je lahko preprost (marka betona) ali sestavljen (vsi podatki o kvadru). Atributi so lahko proceduralno določljivi na podlagi drugih atributov. Razlika je tudi v razumevanju vrednosti atributa. Ta je lahko brez vrednosti, ali pa konkretno vrednost ima, ali pa je "vseh vrednosti, ki jih dopušča njegova domena", ali pa ene konkretne vrednosti med njimi. Razlika bo prišla do izraza kasneje, pri razlikovanju razumevanja procesa načrtovanja.

[7]prostor diskurza: problemski prostor, katerega model obravnavamo.

domena	Atributi praviloma pripadajo nekemu tipu ali domeni, ki določa njihovo zalogo vrednosti.
relacija	Relacija je splošen pojem za grupiranje elementov istega ali različnih tipov. Relacije so lahko binarne ali n-arne, običajno je določena tudi smer, v katero relacijo razumemo. Relacija je-del-od je usmerjena binarna relacija (npr. okno je-del-od stena). Relacija ima-dele je n-arna relacija (npr. stena ime_dele okno, zid, vrata). Relacija se-stikajo ni usmerjena npr. se_stikajo stena1, stena2, stena3. Primera bolj posebnih relacij sta npr. agregacija in generalizacija.

Pomembnejše splošno uporabne relacije so agregacija, generalizacija, abstrakcija, konstrukt, specializacija, verzija ali alternativa, omejitev, pogled ali aspekt. Z vsemi naštetimi tehnikami modeliranja se da opisati vse te relacije, razlika pa je v tem, kako dobro jih podpirajo. Nasprotno pa orodja za implementacijo modelov naštete relacije podpirajo izjemoma.

3.2 Arhitektura ANSI SPARC

Poskusi, da bi vse te podatke za integrirani CAD definiral na podatkovnem nivoju, so se pokazali za neuresničljive /REED88/, zato se je k analizi tega problema pristopilo v skladu z arhitekturo, ki jo je konec sedemdesetih let razvila skupina za planiranje in raziskovanje standardov ANSI X3 SPARC (Standards Planning and Research Comitee). Gre za trislojno arhitekturo za logično načrtovanje podatkovnih baz. Sloji so naslednji:

- Aplikacijska ali zunanja plast. V tej plasti naj bi bili definirani referenčni (tudi konceptualni ali informacijski) modeli za posamezne aplikacije. To je unija vseh posameznih pogledov na konceptualni (splošni) pogled oz. na konceptualno plast. Namen pogleda v zunanji plasti je, da v primeru, če podatke uporablja več uporabnikov, vsi ne potrebujejo in ne želijo (ne smejo) videti vseh podatkov.
- Logična, konceptualna ali notranja plast je logičen splošni pogled na vse podatke. Pomembno je, da ta plast ne vsebuje nobenih podatkovnih struktur, načinov dostopa do podatkov, ampak samo informacijsko vsebino vseh podatkov.
- Fizična ali notranja plast. Tu je definirano, kako se podatki prenašajo, torej oblike datotek in podatkovnih baz.

Bistvena prednost, ki jo prinaša ločitev zunanjega in notranjega sloja je, da je mogoče dodajati nove zunanje poglede in nove fizične načine zapisa neodvisno eno od drugega.

4. STEP/PDES

Tri leta po prvi verziji standarda IGES[8] se je izkazalo, da je ta morda zadovoljiv za takratne aplikacije, da pa je premalo kompleten za nastajajoče CAD sisteme. Bistven očitek je bil, da definira samo sintakso (obliko prenešenih podatkov) ne pa tudi pomena (semantike) podatkov.

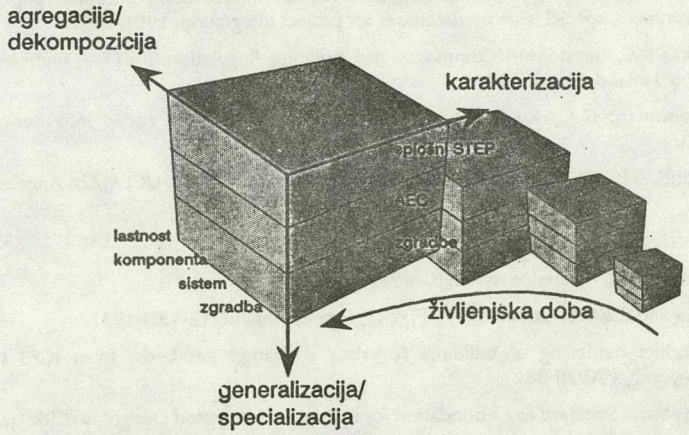
[8]IGES (Initial Graphics Exchange Specification - začetna specifikacija za izmenjavo slik) je standard za izmenjavo predvsem geometrijskih podatkov med CAD/CAM aplikacijami.

Sredi leta 1984 je znotraj skupine za razvoj IGES nastal projekt za razvoj specifikacije za izmenjavo podatkov o produktih (Product Data Exchange Specification - PDES). Istočasno je v Evropi znotraj mednarodne organizacije za standarde ISO začel razvoj standarda za izmenjavo podatkov o produktih (STandard for the Exchange of Product model data - STEP). Cilj je izdelati standard za zagotovitev kompletne, nedvoumne računalniško razpoznavne definicije fizičnih, funkcionalnih in programatskih značilnosti vsake enote (dela) produkta skozi njegovo celotno življenjsko dobo /FOWL91/. Zahtevano je, da je standard nevtralen do strojnih in programskih rešitev in neodvisen od konkretnih CAD, CAM, CIM ... programov.

Za razliko od obstoječih standardov, STEP predvideva štiri nivoje uporabe:

STEP level 1: Pasivna izmenjava datotek.
STEP level 2: Aktivna (samoiniciativna) izmenjava datotek.
STEP level 3: Deljeni dostop do skupne podatkovne baze.
STEP level 4: Integrirana baza znanja (knowledge base) o produktu.

V splošnem konceptualnem modelu za AEC je predvideno, da bi imele bistveno vlogo abstrakcije iz slike 3.

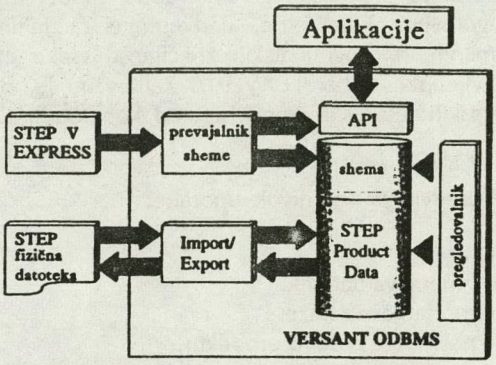


Slika 3: Metode za abstrahiranje v prostoru za definicijo modela produkta (po /GEIL88/).

5. SKLEP

Integrirane rešitve za CAD zahtevajo izdelavo konceptualnega modela produkta, ki bo zavzemal vse lastnosti produkta v času njegove celotne življenjske dobe. Obstoječe modele, ki jih uporabljajo posamezni programi je treba razumeti kot specializacijo ali aspekt modela produkta. Konceptualne modele produktov se opisuje z različnimi diagrami, podatkovne modele, ki jih bodo aplikacije med seboj izmenjevali pa v standardni obliki za izmenjavo podatkov - STEP. Prevedba iz prve v drugo obliko bo lažja, če uporabljamo s strani STEP priporočene metode modeliranja informacij (IDEF1X, NIAM, SADT ...). Prelitje podatkovne sheme iz zapisa v STEP v podatkovno bazo nekateri proizvajalci objektnih baz že opravljajo avtomatično. Semantično bogastvo in kompleksnost modelov produktov zahteva rabo

najsodobnejših orodij za zapis modelov. Čeprav direktno podpirajo le eno od širih bistvenih abstrakcij, ki pomagajo pri razgradnji modelov, so za zdaj najuporabnejša objektna orodja.



Slika 4:Objektna baza Versant je združljiva s standardom STEP. Ta lahko prispeva shemo baze ali fizične datoteke. Podatki so potem shranjeni v objektni bazi, aplikacije pa jih potem dosegajo prek vmesnika, ki je tudi lahko kompatibilen s STEP.

6. REFERENCE

BJOR91 Bjork, B.C., "A Unified Approach for Modelling Construction Information", accepted paper, Building and Environment, special issue on databases for project integration, 1991/1992.

CBR91 Kahkonen,K., Bjork, B-C, (urednika), "Computers and Building Regulations", VTT - Technical Research Centere of FInland, Esopp, 1991.

CORN91 Cornick, S.M., Leishman, D.A., Russel Thomas, J., "Integrating building codes into design systems", v /CBR91/.

EAST91 Eastman, C.M., Bond, A.H., Chase, S.C., "A data model for design databases", UCLA, Los Angeles, 1991.

FOWL91 Fowler, J., "A general introduction to the STEP standard", v /PMSS91/.

GEIL88 Gielingh, W., "General AEC Reference model (GARM)", v /W78-88/.

PMSS91 "Product Modelling and the STEP Stanadard", VTT/YRT, Espoo, FInland, 12-13.3.1991.

REED88 Reed, K. A., "Product modelling of buildings for data exchange standards: from IGES to PDES/STEP and beyond", v /W78-88/.

TURK91 Turk, Ž., "Building Model Standard as a Foundation for Computer Integrated Design", v /CBR91/.

W78-91 zbornik seminarja CIB "The compuer integrated future", Eindhoven 16-17.9.1991, Eindhoven University of Technology, Calibre, 1991.

Prof. Dr. Zvonimir Žagar *)

POTREBA UNIFIKACIJE IZRAŽAVANJA EUROCODE STANDARDA

Sažetak: Pri pisanju prijevoda EUROCODE 5 standarda za drvo na hrvatski jezik, primjenjen je sustav označavanja preporučen po ISO komitetu, a korišteni izrazi su navedeni u formi pogodnoj za čitanje izraza kao subrutina ili pravila za ekspertne sustave.

Summary: By the translation of the EUROCODE 5 standard for timber structures design in Croatian language, we have included the ISO recommandation for notationas as well as the translating the formulas into maschine reabable form, to accomodate the expert system requirements and the primitive forms of basic computer languages.

1. OSNOVE

Neposredno predstoji usvajanje EUROCOD-ova i njihovo inplemen tiranje u standarde. U tom smislu postoje za sada sljedeći EUROCODE standardi :

- EUROCODE 1: za akcije i opterećenja konstrukcija,
- EUROCODE 2: za beton, armirani beton i prednapregnuti beton,
- EUROCODE 3: za čelične konstrukcije,
- EUROCODE 4: za spregnute konstrukcije (beton s čelikom),
- EUROCODE 5: za drvene konstrukcije,
- EUROCODE 6: za zidane konstrukcije,
- EUROCODE 7: za fundiranje i geotehničko inženjerstvo,
- EUROCODE 8: za konstrukcije u seizmičkim područjima,
- EUROCODE 9: za aluminijske konstrukcije.

S obzirom da su EUROCODE standardi teže za unifikaciju standarda u cilju smanjenja troškova dizajna izvedbi i korištenja konstrukcija, smanjenja troškova uzrokovanih korištenjem nacionalnih (obično neuskladjenih) standarda, smanjenja rizika i posljedica nezgoda na konstrukcijama tijekom zivotnog (eksploatacionog) vijeka konstrukcija, smanjenja cijena održavanja, popravaka i

---

*) Prof. Dr., dipl. ing. gradj. Gradjevinski fakultet Zagreb

brige o konstrukcijama, logično bi bilo da se onda i pišu u obliku čitljivom kompjutorima, dakle kao subrutine ili pravila (rules) pogodna za direktnu aplikaciju u programima i ekspertnim sustavima. Naime, kad se govori s aspekta o ekspertnim sustavima i standardima onda je jasno da standardi moraju biti pisani u obliku sustava pravila koja moraju biti transparentna u transportabilna, da to mora biti izraženo u modularnom obliku i da su već kao takvi primjenjivi kao subrutine u programima. Bila bi velika šteta da kad se već prevode standardi na naš jezik ujedno ne budu paralelno izraženi i u ovakvom obliku.

Mi smo na Gradjevinskom fakultetu u Zagrebu pristupili prijevodu EUROCODE standarda, a naša je grupa pristupila prijevodu EUROCODE 5 standarda za drvene konstrukcije, s tim da su trenutačno u tu verziju implementirane posljednje promjene i dopune, iznesene na konferenciji TRADA (London, 1991.), koje se odnose na bitne izmjene dizajna tlačnih stupova i elemenata, kao i nosivosti spajala (čavli, trnovi, vijci i vijci za drvo). Ostala spajala su po toj usvojenoj filozofiji ostala na diskreciji proizvodjača vrste odredjenih spajala, koja moraju biti iscrpno provjerena. U tome je i filozofija EUROCODA. Na toj konferenciji, u objašnjavanju nosivosti spajala koja se dobivaju preko seta zamršenih izraza, rečeno je, da se navedeni izrazi nosivosti spajala i ne mogu više dobiti manuelnim multiplikacijama u racionalno raspoloživom vremenu, te se preporuča njihova transpozicija u mali program. Dalje od te sugestije nije se otišlo u anticipaciji potrebe izražavanja standarda u drugačijem obliku. Uzor za drugačiji oblik pisanja standarda dali su svojevremeno R. Sharpe i B. Markskjö, u WINDLODER-ekspertnom-sustavu, za donošenje odluka o opterećenju vjetra (za područje Australije), te James H. Garrett Jr. u AISC LRFD standardu (ekspertnom sustavu) standarda za čelične konstrukcije (Bergamo, IABSE Colloquium o ek spertnim sustavima, 1989), a na tragu radovima S. J. Fenvesa.

2. NAŠA ISKUSTVA

Pri pisanju niza ekspertnih sustava za dizajn i/ili provjere drvenih konstrukcija i elemenata drvenih konstrukcija, pokazalo se da je potrebno formule, izraze, odlučivanja, izbore koeficijenata redukcije, nosivosti spajala, rasporeda spajala i slične operacije iz standarda za opterećenja, za drvo, za beton, čelik i drvo uvjek nanovo pisati i transribirati u obliku momentano potrebnom kod pisanja programa i pravila. Ako znamo, da se to radi samo u zemlji, po nekoliko puta u nekoliko mjesta istovremeno, a u svijetskim razmjerama samo multiplicirano, onda je jasno da takav, nazovimo ga, klasični postupak više nije ni racionalan a ni svojstven informatičkom dobu. Dosadašnji (i još i današnji) oblik standarda je zasnovan na tzv. Gutenbergovoj galaksiji tiskane riječi i slova, i danas više nije pogodan današnjem informatickom dobu. S druge strane, jasno je, da se kod transkribcije dijelova standarda ovi transkribiraju, koristeći se ne samo raznim oblicima kompjutorskih jezika, već koristeći i razne (obično proizvoljne oznake), dok umiječe transkribcije i točnost transkribcije ovisi o znanju, vještinama i iskustvu onoga koji transkribira izraze i odluke u strojno čitljivi oblik. Da počesto tu ima i grešaka (ali sustav radi), da cijeli programi i dijelovi programa obično i nisu provjereni ni atestirani, nije potrebno ovdje navoditi. Svi iz osobnih iskustava znademo kako se radi, što se sve radi i na što se sve može u programima naići. Pogotovo su opasne razne tabulacije, spread listine, gdje je uvijek moguće generirati skrivenu grešku. U koliko se radi o obićnim programima i nekoj greški, koja bitno ne utječe na nosivost strukture, to je opasno pri masovnoj primjeni modula i pogotovo u ekspertnim sustavima gdje se greška dalje u vremenu propagira pisanjem novih pravila koja su zasnovana na "urodjenim greškama". Konačno, nitko od nas nije bezgriješan. Kad se pisao ekspertni sustav HALLOPT za optimiziranje cijelih hala sastavljenih od pokrova (po izboru), podrožnica od drveta, trapezastih nosača od lameliranog lijepljenog drveta, čeličnih stupova od valjanih I čeličnih profila, sa X oblikovanim zategama, vezovima i ukrutama od okruglih čeličnih šipki, i L čeličnim uzdužnim nosačima fasadnih obloga hale, sa betonskim temeljima, ovisnim o nosivosti tla, otkrilo se, da su u neke prethodne ekspertne sustave (model ES za dizajn

Tablica 1.

Karakteristične vrijednosti nosivosti spajala za jednorezne spojeve:

$$R_x = \min \begin{cases} f_b \cdot t_1 \cdot d & \text{mod loma} \quad (5.2.1.1a) \\ f_b \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta & (5.2.1.1b) \\ \dfrac{f_b \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2(1+\alpha+\alpha^2) + \beta^3\alpha^2} - \beta(1+\alpha)\right] & (5.2.1.1c) \\ \dfrac{f_b \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \dfrac{4\beta(2+\beta)M_y}{f_b \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta\right] & (5.2.1.1d) \\ \dfrac{f_b \cdot t_2 \cdot d}{1+2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \dfrac{4\beta(1+2\beta)M_y}{f_b \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta\right] & (5.2.1.1e) \\ \sqrt{\dfrac{2\beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2M_y \cdot f_b \cdot d} & (5.2.1.1f) \end{cases}$$

Što se može pisati kao:

```
RRJX = FJB*TJ1*D                          za prvi mod loma  (5.2.1.1a)

RRJX = FJB*TJ2*D*BE                       za drugi mod loma (5.2.1.1b)

RRJX
=FJB*TJ1*D/(1+BE)*(SQR(BE+2*BE*BE*(1+AL+AL*AL)+BE*BE*BE*AL*AL)
       - BE*(1+AL))
                                          za treći mod loma (5.2.1.1c)

RRJX =
FJB*TJ1*D/(2+BE)*(SQR(2*BE*(1+BE)+(4*BE*(2+BE)*MMJY)/(FJB*D*
      TJ1*TJ1))-BE
                                          za četvrti mod sloma (5.2.1.1d)
```

Tablica 2.

```
RRJX =
FJB*TJ2*D/(1+2*BE)*(SQR(2*BE*BE*(1+BE)+(4*BE*(1+2*BE)*MMJY)/(FJB
   *D*TJ2*TJ2)) - BE
                                        za peti mod sloma   (5.2.1.1e)

RRJX = SQR(2*BE/(1+BE))*SQR(2*MMJY*FJB*D)
                                        za sesti mod sloma  (5.2.1.1f)
```

Odabire se najmanja sračunata vrijednost RRJX.

Za dvorezne nastavke i spojeve kapacitet nosivosti

$$R_x = \min \begin{cases} f_b * t_1 * d & (5.2.1.1g) \\ 0.5 * f_b * t_2 * d * \beta & (5.2.1.1h) \\ \dfrac{f_b * t_1 * d}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2*\beta*(1+\beta) + \dfrac{4*\beta*(2+\beta)*M_y}{f_b * d * t_1^2}} - \beta \right] & (5.2.1.1j) \\ \sqrt{\dfrac{2*\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2 * M_y * f_b * d} & (5.2.1.1k) \end{cases}$$

Što se može pisati kao:

```
RRJX = FJB*TJ1*D                                            (5.2.1.1g)

RRJX = 0.5*FJB*TJ2*D*BE                                     (5.2.1.1h)

RRJX = FJB*TJ1*D/(2+BE)*(SQR(2*BE*(1+BE)+(4*BE*(2+BE)*MMJY/
       (FJB*D*TJ1*TJ1))-BE )                                (5.2.1.1j)

RRJX = SQR(2*B2/(1+BE))*SQR(2*MMJY*FJB*D)                   (5.2.1.1k)
```

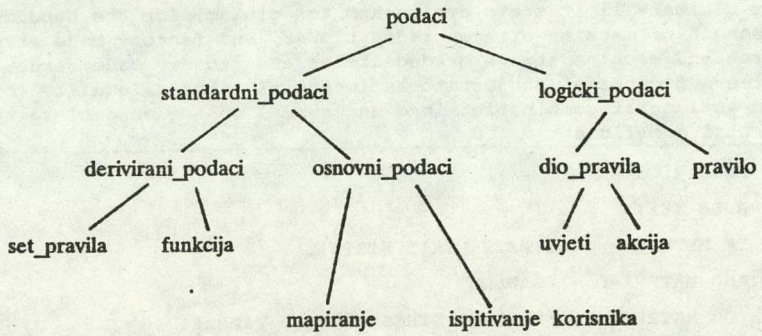
Za spojeve drveta β i α biti će jednak jedinici, što pridonosi drastičnom pojednostavljenjuujednadžbama dizajna.

Za pločaste materijale pričvršćene za drvo općenito vrijednosti β i α u pravilu će biti različiti od jedinice.

lameliranih trapezastih nosača) bile neke formule (izrazi) krivo transkribirani, za neke geometrijske odnose dulj. na. U ovaj ekspertni sustav radjen sa ljuskom GURU (D. Delić) ugradjena su pravila iz EUROCODE 5 standarda i relevantnih standarda čelika i betona. Mi se samo možemo nadati (s velikom sigurnošću u to vjerujemo), da u ES nema grešaka. Barem ih do sada nismo otkrili. Ostala naša iskustva ukazuju da su greške neminovni pratilac programiranja, pa bi verificirani standardi koji bi bili pisani u obliku ekspertnih sustava uklonili ove nedoumice. Takodjer uzrok neshvatanja ovih prijedloga izgleda leži i u nedostatnoj informatičkoj kulturi u kojoj je standardizacija svega prvenstveni zadatak u omogućavanju komunikacija.

3. PRIJEDLOZI

Pisanjem EUROCODE 5 standarda u obliku u kojem smo ga sada napisali, je samo prvi korak u cilju pisanja standarda u obliku ekspertnog sustava. Ovaj način samo omogućuje direktni upis s malim adaptacijama u pravila ekspertnih (rule based) sustava. Mi smo se ograničili samo na transkripcije izraza i razlučivanja. Cilj je sačiniti objektno orijetirani model stanadarda za dizajn drvenih konstrukcija. Za to treba poštivati model standardne logike i hijerarhiju klasa objekata standardne logike.



Hijerarhija klasa objekata standardne logike (prema J.H.Garrett Jr.)

Prikazati će se dio primitivnih pravila koje se koriste pri proračunu trnova prema TRADA/EUROCODE5, tablicama, kako bi se samo ukratko objasnilo sustav označavanja i prikaza kojeg smo usvojili pri prijevodu. Taj dio nije pisan kao pravilo, ali ga se može koristiti kao izraze za uklapanje u ekspertne sustave, ili subrutine za proračun nosivosti spajala (jednosječni trnovi). Ovo je dakle samo prva faza oblikovanja standarda i približavanja standarda ekspertnim sustavima.

Takodjer se prikazuje dio pravila, za oblikovanje ekspertnog sustava u kojima je EUROCODE 5 oblikovan u setovima pravila. Pravilo ima svoj broj, koji se podudara sa poglavljem teksta EUROCODE 5 standarda, a onda klauzulu objašnjenja, kako bi pravilo bilo transparentno korisniku.

Za tekst tijela pravila usvojio se engleski jezik, jer pravilo nije ovisno o korisniku već o filozofiji i dogovorima, znanstvenim dostignućima, a ta su internacionalna. Engleski je pogodan za veliki

krug korisnika, jer su i viši jezici pisani na engleski-sličnom jeziku. Vjerujem da se prvo s tim neće složiti Francuzi... Konačno, kad sam ovu ideju pred par godina iznio na jednom skupu o računarskoj tehnici, mnogi se i kod nas s tim pristupom nisu složili. Tijelo-tekst objasnjenja može biti na bilo kojem jeziku, dakle jeziku korisnika. Iznose se neki detalji te druge faze oblikovanja ekspertnog sustava zasnovanog na kurentnoj fazi EUROCODE5.

```
RULE 20050405

RULE TEXT

IF METHOD = 'ULTIMATE_LIMIT_STATE'

AND MATERIAL = 'GLULAM'

  OR MATERIAL = 'MASCHINE_STRSS_GRADED_TIMBER'

AND PRODUCTION_METHOD = 'FACTORY_MADE_STRUCTURES'

AND PRODUCTION_CONTROL = 'IMPARTIAL_EXTERNAL'

AND LOAD = 'ACCIDENTAL_COMBINATION'

AND CONSEQUENCE_CLASS = 'NORMAL'

THEN GAJMM = 1.0

COMMENT

For ultimate_limit_state design and for glulam, for the bending
strength of machine_stress_graded timber, and factory_made_struc-
tures and machine_stress_graded timber and factory_made_struc-
tures and material subject to an impartial_external_quality_control
and accidental_combination load and normal consequence_class the
partial_coefficient = 1.0
```

```
RULE 20050406

RULE_TEXT:

IF METHOD = 'ULTIMATE_LIMIT_STATE'

AND MATERIAL = 'GLULAM'

 OR MATERIAL = 'MASHINE_STRESS_GRADED_TIMBER'

AND PRODUCTION_METHOD = 'FACTORY_MADE_STRUCTURES'

AND PRODUCTION_CONTROL = 'IMPARTIAL_EXTERNAL'

AND LOAD = 'ACCIDENTAL_COMBINATION'

AND COSEQUENCE_CLASS = 'HIGH'

THEN GAJMM = 1.1

COMMENT:

For ultimate_limit_state design, and for glulam, for the bending
strenght of maschine_stress_graded_timber, and
factory_made_structures and material subject to an
impartial_external_quality_control, and accidental_combinations
load and high_cosequence_class the partial_coefficient = 1.1.
```

```
RULE 20050407
```

```
RULE TEXT:
IF METHOD = 'ULTIMATE_LIMIT_STATE'
AND MATERIAL = 'OTHERS'
AND LOAD = 'FUNDAMENTAL_COMBINATION'
AND COSEQUENCE_CLASS = 'LOW'
THEN GAJMM = 1.15
COMMENT:
For ultimate_limit_state design, and fundamental_combination load
and low cosequence_class the partial_coefficient = 1.15
```

itd.

Uočljivo je da se ovdje koristimo kovanicama kao što su: ULTIMATE_LIMIT_STATE, FUNDAMENTAL_COMBINATION, CONSEQUENCE_CLASS, OTHERS, ACCIDENTAL_COMBINATION, SERVICEABILITY_LIMIT_STATE, MASHINE_STRESS_GRADED_TIMBER, FACTORY_MADE_STRUCTURES, .ORDER_OF_DURATION_TIME, LOAD_DURATION_CLASS, SHORT_TERM_DURATION_CLASS, MECHANICAL_FASTENER, LONG_TERM_DURATION_CLASS... itd., koje u ovom obliku izgledaju prihvatljivo, ali bi na hrvatskom jeziku bile rogobatne kovanice, koje bi bez gramatičkih pridružbi bile užasno nakaradne. Osim toga naš pool eksperata i korisnika ekspertnih sustava je ograničen, i cijeli rad ne bi bio za nas isplativ. Što se pak tiče korisničke strane i pula korisnika, koji je svakako veći, bilo bi (možda) oportuno imati komunika tivnu verziju ('Why' i 'How') na hrvatskom /slovenskom, ili općenito jeziku korisnika, ako korisnički pool to izfinancira.

Nije potrebno objašnjavati da bi naprijed navedeni komentar pravila 200050407 koji odgovara točki standarda 2.5.4.7 glasio:

Za dizajn po graničnim stanjima nosivosti (ultimate_limit_state) i za osnovne kombinacije opterećenja (fundamental_combination) i za klasu niskog rizika (low_cose quence_class), parcijalni koeficijent (partial_coeficien) jednak je 1.15. To je uzeto na osnovu... itd. (slijedi dubinsko/teo retsko objašnjenje te točke standarda).

Ovakvo objašnjenje bi generirale grupe (komiteti) organizirani po pojedinim zemljama EZ, odnosno ekspertni timovi unutar zavoda za standardizaciju i mjeriteljstvo pojedinih zemalja, koji će imati i zadatak provjera i verifikacije programa, pasusa standar da i pravila, a što naravno te institucije mogu delegirati drugim subjektima i institucijama.

Nepobitno je da će razvoj ekspertnih sustava biti u budućnosti organiziran, i da će u njih biti ugradjeno konvencionalno znanje, konvencionalni programi, standardi, kao i heurističko znanje eksperata, kao i znanje i iskustvo iz prošlih projekata i znanje iz knjiga i znanstvenih publikacija i recentnih znanstvenih istraživanja.

Literatura:

1. *Adeli H., Balasubramanyam K. V., Expert systems for Structural Design, A New generation, Prentice Hall, Enlewood Cliffs, N. Jersey, 1988.*
2. *Adeli H., Expert System in Construction and Structural Engineering, Chapman & Hall, London, 1988.*
3. *Adeli H., Coupled Expert Systems for Engineering Design, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo, 1989, 231-238.*

4. *Bento, J., B. Feijo, P. J. Dowling, Knowledge-Based Design of Steel Portal Feames for Agricultural Buildings, IABSE Collo- quium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo, 1989, 281-290.*

5. *M. Chadwick, J. Hannah, Expert systems for microcomputers, an introduction to artificial intelligence, TAB Book Inc., Blue Ridge Summit, PA, 1987.*

6. *Delic D., OPTIMALNI DIZAJN TIPSKE DRVENE HALE S GURU LJUSKOM, diplomski rad, Fakultet gradjevinskih znanosti Sveucilista u Zagrebu, 1990.*

7. *Feijo B., Dowling J. P., Smith, L.D., Incorporation of Steel Design Codes into Design Automation Systems,IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo, 1989, 393-402.*

8. *Fenves, S. J., at all, The structure of building Specificationtions, Building Sciences Series 90, NBS, Washington D. C., 1976.*

9. *Fenves S. J., Recent development in Methodology for formula tion of design Specifications, Eng. Structures, Vol. 1., 1979.*

10. *Fenves, S. J., Expert System in Civil Engineering, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo,1989, 1-19.*

11. *Ferebus, S., Mogucnosti kompjutorizacije standarda za drvene konstrukcije, Diplomski rad, FGZ Zagreb, 1986.*

12. *Garret, Jr., J. H., A Generic Standard processor for Use in Computer Aided Structural Design, Ph. D. Thesis, Carnegy Mellon Univ., 1985.*

13. *Garret, Jr., J. H., Object-Oriented Representation of Design Standards, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineer- ing, Bergamo, 1989, 373-382.*

14. *Garret, Jr., J. H., Knowledge -Based Expert Systems: Past, Present and Future, IABSE SURVEY S/90, IABSE Periodica, Zurich, 1990.*

15. *Glavinic, Z., Program za dizajn slozenih drvenih tlacnih stapova, Diplomski rad, 1988.*

16. *GURU, reference manuals, Micro Data Base System Inc., Lafayette, IN.,1988.*

17. *Howard, Fenves, Representation and Comparison of Design Specifications, Dept., of Civ. Eng., R-83-141, Carnegie Mellon Univ., 1981.*

18. *IABSE Colloquium, Bergamo 1989, Report, Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo, 1989,*

19. *Petrinic N., Miljak M., Ekspertni sustav za totalni optimalni 3D dizajn hala od lameliranog drveta, Diplomski rad, FGZ Za- greb, 1988.*

20. *Sharpe R., B. Markjöe, Expert System for Engineering Codes, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo 1989, 383-391.*

21. *WINDLOADER, an expert system for the building designer, Standard House, 80-86 Arthur Street, N. Sydney, 2060, Austra- lia 1989.*

22. *Žagar, Z., Knowledge Based System for Automatic Design of Glued Laminated Structures, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo, 1989, 239-248.*

23. *Žagar, Z., Knowledge Based Systems for Glulam Structure Design, 1991 International Timber Engineering Conference, TRADA, London, 1991, 2.494-2.501.*

Mag. Danijel Rebolj
Tehniška fakulteta Maribor

Dvig nivoja abstrakcije proceduralno usmerjenih programskih paketov s pomočjo metode *objektnih lupin*

Povzetek

V članku je prikazan objektno usmerjen pristop k integraciji procesov v proceduralnem programskem okolju. Razložene so osnove metode, ki omogoča jasno in enostavno povezavo modulov z uporabniško nizkim nivojem abstrakcije pri čemer se abstraktni nivo sistema pomembno dvigne in s tem bistveno približa programsko okolje uporabniku. Uporaba metode je prikazana na primeru implementacije objekta *Cesta* ob uporabi geografskega informacijskega sistema in sistema za projektiranje cest.

The Elevation of the Abstraction Level in the Procedure Oriented Program Environment with the *Object Shell Method*

Abstract

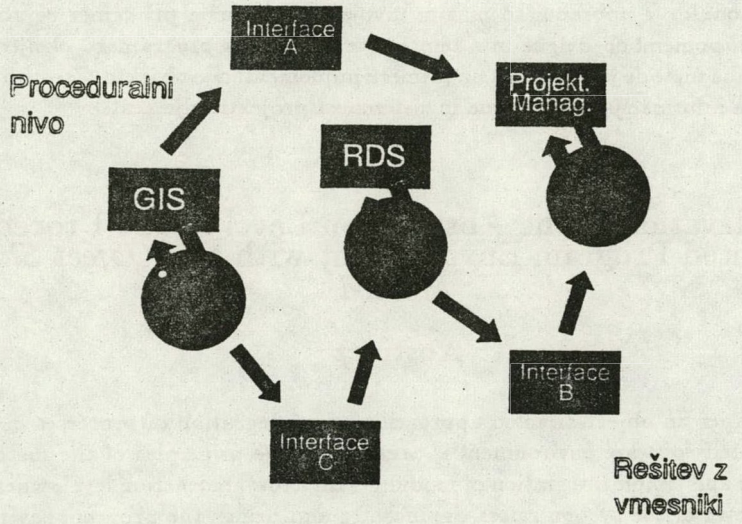
In the paper an object-oriented approach to the integration of processes in an procedure oriented software environment is presented. The principles of the metod, that enables clear and simple integration of modules with a low abstraction level, whereby the abstration level of the system raises significantly and brings the program environment nearer to the user are explained. As an example of using the method, the implementation of the object *Road*, with a support of an geographic information system (GIS) and road design system (RDS) is shown.

1 Uvod

Problem integracije procesov analize in planiranja, načrtovanja, izvedbe ter spremljanja gradenj je prisoten na vseh področjih gradbeništva. Obstajajo parcialne računalniško podprte rešitve, ki pa jih je s tradicionalnimi metodami in orodji nemogoče smiselno povezati saj kompleksnost sistema hitro prestopi meje obvladljivosti, togost, ki je posledica tradicionalnih metod pa preprečuje optimalno uporabo kompleksnejših sistemov.

Na področju informatike se je pred približno desetletjem pričel uveljavljati objektno usmerjen pristop, ki omogoča ustrezen dvig abstraktnega nivoja ter dinamično in fleksibilno povezovanje abstraktnih objektov. Metode in orodja, ki so se zatem razvili, so posebno primerni za načrtovanje in izvedbo kompleksnih informacijskih sistemov, kjer je nujen visok nivo abstrakcije (glej predvsem [1]). Njihov razvoj sledi v glavnem potrebam produkcije sistemov za široko uporabo in ne upošteva ne-objektno usmerjenega obstoječega softwareskega potenciala na določenem področju.

Tradicionalni proceduralno usmerjeni računalniški programi, ki temeljijo na stabilnih matematičnih osnovah in popolnoma zadovoljujejo potrebe v nekem ozkem področju uporabe, v obstoječih objektno usmerjenih metodah informatike niso upoštevani. Prav takšni programski paketi pa so na področju gradbeništva zelo razširjeni. Težave nastopajo pri integraciji teh paketov v kompleksnejše sisteme. Iz časovnih in ekonomskih razlogov bi bilo nesmiselno zavreči vloženo energijo in začeti razvoj "iz nič". Prav tako ni smiselno navzkrižno povezovanje programskih paketov s pomočjo podatkovnih vmesnikov, saj je prehitro dosežena meja preglednosti in fleksibilnosti (slika 1).



Slika 1: Ttradicionalna metoda povezovanja programskih paketov s podatkovnimi vmesniki.

V nadaljevanju je prikazana metoda za ekstrakcijo objektov iz proceduralno usmerjenih računalniških aplikacij, ki omogoča dvig abstrakcije obstoječega ne-objektno usmerjenega programskega okolja, v objektno usmerjen prostor. Metodo smo imenovali *metoda objektnih lupin*.

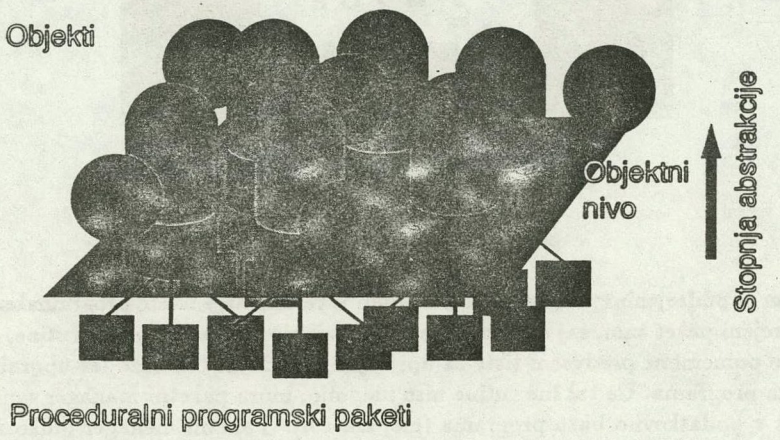
2 Metoda objektnih lupin

Po našem prepričnju je smiselno obstoječe proceduralno usmerjene aplikacije uporabiti v sodobnih, objektno usmerjenih informacijskih sistemih, če izpolnujejo določene kriterije (pomembna je predvsem njihova uporabna vrednost, dobra dokumentacija in sorazmerna fleksibilnost). Pomembno je, da pri tem ne znižamo zahtevanega nivoja abstrakcije, ki ga objekto usmerjeno okolje omogoča. Vključitev je mogoča z *objektivizacijo* proceduralnih aplikacij. Proces objektivizacije je zasnovan na *enkapsulaciji* aplikacije v *objektno lupino*, tako da je videti s stališča objektno usmerjenega sistema (pa tudi

uporabnika) kot del enega ali več objektov na objektnem nivoju. Tako vključena aplikacija lahko s svojimi funkcijami izvaja določene metode nadrejenega objekta. Po potrebi lahko tako vključeno aplikacijo nadomestimo z na novo izdelanimi metodami ne da bi pri tem okrnili delovanje celotnega sistema ali omejevali uporabnika pri njegovem delu.

Metodo objektnih lupin lahko gledamo kot dodatno možnost objektno usmerjenega načrtovanja. Potem, ko je izdelana specifikacija sistema in je objektna analiza zaključena, načrtovalec pregleda obstoječe, proceduralno usmerjene aplikacije iz definiranega uporabniškega okolja in izbere tiste, ki bi s svojimi funkcijami lahko izvajale katere od zahtevanih metod opazovanih objektov. Če takšen program obstaja in če izpolnjuje tudi ostale postavljene kriterije, ga vključimo v nadaljnji postopek analize. Na ta način identificiramo vse tiste programske pakete, ki lahko delno ali v celoti izvajajo s specifikacijo sistema določene funkcije (metode).

Metoda objektnih lupin je neodvisna od orodij, s katerimi so bili identificirani proceduralni programi implementirani. Dvig nivoja abstrakcije je dosežen z dvigom podatkovnih struktur in fukcij proceduralnih programov na objektni nivo (glej sliko 2).

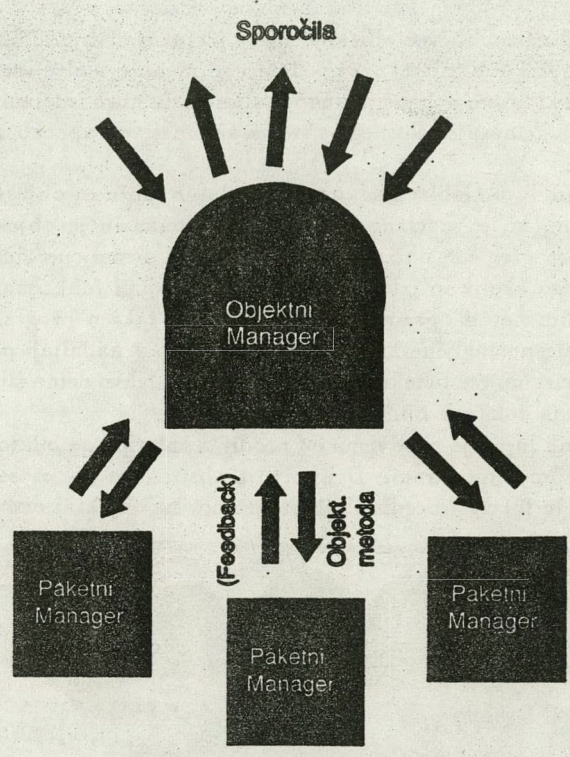


Slika 2: Dvig abstraktnega nivoja proceduralnih programskih paketov na objektni nivo

Objekti, katerih deli se v obliki delnih ali celotnih podatkovnih struktur teh objektov nahajajo v proceduralnem programu in podmnožica metod tega objekta, ki so implementirane kot funkcije proceduralnega programa, postanejo preko objektne lupine na voljo ostalim objektom. Objektno lupino sestavlja upravljalec objektov ali *objektni manager* in več upravljalcev proceduralnih programskih paketov ali *paketnih managerjev.*

Glavni del objektnega managerja je tabela objektov in metod, ki pozna za vsako metodo odgovornega paketnega upravljalca. Objektni manager skrbi tudi za obstoj (persistenco) objektov (glej sliko 3).

Paketni manager skrbi za pravilno izvajanje metod ustreznih objektov v podrejenem programskem paketu. Njegova naloga je tudi posredovanje relevantnih podatkov med



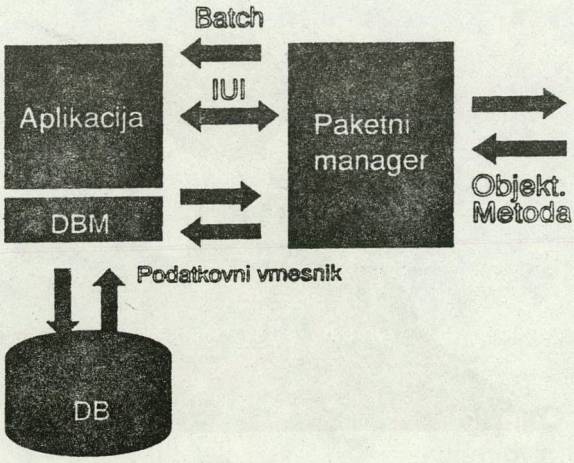
Slika 3: Shema objektne lupine

objektom in podrejenim programom. Običajno je realiziran v istem programskem jeziku kot podrejeni paket sam, saj so tako najenostavneje dosegljive pomožne rutine, med katerimi so pomembne predvsem tiste za upravljanje podatkovne baze ter uporabniškega vmesnika programa. Če takšne rutine niso na voljo, mora paketni manager samostojno posegati v podatkovno bazo programa (glej sliko 4). Paketni menager lahko najenostavneje posreduje podrejenemu programu zahtevane funkcije, ki predstavljajo določeno metodo ustreznega objekta, v paketni obliki ("batch input"). Če je program izrazito interaktiven, mora paketni manager simulirati uporabnikovo interakcijo do željenega mesta.

Objektni manager lahko podobno kot objekte same enostavno spreminjamo ali dopolnjujemo ter tako prilagajamo zahtevam okolja. V objektnem okolju je enakovreden objektom in omogoča tako objektno usmerjeno uporabo kot objektno usmerjeno nadaljnje razvijanje v izbranem problemskem okolju.

3 Uporaba metode objektnih lupin

Metodo objektnih lupin smo uporabili pri realizaciji objekta *Cesta* (glej sliko 5). Pri prvem koraku smo se posvetili pogledu projektanta in analizirali problemsko okolje z njegovega vidika. Za projektanta je pomembna predvsem *geometrija ceste*, ki smo jo



Slika 4: Paketni manager

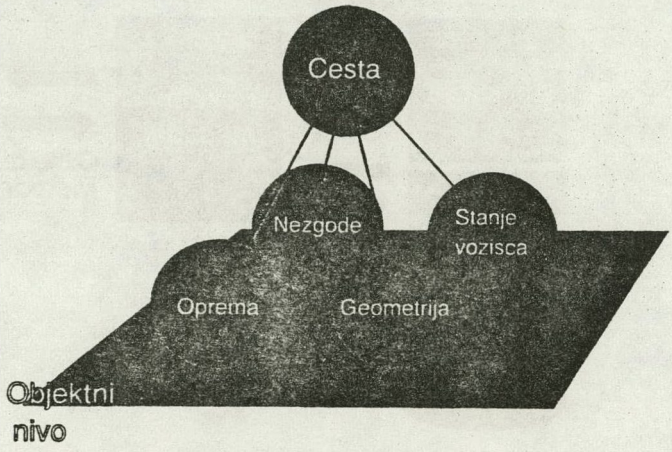
dalje razdelili na dva objekta: *cestno telo* (geometrija ceste v ožjem pomenu) in *koridor* (s poligonom omejena geometrija terena v poljubnem območju cestnega telesa). Pri analizi metod smo upoštevali tudi obstoječe paketne aplikacije in izbrali eno s področja geografskih informacijskih sistemov - Arc/Info [1] in eno s področja klasičnih aplikacij za projektiranje cest - CADOR [2]. Večino zahtevanih metod lahko s posredovanjem paketnih menagerjev znotraj objektnih lupin izvedeta navedena programa, preostale metode se implementirajo v objektnem okolju (prikazane so le osnovne metode):

- Koridor
  - določi (Arc/Info),
  - spremeni (Arc/Info),
  - prikaži (v 2D: Arc/Info, kot trikotniško mrežov v 2D: CADOR/DGMR, v 3D: nova metoda Koridor.prikazi3D),
- Cestno telo
  - načrtuj (CADOR),
  - analiziraj (Arc/Info),
  - prikaži (nova metoda Cestno_telo.prikazi3D),
  - izriši (CADOR).

Novonastali objekt *Geometrija ceste* je v obliki objektne lupine na voljo v objektnem okolju tako drugim objektom kot neposredno uporabniku.

V naslednjih korakih je predvidena dopolnitev objekta *Cesta*, pri čemer bodo prišli v poštev še nekateri programski paketi s področja upravljanja projektov (izgradnja ceste), upravljanja s cestami in drugi.

[1] proizvod firme Environmental Systems Research Institute, Inc.
[2] ein proizvod Institut f"ur Stra"senbau und Verkehrswesen, TU Graz.



Slika 5: Objekt *Cesta*

4 Zaključek

S pomočjo metode objektnih lupin lahko na sorasmerno enostaven način dosežemo predvsem dva pomembna cilja:

1. z dvigom abstrakcije približamo programsko okolje uporabniku in
2. učinkovito in pregledno povežemo posamezne aplikacije v celovit informacijski sistem.

Izkušnje so pokazale, da je implementacija mogoča v različnih okoljih: od zelo enostavnega menujsko podprtega nadzornega sistema, do kompleksnega okenskega sistema z zahtevno interaktivno grafiko. Pokazale pa so tudi, da bi bila potrebna podrobnejša formalizacija metode, predvsem pa smiselna izbira in adaptacija standardnih CASE (Computer Aided Software Engineering) orodij, saj je bila pri realizaciji objekta *Cesta* potrebna precejšnja improvizacija.

Literatura

[1] Grady Booch. *Object Oriented Design.* Benjamin-Cummings, Redwood City, California, 1991.

[2] Peter Coad. "Object-oriented analysis." *American Programmer*, special issue on object orientation, Vol. 2, Nos. 7-8, Summer 1989.

[3] Tom DeMarco. *Structured Analysis and System Specification.* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1978.

[4] Werner Gobiet, Danijel Rebolj. "Eine objektorientierte Methode zur Integration von Strassenentwurfssystemen mit den geographischen Informationssystemen." *Computeranwendungen für Strassenentwurf und Verkehrsplanung.* Beiträge zum Internationalem Workshop. DBV Verlag für die TU Graz, 1992.

[5] Michael Jackson. *System Development.* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1983.

[6] Bertrand Meyer. *Object-oriented Software Construction.* Prentice Hall International, 1988.

[7] Žiga Turk. *Objektno orientirano modeliranje.* Zbornik 5. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, FAGG, Ljubljana, 1990.

[8] Ann L.Winblad, Samuel D.Edwards, David R.King. *Object-Oriented Software.* Addison-Wesley, Massachusetts, 1990.

[9] Peter Wisskirchen. *Object-Oriented Graphics.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1990.

[10] Marjan Žura. *Geografski informacijski sistemi v prometnem inženirstvu.* Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, FAGG, Ljubljana 1991.

doc. dr. Iztok Kovačič
Univerza v Ljubljani, FAGG, VTOZD GG
Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo

RSO - KNJIŽNICA C++ RAZREDOV ZA SHRANJEVANJE OBJEKTOV

POVZETEK

RSO je programsko orodje - knjižnica razredov, ki podpira razvoj programov v programskem jeziku C++. Sestavljajo jo generični (abstraktni) razredi *Zbirka*, *Niz*, *UrejenNiz*, *Seznam* in *UrejenSeznam*. Spadajo med kontejnerske razrede, saj omogočajo operacije z zbirkami objekov, ki se v celoti nahajajo v glavnem pomnilniku. Osnovne operacije nad zbirkami objektov so: ustvari zbirko, uniči zbirko, dodaj objekt, odstrani objekt, naredi obhod vseh objektov. Razredi se med seboj razlikujejo v načinu shranjevanja objektov. V zbirkah se vedno shranjujejo le naslovi objektov. Uporabnik iz generičnih razredov izpelje svoje razrede, ki dovoljujejo shranjevanje objektov določenega razreda, ali objektov, ki so izpeljani iz teh razredov. Razredi spadajo med obstojne (persistent) razrede, saj omogočajo arhiviranje zbirk objektov v perifernem pomnilniku. V poročilu so opisani koncepti shranjevanja objektov in lastnosti razredov knjižnice RSO; prikazan je tudi primer uporabe.

RSO - A C++ CONTAINER CLASS LIBRARY

SUMMARY

In this article the container C++ class library RSO that consists of the abstract classes *Zbirka*, *Niz*, *UrejenNiz*, *Seznam* and *UrejenSeznam* is described. These classes manipulate object collections in the main memory. The basic operations of all classes are to create a collection, to destroy a collection, to add an object, to remove it and to iterate all involved objects. The classes differ between themselves in the way how the objects are stored in the memory. To make collections of objects of a specified class or out of this class derived classes, the user must derive a new class from one of RSO classes. The derived class belongs to a group of persistent classes because the capability to archive object collections in the secondary storage is provided. The basic concepts how to manipulate object collections are described as well as the properties of classes included in the library. An example of the proper use of the library is shown at the end.

1. UVOD

C++ je objektno usmerjen jezik, ki sicer še omogoča funkcijsko orientacijo [4]. Namesto spremenljivk nastopajo v programu objekti, ki pripadajo določenemu razredu. Objekti si med seboj pošiljajo sporočila, v katerih zahtevajo, kaj naj naslovljeni objekt naredi sam s seboj. Sporočila imajo lahko še dodatne parametre.

Vsak objekt v programu mora biti določenega razreda. Razred objekta določa lastnosti objekta: podatke (atribute) in metode (operacije nad objektom). Poseben varovalni sistem na več nivojih omogoča omejen dostop do podatkov in metod objekta danega razreda

objektom drugih razredov. Dostop do podatkov objekta praviloma drugim objektom v celoti prepovemo.

Z dedovanjem razredov iz obstoječega razreda izpeljemo nov razred, ki podeduje lastnosti osnovnega razreda, dodamo pa mu lahko še nove. Večkratno dedovanje dovoljuje izpeljavo razreda iz več osnovnih razredov. Posebne metode, imenovane virtualne funkcije omogočajo polimorfizem metod v razrednem drevesu oz. razrednem acikličnem grafu.

Naslov objekta je edina splošna entiteta, ki enolično določa objekt. Za zbirko objektov zadošča, da shranimo njihove naslove. Praviloma je velikost naslova enaka za vse objekte in je velikostnega reda nekaj bytov. C++ je od jezika C podedoval tako naslovni operator &, ki objektu priredi naslov, kakor tudi kazalce - spremenljivke, katerih vrednosti so naslovi objektov. Določimo lahko posebne tipe kazalcev, ki dovoljujejo shranjevanje naslovov objektov določenih razredov, ali iz njih izpeljanih razredov.

Polje kazalcev na objekt določenega razreda je najenostavnejša možnost za shranjevanje naslovov objektov; vendar pa polje ni objekt in kvari objektno zasnovo programa.

```
Objekt*    kObj[100];
Objekt ob1, ob2, ob3;

kObj[3] = &ob3;
```

Zbirka objektov vprogramu naj bo tudi objekt določenega razreda. Razred določa metode, ki omogočajo operacije nad zbirko. Podatki zbirke so naslovi objektov v zbirki. Zbirko lahko ustvarimo, objekte lahko v zbirko dodamo ali iz nje odstranimo, lahko pa naredimo tudi pregled vseh objektov, ki so v zbirki. Na primer:

```
Zbirka  zbA, zbB;          // zbA, zbB sta razreda Zbirka
Objekt ob1, ob2, ob3;      // objekti razreda Objekt
...
zbA.dodaj( &ob1 );         // dodajamo objekte
zbA.dodaj( &ob2 );
zbB.dodaj( &ob3 );
...
zbA.odstrani( &ob1 );      // odstranimo objekt
...
```

Razredi za shranjevanje objektov - kontejnerski razredi predstavljajo osnovno orodje za izdelavo obsežnejših C++ programov. Na tržišču programskih orodij je na razpolago kar nekaj knjižnic razredov, ki vsebujejo tudi kontejnerske razrede [3]. Nekatere se zgledujejo po zmogljivostih programskega jezika smalltalk [2], v C++ pa žal izgubijo na uporabnosti. V Borlandovem programskem okolju se kontejnerska knjižnica imenuje Classlib.

Knjižnica RSO je bila razvita, ker dosegljivi kontejnerski razredi ne izpolnjujejo vseh ključnih zahtev za izdelavo kompleksnih inženirskih programov. RSO vsebuje razred *UrejenSeznam*, ki omogoča poleg hitrega iskanja objektov tudi hitro dodajanje in brisanje objektov v zbirki urejeni po ključu.

2. ZASNOVA KNJIŽNICE RAZREDOV RSO

Razredi knjižnice RSO so bili izdelani na podlagi naslednjih zahtev:

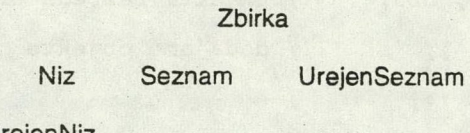
- zbirke objektov poljubnih razredov,
- učinkovita kontrola objektov v zbirki,
- hitro dodajanje, odstranjevanje in iskanje objektov,
- linearno urejena in po ključu urejena zbirka,
- več med seboj neodvisnih istočasnih obhodov zbirke,
- obstojnost zbirk,
- nadzor nad dvojniki pri zbirkah urejenih po ključu,
- določanje po ključu najbližjih objektov,
- transformacija ene vrste zbirke v drugo,
- majhno število kontejnerskih razredov.

Uveljavila sta se dva načina shranjevanja naslovov objektov [1]:

- v obliki strnjenega niza kazalcev na objekte,
- v obliki povezanega seznama.

Pri prvem načinu je pomnilnik optimalno izkoriščen, bolj počasi pa poteka dodajanje in odstranjevanje objektov, kar pa pri majhnih zbirkah večinoma sploh ni zelo pomembno. Pri drugem načinu imamo seznam sestavljen iz členkov, ki so med seboj povezani s kazalci. Zaradi dodatnih kazalcev se pri drugem načinu porabi vsaj še enkrat toliko spomina, kot pri prvem. Dodajanje in brisanje pa je veliko bolj učinkovito. Za majhne zbirke je primernejši prvi način, za velike pa drugi, če so operacije dodajanja in brisanja zelo pogoste.

3. PREGLED RAZREDOV IN NJIHOVIH ZMOGLJIVOSTI



Razred *Zbirka* je abstraktni osnovni razred, ki ni namenjen uporabnikom. Vsebuje metode, ki so skupne vsem ostalim razredom, ki so vsi izpeljani iz razreda *Zbirka*.

Razreda *Niz* in *Seznam* omogočata shranjevanje objektov v obliki linearnega seznama [6]. Naslovi objektov so pri razredu *Niz* shranjeni v posebnem polju, katerega velikost se lahko avtomatično povečuje. Objekte lahko poiščemo po indeksu. Razred *Seznam* je sestavljen iz členkov. Vsak členek vsebuje kazalec na objekt in kazalec na naslednji členek. Pri zadnjem členku kaže kazalec na prvi členek.

Razreda *UrejenNiz* in *UrejenSeznam* omogočata shranjevanje objektov, ki so urejeni po ključu. Ključ je objekt razreda, ki ga moramo določiti ob definiciji zbirke. Vsebovati mora metodo, ki primerja objekt (ključ) z drugim ključem. V razred objektov, ki jih shranjujemo v zbirko, je treba vključiti metodo, ki vrne kazalec na ključ objekta.

Razred *UrejenNiz* je izpeljan iz razreda *Niz*; od njega je podedoval sistem za shranjevanje naslovov objektov v polju kazalcev. Za iskanje objektov je uporabljena metoda bisekcije.

Metode tega razreda lahko predstavimo z:

```
UrejenNiz( int mOb=0 )
UrejenNiz( const UrejenNiz& un )
void pDelta( int procentPovecave, int korakPovecave )
int spremeniVelikost( int mOb )
void povecajVelikost()
int mObj()
int nObj()
void dvojniki( int dovoljeni=1 )
Obj* vstavi( Obj* ob )
Obj* poisciPoKljucu( Kljuc* kj )
Obj* poisciPoIndeksu( int ind )
Obj* operator [] ( int ind )
Obj* dolociLego( Obj* ob )
Obj* dolociLegoPoKljucu( Kljuc* klj )
Obj* odstrani()
Obj* odstrani( Obj* ob )
int  odstraniVse()
Obj* odstraniPoKljucu( Kljuc* klj )
int  odstraniVsePoKljucu( KLjuc* klj )
void naZacetek()
Obj* naslednji()
Obj* tekoci()
int jePrazno()
int vsebuje( Obj* ob )
int zdruzi( Zbirka& zb )
```

Z metodo *dvojniki* lahko uravnavamo, ali imamo lahko v zbirki več objektov z enakim ključem ali ne. Metoda *zdruzi* omogoča združevanje poljubnih objektnih zbirk iz knjižnice RSO, ki vsebujejo enake vrste objektov.

Razred *UrejenNiz* podeduje od razreda *Niz* tudi njegove metode, ki omogočajo vstavljanje objektov v zbirko na poljubnem mestu, kar v splošnem pomeni, da zbirka ni več urejena po ključu. Z metodo *sortiraj* lahko začasno neurejen seznam ponovno uredimo po ključu.

Razred *UrejenSeznam* proti pričakovanju ni izpeljan iz razreda *Seznam*, ker bi bilo iskanje objektov po ključu premalo učinkovito. Izdelan je na osnovi preskočnega seznama (Skip List), ki ima členke z več kazalci [5]. Učinkovitost razreda *UrejenSeznam* je primerljiva z zmogljivostmi B-dreves in poševnih dreves. Algoritmi za dodajanje, brisanje in iskanje pa so pri preskočnih seznamih enostavnejši in tudi veliko krajši. Večina metod tega razreda je pri uporabi enakih kot pri razredu *UrejenNiz*.

RSO kontejnerski razredi poznajo pojem tekočega objekta. Tekoči objekt je zadnji obravnavani objekt v zbirki. Na razpolago so posebne metode, ki se ukvarjajo s tekočim objektom.

Obhod objektov pomeni zanko, v kateri lahko po vrsti vsakemu objektu iz zbirke pošljemo določeno sporočilo. RSO razredi imajo dva načina za izvedbo obhoda objektov. Pri prvem

s posebnimi metodami *naZacetek*, *naslednji*, *tekoci* po vrsti določimo tekoči objekt. Na primer:

```
MojaZbirka  zb;
...
zb.naZacetek();                    // obhod objektov zbirke
while( zb.naslednji() )
   zb.tekoci()->narisi();
...
```

Pri drugem načinu delamo s posebnim obhodnim razredom. Rešitev je splošnejša, ker omogoča več istočasnih neodvisnih obhodov objektov v zbirki.

```
MojaZbirka  zb;
ObhodMojeZbirke  ob1(zb), ob2(zb);

ob1.naZacetek();
while( ob1.naslednji() ) {
   ob2.naZecetek();
   while( ob2.naslednji() )
     ob1.tekoci()->preglej(ob2.tekoci() );
}
```

4. OBSTOJNI OBJEKTI

Obstojni objekti (persistent objects) so taki objekti, ki jih lahko shranimo v zunanji pomnilnik in kasneje v istem ali drugem programu ponovno preberemo v glavni pomnilnik. Problem obstojnih objektov nastopi šele v primeru, ko podatke nekega objekta sestavljajo tudi naslovi drugih objektov. Naslova objekta ne moramo shraniti v perifernem pomnilniku, saj ga pri čitanju nikakor ne moremo ponovno koristno uporabiti.

Namesto naslova objekta je potrebno na disk zapisati drugačno informacijo. Lahko zapišemo ime razreda in podatke objekta in potem pri čitanju ustvarimo nov objekt tega razreda in vanj zapišemo prebrane podatke. Žal C++ nima že vgrajenih zmogljivosti za identifikacijo razredov in moramo zanje poskrbeti sami.

Dodatne težave nastopijo, kadar shranjujemo na disk več objektov, ki vsebujejo naslov istega objekta. V tem primeru moramo posebej poskrbeti, da se bo ob čitanju ustvaril samo en objekt.

RSO razredi uporabljajo zmogljivosti za delo z obstojnimi objekti, ki so vgrajene v Borlandovo razvoljno okolje C++ 2.0 & Application Frameworks. Razredu omogočimo obstojnost tako, da ga izpeljemo iz razreda *TStreamable* in dodamo metode *streamableName*, *buildObject*, *read* ,*write* in poseben konstruktor:

```
Class Objekt : public TStreamable {
  virtual const char* streamableName()
      { return "Objekt"; }
   static TStreamable* buildObject()
      { return new Object( streambleInit; }
   Objekt( StreamableInit ) { }
   virtual void write( opstream& op );
   virtual void* read( ipstream& ip );
   ...
};
```

Izvedbo metod *read* in *write* moramo napisati posebej. *read* prebere objekt, *write* pa ga izpiše. Za pisanje in čitanje definiramo še bralne (>>) in pisalne operatorje (<<) za delo z obstojnimi tokovi (datotekami) razredov ipstream (ifpstream) in opstream (ofpstream):

```
ipstream& operator >> (ipstream& ip, Objekt& o)
   { return ip >> (TStreamable&) o ); }
ipstream& operator >> (ipstream& ip, Objekt*& o)
   { return ip >> (void*&) o ); }
opstream& operator >> (opstream& op, Objekt& o)
   { return op << (TStreamable&) o ); }
opstream& operator >> (opstream& op, Objekt& o)
   { return op << (TStreamable *) o ); }
```

Objekt lahko potem izpišemo in kasneje spet nazaj preberemo:

```
Objekt  o, *ko=new Objekt();

ofpstream out("ARHIV.DAT");
out << o << ko;     // zapisi o in ko
out.close();
...
ifpstream inp("ARHIV.DAT");

inp >> o >> ko;  // preberi o in ko
inp.close();
```

Obstojni objekti so za razvoj inženirskih programov ključnega pomena. Omogočajo enostaven razvoj integriranih sistemov - sklopa programov, ki rešujejo isto nalogo, saj so osnova za objektno komunikacijo med programi.

5. UPORABA

Prikazan je primer zbirke razreda *UrejenNiz*, v katero shranjujemo objekte razreda *Konst*, ki so urejeni po ključu razreda *Oznaka*.

```
class Oznaka {
   int ozn;
  public:
   Oznaka( int o ) : ozn(o) { }
   int primerjaj( Oznaka* o )
      { return ozn - o->ozn; }
};
```

```
class Konst: public TStreamable {
   defStreamable( Konst )          // makro ukaz
   Oznaka ozn;
  public:
   Konst( int o ) : ozn(o) { }     // konstruktor

   Oznaka* oznaka()        // vrne naslov kljuca
      {  return &ozn;  }
...
};
```

Razred po imenu *Konstrukcije* definiramo s posebnim makro-ukazom *dUrejenNiz*, ki ima za argumente ime kontejnerskega razreda, ime razreda objektov, ki jih bomo vstavljali v zbirko, ime razreda za ključ, ime metode, ki vrne kazalec na ključ objekta in ime metode, ki primerja dva ključa.

```
dUrejenNiz(Konstrukcije,Konst,Oznaka,oznaka,primerjaj)

main() {
   Konstrukcije k;             // zbirka konstrukcij
   Konst halaA(3), halaB(5);

   k.vstavi(&halaA);
   k.vstavi(&halaB);
   ...
   Konstrukcija hala = k.poisciPoKljucu( Oznaka(5) );
   ...
   ofpstream out( "hale.bin" );
   out << k;
}
```

Zbirka razredov RSO je bila uspešno uporabljena pri izdelavi sistema razredov MKEObj, ki so namenjeni izdelavi programov, ki uporabljajo metodo končnih elementov.

6. LITERATURA

1. I. Kovačič, Programirna orodja za izdelavo inženirske programske opreme, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FAGG, 1991

2. A. Goldberg, D. Robson, SmallTalk-80 The Language and its Implementation, Addison-Wesley, 1985

3. K. E. Gorlen, S.M. Orlow, Data abstraction and object-oriented programming in C++, John Willey, 1990

4. S. B. Lippman, C++ Primer, Addison Wesley, 2. izdaja, 1991

5. W. Pugh, Skip Lists: A probabilistic Alternative to Balanced Trees, Communications of the ACM, 33, 6, 668-676, 1990

6. J. Kozak, Podatkovne strukture in algoritmi, DMFA SR Slovenije, 1986

doc. dr. Iztok Kovačič
Univerza v Ljubljani, FAGG, VTOZD GG
Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo

OBJEKTNI PRISTOP PRI REŠEVANU NALOG PO METODI KONČNIH ELEMENTOV

POVZETEK

V poročilu so najprej prikazani problemi povezani s programsko opremo, ki uporablja metodo končnih elementov (MKE). Nato so predstavljeni osnovni koncepti objektno usmerjenega reševanja inženirskih problemov. Prikazana je uporaba teh idej pri reševanju nalog po metodi končnih elementov. Predstavljena je knjižnica C++ razredov ObjMKE, osnova za izdelavo programov, ki rešujejo linearne naloge po metodi končnih elementov. Prikazan je primer uporabe pri računanju plošč. Razložene so možnosti razširitev ObjMKE.

OBJECT ORIENTATION FOR SOLVING FINITE ELEMENT PROBLEMS

SUMMARY

The problems with conventional finite element analysis software are explained first. The main handicap of current solutions is their incapabilty of the reuse in new problems. Basic concepts of object orientation for solving engineering problems is introduced and applied to develop C++ class library ObjMKE. ObjMKE is a set of basic C++ classes for solving structural linear problems using the finite element method. All identified objects are listed and their main properties are explained. The basic elements how to use ObjMKE are demonstrated describing development of plate analysis program. Potential capabilities to add new classes in ObjMKE are presented.

1. UVOD

Metoda končnih elementov je ena izmed numeričnih metod za reševanje območnih problemov, ki jih v tehniki srečamo zelo pogosto. Metoda je zelo popularna, ker je zelo primerna za uporabo z računalnikom.

Postopek reševanja nalog po MKE je v osnovi enostaven in ga lahko orišemo na primeru linearne naloge računanja konstrukcij. Obravnavano področje najprej razdelimo na manjša področja - končne elemente, v njih določimo posebne točke - vozlišča, v katerih računamo premike; za vsak končni element izračunamo togostno matriko in nato ob upoštevanju robnih pogojev seštejemo togostne matrike elementov v togostno matriko konstrukcije. Poleg tega določimo vozliščni obtežni vektor, ki je lahko sestavljen iz prispevkov koncentriranih sil in zveznih obtežb po elementih. Z rešitvijo dobljenega sistema linearnih enačb dobimo premike v vozliščih, ki so osnova za nadalnji izračun napetosti in deformacij.

Kljub dobro definiranemu in dovolj jasnemu postopku, pa je programiranje MKE nalog zahtevna naloga, ker moramo zaradi velikih sistemov linearnih enačb čim bolje izrabiti zmogljivosti računalnika. Namesto s polnimi matrikami delamo s pasovnimi ali s stolpičastimi, upoštevamo tudi simetrijo. Žal pa pri obsežnejših nalogah ne gre brez uporabe zunanjega pomnilnika.

Večina do sedaj napisane programske opreme, ki uporablja MKE, je napisana v fortranu, ki je za delo z matrikami in vektorji primeren programski jezik. Žal fortran nima vgrajenih zmogljivosti dinamičnega dodeljevanja pomnilnika; običajno si pomagamo s svojimi, bolj ali manj improviziranimi in nestandardnimi orodji. Programi, ki uporabljajo pomnilnik samo statično, temelje na skupnih področjih; so manj zapleteni, bolj togi in manj učinkoviti.

Skoraj vso aplikacijsko MKE programsko opremo so napisali inženirji. Zaradi pomankljive zasnove, nekompletne in neažurne dokumentacije je večina programov težko razumljivih in jih je zato zelo težko posodobiti ali uporabiti kot osnovo za reševanje novih problemov.

V zadnjih letih se namesto funkcijskega pristopa vse bolj uveljavlja objektni pristop [3], ki je predvsem primeren za reševanje zapletenih problemov, v katerih nastopa veliko različnih entitet (vrst objektov). Uporaba MKE spada prav med take probleme [4].

Objektni pristop se začne že v sami analizi naloge, ki jo rešujemo. Namesto operacij, ki morajo biti izvršene, da se reši problem, proučujemo objekte, ki nastopajo v problemu. Določimo njihove lastnosti in medsebojne odnose. Objekti imajo atributne in funkcijske lastnosti. Atributi so podatki, ki opisujejo objekte. Funkcije ali metode pa so operacije, ki se lahko izvedejo nad objekti. Tudi sama naloga je lahko objekt, ena od njenih metod, reši celotno zahtevano nalogo. Objekte razvrščamo v razrede. V nalogi lahko nastopa več objektov istega razreda. Objekti različnih razredov so si lahko podobni. Nov razred objektov lahko izpeljemo iz obstoječega razreda, tako da mu dodamo ali spremenimo nekatere atribute ali metode.

Že leta 1990 je Forde s sodelavci [2] razložil objektni pristop pri reševanju MKE nalog in podal analizo svoje objektne rešitve in primerjavo z obstoječimi rešitvami. Uporabljen je bil programski jezik Object Pascal. Za objektno usmerjeno reševanje inženirskih programov se je najbolj uveljavil programski jezik C++ [5], ki bo sčasoma izpodrinil jezik C. Kvalitetna programska okolja za izdelavo programov v C++ danes prav nič ne zaostajajo za do sedaj najboljšimi v jeziku C.

Sistem ObjMKE, ki je opisan v tem članku, je zbirka C++ razredov, ki omogočajo izdelavo objektno usmerjenih MKE programov. Predstavljajo kompletno in za uporabo enostavno osnovo, kateri je treba dodati od konkretnega problema odvisne dele. Univerzalnih rešitev praviloma ni, ali pa so neučinkovite, zato uporabljamo sistem ObjMKE tudi v izvorni obliki in ga lahko prilagodimo posebnim potrebam problema.

2. ZASNOVA RAZREDOV KNJIŽNICE ObjMKE

Knjižnica razredov ObjMKE je bila narejena z naslednjima ciljema:

- uveljaviti objektni pristop pri reševanju inženirskih nalog,
- postaviti osnovo za novo generacijo aplikativnih MKE programov.

Seznam ključnih zahtev je osnova reševanja vsakega problema. Pri nalogah, ki uporabljajo MKE za računanje konstrukcij, jih lahko predstavimo z naslednjim seznamom:

- zadostna natančnost izračunanih rezultatov,
- večkratna uporaba pri različnih nalogah,
- celovit pogovorni grafični urejevalnik za opis numeričnega modela,
- numerični in grafični prikaz rezultatov,
- poljubno število obtežnih primerov,
- sprejemljiv čas izračuna,
- dobra izkoriščenost kapacitet računalnika,
- vrsta računalnika (PC, delovna postaja, ...).

Izmed PC osebnih računalnikov zgornjim zahtevam ustrezajo 386/486 procesorski računalniki. Grafični urejevalnik lahko bazira na grafičnem večopravilnem okolju Windows 3.0, ki zna dobro izkoristiti pomnilnik računalnika (virtualni spomin). Z dovolj gostimi mrežami končnih elementov in z računanjem v podvojeni natančnosti lahko pri večini nalog zadostimo prvi zahtevi.

Druga zahteva (večkratna uporaba) predstavlja trši oreh, saj dosedanji način programiranja ni dal dobrih rezultatov. Objektna usmeritev z možnostmi dedovanja razredov objektov je osnova za iskanje novih rešitev.

Zahteva po grafičnem pogovornem modelirniku narekuje drugačne, prožnejše podatkovne strukture. Pri končnih elementih je treba referenciranje vozlišč, materialov, geometrijskih lastnosti z indeksi nadomestiti s kazalci (z naslovi). S tem se izognemo togim matrikam, ki so za vstavljanje in brisanje podatkov manj primerne. Nadomestiti jih je treba s prožnejšimi seznami [3].

3. NAČRT OBJEKTOV

Omejili smo se na linearne probleme računanja konstrukcij s poljubnim številom obtežnih primerov.

Objektni pristop se začne z identifikacijo nastopajočih objektov in študijem njihovih lastnosti. Določiti je treba atribute (podatke) objektov in operacije nad objekti. Izbor objektov praviloma ni enoličen, vendar od njega zavisi vse ostalo. Napak, ki jih naredemo pri določevanju objektov, kasneje ne moremo več popraviti.

Objekte lahko načrtujemo od zgoraj navzdol (MKEmodel, obtežni primer, ...) ali od spodaj navzgor (točka, oznaka, vozlišče, ...). Praviloma je najboljša kombinacija obeh pristopov. Objekte same lahko tudi postopoma razvijamo [1]; najprej jim določimo najbolj bistvene lastnosti, v naslednjem koraku pa se lotimo detajlnejših. Pri reševanju linearnih nalog pri konstrukcijah so bili ugotovljeni naslednji razredi objektov:

- oznaka,
- točka,
- prostostne stopnje v vozlišču,
- vozlišče,

- material,
- geometrijske karakteristike,
- končni element,
- obtežni primer,
- obtežba vozlišča, seznam obtežb vozlišča,
- obtežba elementa, seznam obtežb elementa,
- predpisani premiki v vozlišču, seznam predpisanih premikov,
- reakcije v vozlišču, seznam reakcij v vozlišču,
- seznam vozlišč, seznam končnih elementov, seznam materialov,
- seznam geometrijskih karaketristik, seznam obtežnih primerov,
- togostna matrika elementa, togostna matrika konstrukcije,
- obtežni vektor vozlišča, obtežni vektor elementa,
- MKE model konstrukcije.

Celotno nalogo predstavlja objekt "MKE model", ki obsega naslednje ključne podatke:

- naslov naloge,
- seznam materialov in seznam geometrijskih karakteristik,
- seznam vozlišč in seznam končnih elementov,
- seznam obtežnih primerov, tekoči obtežni primer.

Vozlišča vsebujejo poleg koordinat tudi podatke o podprtih prostostnih stopnjah in izračunanih ali predpisanih premikih tekočega obtežnega primera. Tekoči obtežni primer je eden izmed podanih obtežnih primerov.

Obtežni primeri imajo naslov, oznako in ime datoteke na kateri so zapisani izračunani premiki in reakcije. Razen tega vsebujejo še naslednje sezname:

- seznam obteženih vozlišč,
- seznam obteženih elementov,
- seznam predpisanih premikov v podprtih prostostnih stopnjah.

Reakcije tekočega obtežnega primera so v posebnem seznamu. Premiki tekočega obtežnega primera so shranjeni v vozliščih.

Končni element ima naslednje podatke: naslove vozlišč, naslov materiala, naslov geometrijskih karakteristik. V C++ izvedbi lahko definicijo razreda *Elem* prikažemo z:

```
class Elem {
  protected:
    Oznaka ozn;          // oznaka elementa
    static int nVozl;    // stevilo vozlisc
    Mat* kMtEl;          // naslov materiala
    GeoKar* kGKEl;       // naslov geom. karakteristik
  public:
    Elem( int o, Mat* m, GeoKar* gk );     // konstruktor
    virtual int nVz();                     // stev. vozlisc
    virtual Vozl* kVz( int i );            // i-to vozlisce
    virtual Mat* kMt()                     // material
    virtual GeoKar* kGK();                 // geom. karakt.
    virtual TogMatEl* izracunajTogMat();   // tog. matrika el.
};
```

Vsi opisani objekti imajo poleg konstruktorjev in destruktorjev še: metode za določanje in spreminjanje atributov, metode za izpis, metode za shranjevanje na disk v binarni obliki in ponovno čitanje z diska. Metode, ki so potrebne, da dobimo izračunane premike, so opisane v naslednjem poglavju.

Poseben objekt predstavlja objekt *urejen seznam*, v katerem so shranjeni po ključu urejeni objekti. Vozlišča, končni elementi, materiali, geometrijske karakteristike in obtežni primeri so urejeni po celoštevilčnih oznakah, ki pa niso indeksi polj, kot pri klasičnem fortranskem pristopu. Njihov glavni namen je referenciranje pri numeričnem prikazu podatkov in rezultatov. Pri pogovornem grafičnem urejevalniku lahko določevanje oznak prepustimo računalniku.

Bistvena prednost seznamov pred polji so zmogljivosti odstranjevanja objektov iz seznama. Pri tej operaciji lahko odstranimo element iz sredine seznama in pri tem ne bo nastala nobena luknja - prazen prostor, kot pri delu s polji. Zahtevi, da odstranitev poljubnega dela ne pusti modela v nekonsistentnem stanju, lahko s seznami bistveno lažje zadostimo, kot s polji. Če na primer odstranimo vozlišče, se morajo avtomatično odstraniti vsi tisti elementi, ki vsebujejo naslov tega vozlišča.

4. METODE ZA IZRAČUN PREMIKOV

Objekt razreda *MKEModel* predstavlja matematični (računski) model konstrukcije. Ogrodje objekta lahko predstavimo z:

razred *MKEModel*
    konstruktor in destruktor
    urejevalne metode
    resi

Konstruktor razreda ustvari prazen objekt, destruktor objekt uniči. Sklop urejevalnih metod omogoča podajanje, popravljanje in spreminjanje matematičnega modela. Skrbi za urejanje vozlišč, končnih elementov, materialov, geometrijskih lastnosti, robnih pogojev in obtežnih primerov. Urejanje pri tem pomeni dodajanje, odstranjevanje in poizvedovanje.

Njihova imena so: *dodajVz, kVz, uniciVz, dodajEl, kEl, uniciEl, dodajMt, kMt, uniciMt, dodajGk, kGK, uniciGK, dodajObPrimer, kObPr, uniciObPrimer, dodajObVz, uniciObVz, dodajObEl, uniciObEl, dodajPdPm, uniciPdPm.* Metode, ki se začno s črko k, vrnejo naslov z oznako določenega objekta.

Metoda *resi* sproži izračun premikov in reakcij vseh obtežnih primerov; upošteva trenutno stanje in izvede samo zaradi sprememb konstrukcije potrebne izračune. Če razcep sistema linearnih enačb ne obstaja, se sproži metoda *resiSistem.* Če je razcep uspel, se za vsak obtežni primer iz seznama obtežnih primerov sproži metoda *resiObPr*, ki ima za argument naslov obtežnega primera.

Metoda *resiSistem* je virtualna in v razredu *MKEmodel* ni določena; zanjo moramo poskrbeti pri iz tega razreda izpeljanih razredih. Lahko se odločimo za frontalni način reševanja ali pa pri manjših nalogah zapišemo togostno matriko konstrukcije v stolpičasti

obliki. Tretjo možnost nudi predhoden izračun vseh togostnih matrik končnih elementov, njihov zapis na posebno datoteko, ki mu sledi sestavljanje in razcep pasovne togostne matrike konstrukcije. Če hočemo zmanjšati število računskih operacij, moramo bodisi določiti vrstni red enačb pri pasovnih sistemih, oziroma vrstni red končnih elementov pri frontalni metodi. Do togostne matrike konstrukcije pridemo s pomočjo seznama končnih elementov in metode za izračun togostne matrike elementa, ki pripada vsakemu razredu končnih elementov. Razcep sistema se mora napisati na posebno datoteko.

Tudi metoda *resiObPr* je virtualna in mora biti vsklajena z metodo, ki izračuna razcep. Za dani obtežni primer mora najprej z upoštevanjem seznama obteženih vozlišč, seznama obteženih elementov in seznama predpisanih premikov izračunati obtežni vektor in nato s pomočjo razcepa sistema enačb izračunati premike v vozliščih in reakcije v podporah. Rezultate mora napisati v predpisanem formatu na posebno datoteko.

5. IZVEDBA

Knjižnica razredov ObjMKE je narejena z Borlandovim prevajalnikom C++ 2.0. Za delo s seznami uporablja knjižnico razredov za shranjevanje objektov *RSO*, ki ima vključene Borlandove zmogljivosti za obstojne objekte. ObjMKE je sestavljena iz dveh delov: seznama definicijskih datotek za razrede in datoteke *mkeobj.lib*.

6. PRIMER UPORABE

Uporaba knjižnice ObjMKE je tipičen primer objektno usmerjenega načina dela, kjer s pomočjo dedovanja samo dodajamo manjkajoče dele.

Iz razreda *MKEModel* je izpeljan razred *MKEModelFront*, ki ima že izdelane metode *resiSistem* in *resiObPr*, kjer je za reševanje sistema uporabljena frontalna metoda.

Za računanje plošč iz razreda *MKEModelFront* izpeljemo razred *Plosca*, ki mu dodamo seznam izračunanih momentov in prečnih sil ter metode za njihov izračun, prikaz in izpis. Poskrbeti moramo tudi vnos, izpis in prikaz ostalih podatkov in rezultatov.

Iz razreda *Elem* izpeljemo razred za 9 vozliščni ploščni končni element *Pl9*, iz razreda *Mat* izpeljemo razreda za izotropni (*IzoMat*) in ortotropni material (*OrtoMat*), iz razreda *GeoKar* izpeljemo razred za določitev debeline plošče (*Debelina*). Iz razreda *ObtezbaEl* izpeljemo razred za enakomerno obtežbo elementa (*EnakomernaOb*). Prikazan je primer dela definicije razreda *Pl9* v C++ notaciji:

```
class Pl9 : Elem {
  protected:
   Vozl* kVozl[9];
  public:
   Pl9( int ozn, Vozl* kv[9], Mat* kMat, GeoKar* kGeoKar );
   ...
    virtual Vozl* kVz( int i )
       {  return kVozl[i];  }
    virtual TogMatEl* izracunajTogMat();
};
```

Za izračun togostne matrike elementa moramo določiti metodo *TogMatEl*, ki izračuna togostno matriko elementa. Za njeno izdelavo bomo uporabili metode razreda *TogMatEl*.

Razred *EnakomernaOb* mora vsebovati metodo *obVektor*, ki izračuna pripadajoče vozliščne obtežne vektorje posameznega elementa.

Paketno usmerjen program za računanje plošč jedrnato zapišemo z:

```
#include "plosca.h"

main() {
   Plosca pl;

   pl.vnosPodatkov();
   if( pl.resi() )
      pl.izpisRezultatov();
```

7. ZAKLJUČEK

Knjižnica razredov ObjMKE predstavlja sklop osnovnih razredov za izvedbo aplikativnih programov, ki rešujejo linearne naloge konstrukcij po metodi končnih elementov. Brez posebnih težav lahko s tem orodjem obravnavamo nekonstrukcijske naloge. Iz razredov za materiale in geometrijske karakteristike lahko izpeljemo razrede, ki predstavljajo druge lastnosti končnih elementov. Lahko pa ustrezno predelamo izvorno verzijo samih ObjMke razredov. Predvidene razširitve obsegajo razrede za generacijo mreže končnih elementov in razrede za grafični prikaz v okolju Windows 3.0.

V načrtu je izdelava posebne verzije za reševanje nelinearnih problemov, ki pa bo narejena na osnovi razredov ObjMKE.

8. LITERATURA

1. Bulman, D., M., An Object-Based Development Model, Computer Language, 6, 8, 49-59, 1989

2. B. Forde, R. Foschi, S. Stiemer, Object-Oriented Finite Element Analysis, Computers & Structures, 34, 3, 355-374, 1990

3. Iztok Kovačič, Programirna orodja za izdelavo inženirske programske opreme, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FAGG, Ljubljana 1991

4. J. S. Rodrigues Filho, P. R. Bernard Devloo, Object oriented programming in scientific computations: the beginning of a new era, Engineering Computations, 8, 81-87 1991

5. M. A. Ellis, B. Stroustrup, The annotated C++ Reference Manual, Addison-Wesley, 1990

Davor Delić *)

EKSPERTNE MREŽE - primjena u građevinarstvu

Sažetak

Ekspertni sustavi i neuralne mreže predstavljaju alat razvoja novih računalskih programa koji podižu razinu uporabe računala na novom, višem nivou, obzirom da su obje metode nastale razvojem tehnika umjetne inteligencije. Iako potpuno tipski različiti, pokazalo se da su to dvije komplementarne metode čije se prednosti dadu objediniti u ekspertnim mrežama. Njima se mogu stvoriti ekspertni sustavi na osnovi dugogodišnjeg prikupljanog papirnatog znanja, kao i znanja dobivenog računskim simulacijama, uz kraće vrijeme razvoja i, shodno tome, manje potrošeno vrijeme stručnjaka-eksperata.

Prikazuje se primjer evouliranja jednog klasičnog na pravilima zasnovanog ekspertnog sustava (HALLOPT-a) prema ekspertnoj mreži gdje se jedan njegov modul za pretraživanje baze prikupljenog znanja zamjenjuje neuralnom mrežom.

Summary

Expert systems and neural networks are represents of development tool for a new generation of computer programs that try to reach higher level of computers using, as both methods have been grown from artificial intelligence techniques. Even both of them are apparently opposed methods it became clear that their advantages should been combined in expert networks. Expert systems may be made by the use of many years accumulated paper-knowledge as well as computer-given-knowledge. This guide to less time needed for their development with the saving of human expert's time.

Shown is an example of evaluating a classic rule based expert system (HALLOPT) to a expert network by replacing one of its knowledge base searching module with a neural network.

1. Opća razmatranja

Prilikom stvaranja baze znanja kod na znanju baziranih ekspertnih sustava (*knowledge based expert systems - KBES*) najveću poteškoću predstavlja upravo prikupljanje tog znanja. Preciznije, intervju stručnjaka-eksperta treba ispravno zamisliti, provesti, a poslije optimalno iskoristiti i predstaviti dobivene podatke. K tomu treba dodati da je ovaj postupak potrebno provesti više puta, sve dok baza znanja ne bude na traženom nivou, što je vremenski vrlo zahtijevno. Pokazalo se pri tom, da spomenuti stručnjaci toliko intezivno surađuju da oni, u stvari, svoje znanje prenose stvaraocu ekspertnog sustava čime on sam

*) dipl. ing. građ. mladi istraživač na Odjelu za konstrukcije Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

postaje ekspert i tek tada je sposoban napraviti uporabljiv sustav. To nije loš popratni efekt u smislu širenja znanja među ljudima, ali svakako dovodi u pitanje širu i općenitiju produkciju KBES-ova. Naime, teško je pri nekoj instituciji oformiti tim ljudi koji bi se bavio isključivo (*hiper*)produkcijom KBES-ova za više korisnika i tipova problema. Teško, ne i nemoguće, ali svakako vrlo skupo. Vrijeme stručnjaka pravilu je vrlo cijenjeno i valja ga trošiti tamo gdje je najpotrebnije, a to su vjerojatno poslovi na na kojem je spomenuto iskustvo i stekao.

S druge strane postoji velika količina papirnatog iskustva koje se godinama gomila. Iako su građevinski objekti u pravilu unikati, mnogi se praktički razlikuju samo u nekim parametrima, zbog čega ne bi bilo potrebno da svaki korak u projektiranju i izvedbi takvih objekata također bude unikat. Naravno da su se inženjeri ovog dosjetili mnogo prije pa se u praksi neko rješenje eksploatira u svim sličnim problemima. No, ako se složimo da je vrijeme da se računalo konačno ugradi u svaku poru graditeljstva i to ne samo kao alat, doći ćemo do pojmva kao što su računalo-inteligenti savjetnik, optimalni dizajn, unificirana pravila, opće baze podataka (i znanja), projektiranje podržano računalom ... itd. Sve to "miriše" na znatnu uštedu novca i bitno ugodniji rad.

Kako dakle, ugraditi u računalo to papirnato iskustvo? Odgovor glasi: pomoću neuralnih mreža. Klasificiranjem papirnatog iskustva u grupe (npr. vijadukti), te odabirom ispravnih parametara (broj polja, širina kolnika, opterećenja, polumjeri zavoja, širina ploče, kabeli, armatura... itd.) može se neuralnoj mreži prepustiti uspostava analogije među ovim parametrima, tako da se neki mogu uzeti kao početni u sličnim, novim problemim. Ako se pored nagomilanog paprirnatog iskustva dodaju i oni računalom simulirani i to približno optimalni, ti će početni parametri također voditi optimalnom rješenju.

Spretnom kombinacijom prethodno opisaih pojmova tehnika umjetne inteligencije tvori se novi: ekspertne mreže.

2. Osnovni pojmovi

2.1. Neuralne mreže (NM)

Neuralna mreža je sustav procesiranja informacija na način kakvim se vjeruje da ljudski mozak radi. Ona se sastoji od velikog broja procesirajućih elemenata - čvorova. Svaki čvor prima mnogo različitih ulaznih signala preko veza sa ostalim, ali daje samo jedan izlazni, koji je povezan sa mnogim ostalim čvorovima. Svi su oni, tipski identični - nelinearni procesori koji reagiraju na težinske veze. O sumi ovih ulaznih težina ovisi hoće li se izlazni impuls neurona aktivirati (ako je suma težina veća od nekog praga), te u kojoj mjeri (kolikom težinom).

Neuralna mreža počima sa slučajno postavljenim težinama među vezama čvorova. Na nizu primjera ulazni parametri jesu vrijednosti ulaznih čvorova. Vrijednosti izlaznih čvorova su zahtijevani, tj. ono što je rješenje koje se od mreže očekuje. Tokom treniranja ove se vrijednosti usaglašavaju popravkama težina veza među čvorovima sve dok na svakom primjeru set ulaznih čvorova uistinu dade set izlaznih. Pravila ovog usaglašavanje tvore zakon učenja mreže.

2.2. Na pravilima zasnivani ekspertni sustavi (ES)

Za razliku od neuralnih mreža na pravilima zasnivani ekspertni sustavi koriste simboličke proračune na principima umjetne inteligencije (bolje rečeno virtualne inteligencije). Sastoji se od tri ključna dijela: zaključnog mehanizma, skupa *IF ... THEN* pravila (baze pravila) i skupa poznatih činjenica i pojmova koji se tiču dotičnog problema (baze znanja).

IF ... THEN skup pravila omogućavaju reakciju sustava na vanjska stanja kada se ona poklope sa uvjetnim dijelom pravila.

Baza se znanja sastoji od činjenica i pojmova vanjskog svijeta predočenim sustavu na način koji ih on prepoznaje. Nisu sve činjenice potpuno istinite, već često imaju uz sebe faktor vjerojatnosti. Oni imaju veliki utjecaj na konačni rezultat u smislu da određuju smjerove razmišljanja sustava u konjukciji sa zaključnim mehanizmom.

Zaključni mehanizam jest ono što jednom ES-u daje atribut *"inteligentan"*. Osnovna mu je zadaća da uspoređuje uvjetne dijelove pravila sa postojećim stanjem (*state of the world*) i da odluči da li će i koji (ako ih više ispunjava uvjetni dio) posljedični dio pravila biti izvršen. Ova će radnja vjerojatno promijentiti postojeće stanje, pa će se opet određeni podskup pravila morati obraditi zaključnim mehanizmom. Operacioni krug na pravilima baziranog sustava zasniva se na *"susresti-izabrati-izvršiti"* logici dok obični kompjutorski programi prate *"primiti-izvršiti-pohraniti"* logiku.

Četvrti dio ES-a sačinjavaju popratni moduli (zato se ne smatrju ključnim dijelovima, ali bez njih ES se smatra tek sirovim poludjelom). Najvažniji od njih su svakako moduli za objašnjavanje i praćenje linije razmišljanja, tj. tijeka izvršavanja pojedinih pravila u svim stanjima ES-a tokom jedne konzultacije.

2.3. Ekspertne mreže (EM)

Problemi razvoja KBES-a navedeni su u uvodnom dijelu. Što nedostaje neuralnim mrežama? Ona ne zahtijeva, poput KBES-a posebno navođenje pojedinih pravila - ona ih sama stvara iz većeg broja primjera. Tu je prvi problem. Ne može se očekivati da će se na par primjera uspjeti postići zadovoljavajuća poopćenja. Zatim, pravilan izbor parametara ipak zahtijeva stručnjaka, eksperta jer, neuralna će mreža dati očekivane i pouzdane podatke samo ako su za čvorove izabrane prave veličine sa istančanim osjećajem za upliv svake pojedinačno. Konačno, nikakvog uvida u način razmišljanja, odn. odabira rješenja ovdje nema.

Rješenje se nalazi u izgradnji hibridnog sustava koji prestaje simulirati *"neuralno-mrežnu osobu"* ili *"inženjera znanja"* već postaje *"dobavljač rješenja"*. Temeljitim uvidom u sam problem, te osobitosti kako KBES-ova tako i NM-a, smatrajući ih tek alatom, mogu se maksimalno iskoristiti njihove prednosti, minimizirati mane i stvoriti prigodnu ekspertnu mrežu.

Mogla bi se postaviti definicija: Ekspertne mreže kombiniraju ekspertne sustave i neuralne mreže, dva praktički potpuna suprotna sustava, tvoreći rješenja koje nikakav drugi sustav ne može.

2.4. Metode kombiniranja neuralnih mreža i ekspertnih sustava

2.4.1. Podijeli pa vladaj

Složeni se problem može rastaviti u niz jednostavnijih, te za svakog od njih odabrati najbolju tehniku iznalaženja problema. Time se ukazuje potreba za dodatnim modulom sustava - razvstavatelju problema, koje pojedine problema šalje neuralnoj mreži, ekspertnom sustavu, ili pak standardnom algoritmu. Pojedino rješenje uvijek daje samo jedan od ova tri modula (nikako kombinacija). Nema potrebe učiti pravilima neuralne mreže niti trenirati na znanju zasnovani sustav na primjerima.

2.4.2. Princip ugradnje

Neuralna se mreža dade učiniti dijelom ekspertnog sustava. Zaključni mehanizam ES-a uspoređuje postojeće stanje sustava sa uvjetnim dijelovima pravila nakon čega se poduzimaju daljne radnje. Upravo ovaj dio, prepoznavanje primjera, tj uspoređivanje

postojećeg stanja jest ono šu se NM ugraditi i kao zasebni podprogrami ili kao djelovi posljedičnih dijelova pravila. to neuralne mreže, u stvari, najbolje rade i smisleno je iskoristiti ih za odabir pravila koje se trebaju izvršiti.

2.4.3. Objašnjenje razgovorom

Kod ovog se hibridnog modela rješavanjem problema bavi isključivo neuralna mreža. Postoji, međutim, paralelno ugrađeni ekspertni sustav, manjih sposobnosi, ali kadrim pratiti liniju razmišljanja i pružiti potrebna objašnjenja. Tokom rada on je u stanju mirovanja sve dok korisnik ne zatraži pojašnjenja. Tada se na osnovi izlaza neuralne mreže i početnog ulaza (tipa pitanja ES-u) generira odgovor i to lančanjem unazad.

2.4.4. Umjetni ekspert

Ako je baš potrebno razviti ES, a nema se na raspolaganju stručnjaka, tada je moguće razviti neuralnu mrežu koja će riješiti problem, izanalizirati rješenja i isproducirati pravila. To je mukotrpan posao, sa pojavama sumnjivih rješenja, ali ipak moguć i na koncu isplativ. Vrijeme treniranje mreže je manje od vremena potrebnog za razvoj jednog sustava (12 do 18 mjeseci po američkim izvorima). U krajnjoj liniji intervencija u produciranim pravilima uvijek je moguća.

3. Praktična primjena

Pokazat će se na praktičnom primjeru, za znanju zasnovanom ES-u za optimalni dizajn tipske drvene hale HALLOPT-u, kako je moguće u njega ugraditi neuralnu mrežu.

3.1. Kraći opis rada HALLOPT-a

HALLOPT je ekspertni sustav za optimalni odabir komponenti tipske drvene hale - podrožnica, drvenih lameliranih vezača, čeličnih stupova i AB temelja. Postoji čitav niz popratnih modula koji ga i čine ekspertnim sustavom. Zadaje se geometrija hale, vjetrovna zona, vlažnost, pokrov i raspoloživi izbor drvene građe. Cilj je pronaći optimalni razmak vezača, odgovarajućih nagiba i, jasno minimalnih, a sigurnih dimenzija. Za takav raspored nalaze se optimalne podrožnice i čelični stupovi sa temeljima.

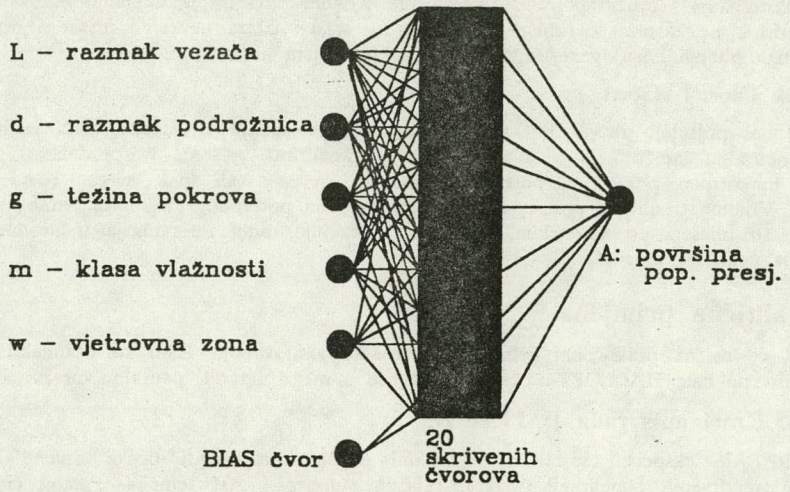
Za svaki mogući razmak vezača (modularni korak 25 cm) variraju se svi mogući nagibi. Tu se aktivira podsustav za pronalaženje lokalno optimalnih podrožnica. Za raspoložive klase drva variraju se mogući razmaci podrožnica u granicam od 80 do 250 cm. Rezultai se bilježe u bazu za buduće korištenje. Ovim su podrožnicama, sada poznata sva opterećenja pa se za sve raspoložive klase drveta traže minimalni sigurni presjeci vezača. Optimalnom se rješenju pridružuju pripadni stupovi i temelji.

Na početku razvoja sustava ideja je bila da se svi lokalno optimalni međurezultati i za podrožnice i za vezače spremaju u bazu podataka kako bi se u budućim konzultacijama izbjeglo računanje. Nažalost vrlo ubrzo vrijeme potrebno za pretraživanje baze postalo je veće od vremena potrebnog za proračun. Nametalo se jasno rješenje: ili neuralnim mrežama isproducirati pravila, ili ugraditi neuralnu mrežu u ES, za rješavanje pojedinih problema. Kako je pristup umjetnog stručnjaka zahtjevniji, prvi pokušaj je rađen na ovom potonjem principu.

3.2. NM za odabir lokalno optimalne podrožnice

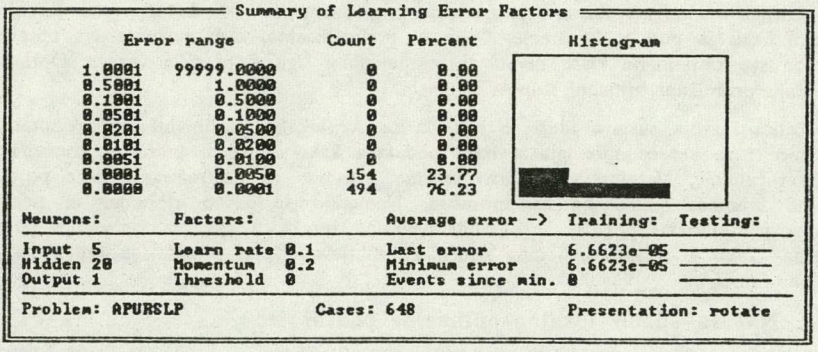
Potrebno je istrenirati nekoliko neuralnih mreža, za različite situacije, u cilju efikasnog njihovog korištenja. Ward-ova ljuska NeuroShell, kojim se na GF-u raspolažemo, a bez hardwerskog dodatka - Neouroboarda zahtijeva ipak "čišću" situaciju kod odabira ulaznih i izlaznih parametara. Tako se pokazalo da je nužno kreirati mreže posebno za svaku klasu drveta i za svaki nagib. Tim prije što su svi podaci dobiveni strojnom simulacijom -

ekstrahiran je algoritam optimalizacije iz HALLOPT-a, preveden u PASCAL kod i generirana je baza podataka. Izračunati su optimalni presjeci za razmake vezača L=300, 350, 400 i 450 cm, za tri vrste pokrova (g= 350, 650 i 900 N/m^2), za razmake podrožnica od 90 do 240 cm, korak 30 cm, te za svaku vjetrovnu zonu (I, II, i III) i za svaku klasu vlažnosti (I, II, i III). Prikaz NM dade se vidjeti na slici 1.



Sl. 1. Shema neuralne mreže

Sveukupno je za ovu mrežu izproducirano 648 primjera i nakon cca 2.5 sata na 486 stroju postignut je nivo konvergencije koji se može vidjeti na slici 2 (naučeno 76%, 24% odgovora nalazi se u razredu manje točnosti).

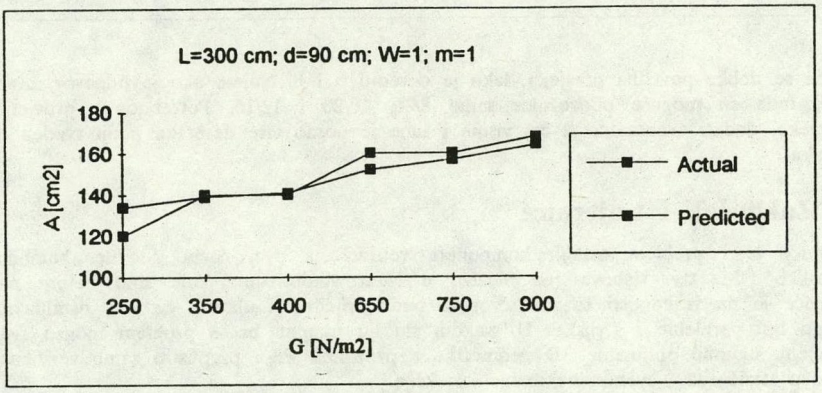


Sl. 2. Stanje istreniranе NM

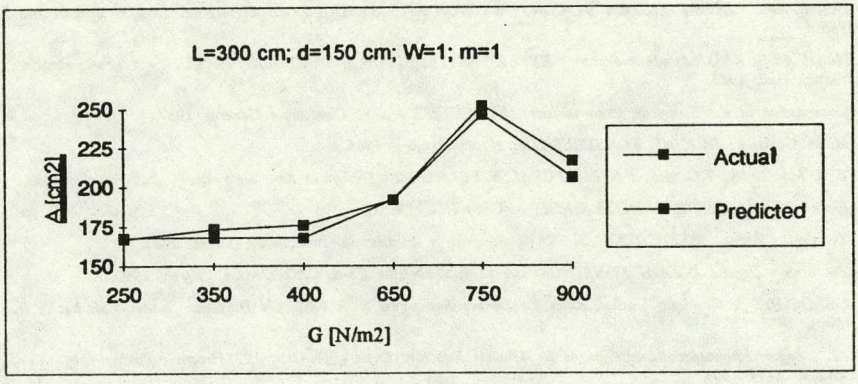
Izlazni je čvor površina poprečnog presjeka. Kada se pokušalo sa dvije izlazne veličine (b i h) odgovori nisu bili zadovoljavajući. Međutim, vrlo je jednostavno iz površine dobiti potrebne b i h.

Dakle, dok je prije, u klasičnom ES-u trebalo ili izvršiti proračun, što zahtijeva više desetaka petlji i provjera, ili pretražiti bazu podataka, što je kod većeg broja zapisa nepraktično, sada se za određeno postojeće stanje sustava (klasa drveta podrožnice, nagib) pitanje postavlja odgovarajućoj neuralnoj mreži pa se za ostale parametre (L, d, g, m, W) instantno dobiva odgovor - preporučena površina poprečnog presjeka. Obzirom da su primjeri za učenje računski simulirani i na bazi algoritma za optimalni proračun, tako je i odgovor mreže u okolini optimalnog. Kako neuralna mreža aproksimira točna rješenja može se vidjeti na slikama 3 do 5.

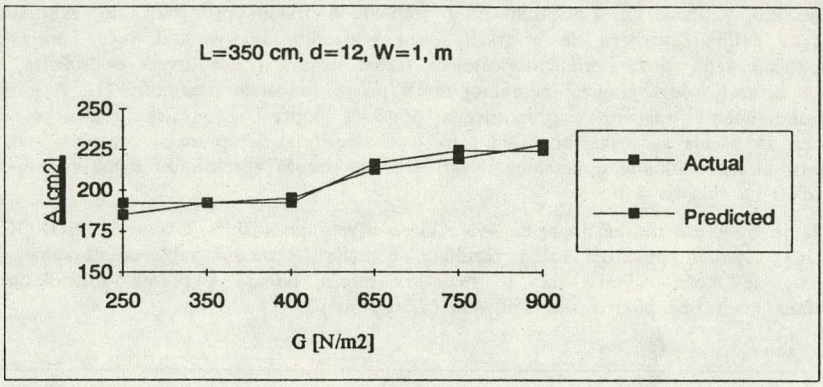
Mreža je trenirana za slučaj nagiba 4% i klase drveta podrožnice C4 prema EUROCODE-u. Linija *"Actual"* pokazuje točne rezultate, a linija *"Predicted"* odgovor neuralne mreže. Također se može vidjeti kako se neuralna mreža ponaša i prema kontrolnom setu podataka (za težine pokrova od 250, 450 i 750 N/m^2)



Sl.3.



Sl. 4.



Sl. 5.

Kada se dobije površina presjeka, lako je odrediti b i h. Naime ako je odgovor mreže 200 cm^2, tada su moguće podrožnice samo 8/26, 10/20 i 12/16. Potrebno je provjeriti ove presjeke, dodati eventualno 2 cm visine i time je posao više desetaka petlji sveden na par koraka.

4. Zaključak i smjernice

Moguće je i problem ostalih komponeti tretirati na ovaj način. Štoviše, kombinacijom nekoliko NM, tzv. slabova (raspoloživo u Neurowindows-ima koje smo netom nabavili) moguće je da vrijednosti izlaznih čvorova budu vrijednosti ulaznih čvorova ostalih slabova. Mogu biti paralelne i serijske. U svakom slučaju ukupan bi se problem mogao svesti na procjenu ukupne optimalne 3D geometrije a pravilima ES-a prepustiti samo verifikaciju na osnovu standarda i eventualne manje korekcije.

5. Literatura

1. *Hojjat Adeli: EXPERT SYSTEM IN CONSTRUCTION AND STRUCTURAL ENGINEERING, Chapman and Hall, 1988.*

2. *Hojjat Adeli, K.V. Balasubramanyam : EXPERT SYSTEMS FOR STRUCTURAL DESIGN - A new generation, Prentice Hall, 1988.*

3. *Commission of the European Communities : EUROCODE No 5., Directorate General, 1987.*

4. *Milan Gojković: DRVENE KONSTRUKCIJE, Naučna knjiga, 1986.*

5. *T. J. MacGinley, T.C. Ang, : STRUCTURAL STEELWORK - Design to limit state theory, Butterworths, 1987.*

6. *Elaine Rich: ARTIFICIAL INTELIENCE, McGraw-Hill., 1983,86.*

7. *Zvonimir Žagar : EKSPERTNI SUSTAVI, Simpozij o drvenim konstrukcijama, Cavtat 1983.*

8. *Zvonimir Žagar : DIZAJN KONSTRUKCIJA KORIŠTENJEM ES-a, CADFORUM, Zagreb, 1990.*

9. *EUROCODE 5, Common Unified Rules for Timber Structures, EUR 9887 EN Dir.Gen. Intern. Market & Industr. Affairs, 1988.*

10. *Z. Žagar, Knowledge Based Systems for Glulam Structure Design, TRADA, 1991 Intern. Timber Eng. Conference London, 2.494-2.501*

11. *Žagar, Z., Knowledge Based System for Automatic Design of Glued Laminated Structures, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo, 1989, 239-248.*

12. *Delić D., OPTIMALNI DIZAJN TIPSKE DRVENE HALE S GURU LJUSKOM, diplomski rad, Fakultet gradjevinskih znanosti Sveucilista u Zagrebu, 1990.*

13.. Fenves, S. J., at all, The structure of building Specificationtions, Building Sciences Series 90, NBS, Washington D. C., 1976.

14. Fenves S. J., Recent development in Methodology for formula tion of design Specifications, Eng. Structures, Vol. 1., 1979.

15. Fenves, S. J., Expert System in Civil Engineering, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo,1989, 1-19.

16. Garret, Jr., J. H., Object-Oriented Representation of Design Standards, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil . Engineer- ing, Bergamo, 1989, 373-382.

17. Garret, Jr., J. H., Knowledge -Based Expert Systems: Past, Present and Future, IABSE SURVEY S/90, IABSE Periodica, Zurich, 1990.

18. JUS I.D.0.001 Tehnički Standard, Materijali za izradu drvenih konstrukcija i tehnički uslovi, SZS, Beograd, 1983.

19. NEUROSHELL, Neural Network Shell Programm, Ward System Group Inc., rederick, Maryland, 1989.

20. Colin R. J., C. Brown, Cognizers, Wiley Science Editions, New York, 1988.

21. .R., Hecht/Nielsen, Neurocomputing: picking the human brain, IEEE Spectrum, 1988., 36-41.

22. Kohonen, T. State of art in neural computing, 1987, IEEE International Conference on Neural Networks.

23. Kolić D., Radić J., Konceptualno projektiranje betonskih grednih mostova, Zbornik radova prvog znanstvenog kolokvija MOSTOVI, DHGK, Brijunski otoci, CROATIA, 1991, 49-58. (in Croatian)

24. Kolić D., Numeričke analize kao podloga projektiranja mostova podržanog neuralnim mrežama, Zbornik radova prvog znanstvenog kolokvija MOSTOVI, DHGK, Brijunski otoci, CROATIA, 1991, 413-421. (in Croatian)

25. Lippman R. P., An Introduction to Computing with Neural Nets, IEEE ASSP Magazine, 1987, 1-21.

26. Schoneburg E., N. Hansen, A. Gawelczyk, Neuronale Netzwerke, Mark&Technik Verlag, Haar/Munchen, 1990.

27. D. S. Touretzky, D. A. Pomerlean, What's Hidden in the Hidden Layers?, Byte, 1989, 227 - 233.

28. Caudill. M., Expert networks, Byte, Oct. 1991, 108-116.

29. Hung, S.L., Adeli H., A model of perceptron learning with a hidden layer for engineering design, Neurocomputing 3 (1991) 3-14.

Iztok PERUŠ*

NEVRONSKE MREŽE IN NJIHOVA UPORABA V GRADBENIŠTVU

Povzetek

V prispevku so na kratko opisane nevronske mreže. V uvodu je podan kratek pregled razvoja nevroračunalništva. Sledi enostaven prikaz enoplastnih in večplastnih nevronskih mrež. Dva primera v tretjem poglavju prikazujeta uporabnost nevronskih mrež na enostavnih gradbeniških problemih.

NEURAL NETWORKS AND THEIR USE IN STRUCTURAL ENGINEERING

Summary

This article deals with neural networks and their use in structural engineering. Brief rewiev over the history of neurocomputing is given, which is followed by the simple explanation of single and multilayer networks. Finally, some simple problems and their solutions, which demonstrate the usefullnes of neural networks, are presented.

1. Uvod

Značilnost zadnjih let je nagel razvoj in uporaba metod umetne inteligence (angl. "Artificial Inteligence - AI") v vseh strokah. Ena izmed znanstvenih vej umetne inteligence, ki razvija takšne nove metode, se ukvarja z nevronskimi mrežami (angl. "Neural Networks"). Le-te po letu 1987 s prvim mednarodnim kongresom na tem področju doživljajo ponoven in bliskovit razvoj.

Začetki nevroračunalništva (angl. "Neurocomputing") segajo tja v leto 1943, ko sta McCulloch in Pitts /MCCU43/ pokazala, da lahko v principu celo zelo enostavni tipi nevronskih mrež izvedejo poljubno aritmetično ali logično funkcijo. Nekaj let kasneje se je pojavila še ideja o zakonu učenja (angl. "learning law") po analogiji s pravimi možgani, seveda v izredno poenostavljeni obliki. Že leta 1951 je bil izdelan prvi nevronski računalnik /MINS54/, nekaj kasneje pa tudi prvi uporaben nevronski računalnik /ROSE58/. Izdelani so bili še nekateri izboljšani procesni elementi nevronskih mrež, nakar je znanost na tem področju zastala vse do začetka 1982, ko je John Hopfield objavil dva zanimiva in strokovno podprta članka s področja nevronskih mrež /HOPF82/, /HOPF84/. Oba članka sta pritegnila veliko pozornost. Število raziskovalcev na tem področju se je močno povečalo, tako da je že leta 1987 organiziran prvi mednarodni kongres. Po tem obdobju najdemo uporabo nevronskih mrež praktično v vseh tehničnih disciplinah, zadnja leta pa tudi v gradbeništvu, predvsem kot dele možnih ekspertnih sistemov /VANL90/.

Namen prispevka je na kratko predstaviti nevronske mreže in na preprostih primerih prikazati njihovo uporabnost.

2. Nevronske mreže

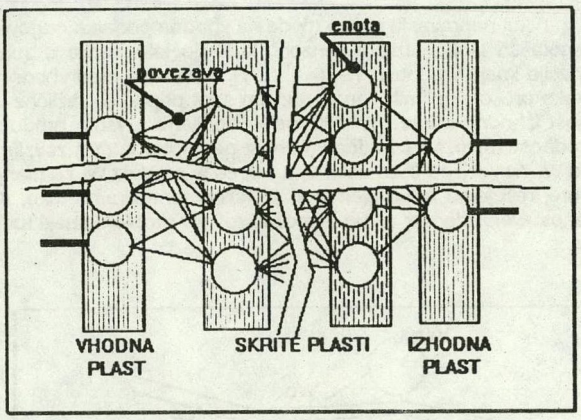
Nevronske mreže lahko grobo opišemo kot računalniške sisteme (hardware ali software), ki simulirajo strukturo in delovanje bioloških nevronskih mrež v človeških možganih. Dejansko so najrazličnejše umetne nevronske mreže bistveno poenostavljeni modeli bioloških možganov.

---

* mladi raziskovalec, IKPIR, FAGG, Ljubljana, Jamova 2

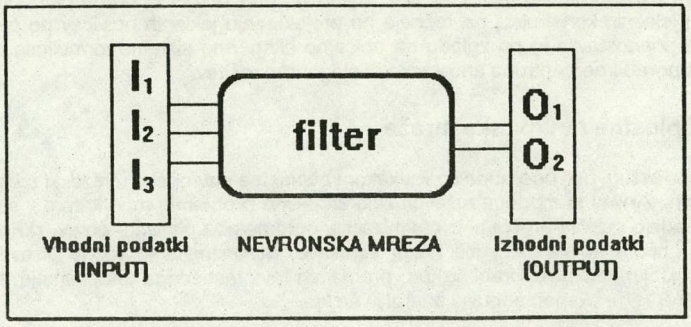
Po eni izmed definicij /HECH90/ je nevronska mreža vzporedna, porazdeljena informacijska procesna struktura, ki je sestavljena iz procesnih elementov (enot). Enote na posameznih nivojih so medsebojno povezane s signalnimi kanali (povezavami).

Vhodne enote sprejemajo signale (podatke) od zunanjega sveta in ležijo v najnižji, vhodni plasti. Izhodne enote dajejo izhodne signale (rezultate) in ležijo v najvišji, izhodni plasti. Ostale plasti nimajo neposrednega stika z zunanjim svetom in ležijo v t.i. skritih plasteh (angl. "hidden layers"). Povezave med enotami na različnih nivojih potekajo preko omenjenih signalnih kanalov (Slika 2.1.).



Slika 2.1. Splošna shema nevronske mreže.

Slika 2.2. prikazuje shemo načina uporabe nevronskih mrež. Shema spominja na uporabo klasičnih računalniških programov, kar kaže na možnost simulacije nevronskih mrež s programsko opremo. Če bi bil filter običajen računalniški program, bi dobili izhodne vrednosti po vrsti zaporednih računskih operacij, ki bi se izvajale tekom delovanja programa in bi bile v programu eksplicitno zapisane (po algoritmu za rešitev problema). Za razliko od teh predstavljajo nevronske mreže sisteme, ki so sposobni dati rešitev problema šele po procesu "učenja", ko se formira spomin sistema. Osnovna ideja nevronske mreže je namreč izdelava takšnega sistema, ki bi bil po "učenju" na testnih primerih (vzorcih) nekega problema, za katerega so znani podatki in pripadajoči rezultati, sposoben sam reševati isti problem.



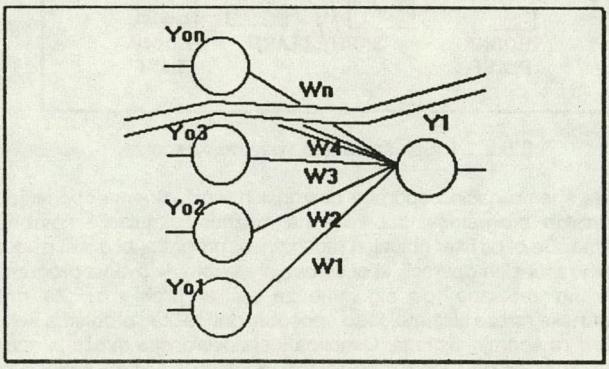
Slika 2.2. Način delovanja nevronske mreže.

Po eni izmed možnih delitev lahko nevronske mreže razdelimo v dve skupini in sicer v enostavne enoplastne in v zahtevnejše večplastne. Obe skupini bosta opisani v nadaljevanju.

2.1. Enoplastne nevronske mreže

Enoplastne nevronske mreže so najenostavnejši primeri nevronskih mrež. Poznanih je cela vrsta, npr. Hopfieldova, Hammingova, Carpenter/Grossbergova, ... Najbolj znana pa je ena izmed prvih takšnih mrež - perceptron /ROSE58/. Kljub enostavni strukturi in enostavnemu algoritmu za "učenje" predstavlja še vedno atraktivno orodje. Seveda zaradi svoje preprostosti ne more reševati zahtevnejših problemov.

Perceptron je definiran kot naprava, ki zmore glede na vhodne podatke odgovoriti samo "DA" ali "NE". Vhodne enote so lahko različni senzorji, ki lovijo informacije o zunanjem svetu. Registrirane informacije imajo vrednosti Y_{oi}, i=1, ..., N. Povezava med vhodnimi enotami in izhodno enoto poteka preko signalnih kanalov, ki jim spet pripadajo različne vrednosti (W_i, i=1, ..., N). Vrednost izhodne enote perceptrona je dobljena z vsoto produktov vrednosti vhodnih enot in vrednosti povezav. Izhodna vrednost perceptrona (Y1) zavzame vrednost 1 ("DA"), če je produkt $W_i Y_{oi}$ večji od 0 ali enak 0, oz. 0, če je produkt $W_i Y_{oi}$ manjši od 0 ("NE"). S perceptronom torej rešujemo le probleme, ki jih lahko formuliramo tako, da predstavlja rešitev problema enostaven odgovor ali pa je možno rešitev problema najti tudi iz zaporedja takšnih odgovorov.



Slika 2.3. Perceptron.

Adeli in Yeh v svojem članku /ADEL89/ prikazujeta zanimiv primer uporabe perceptrona pri projektiranju jeklenih konstrukcij oz. točneje pri projektiranju jeklenih nosilcev po predpisih. Problem sta poenostavila in po zgledu na običajne ekspertne sisteme formulirala tako, da predstavlja uporaba perceptrona enostavno in elegantno rešitev.

2.2. Večplastne nevronske mreže

Pomembnejše in tudi bolj uporabne so vsekakor večplastne nevronske mreže, ki so izpeljane iz enoplastnih. Z njimi je mogoče reševati zelo zahtevne probleme, med katere v splošnem pregledu spadajo različni problemi iz optimizacije, sprememba pisave v govor, razločevanje človeškega govora in spreminjanje nazaj v pisavo, prepoznavanje ročne pisave ipd. V tehnični stroki jih lahko uporabimo pri problemih avtomatičnega modeliranje fizikalnih pojavov /GRAB91/, v eksperimentalni analizi in še kje.

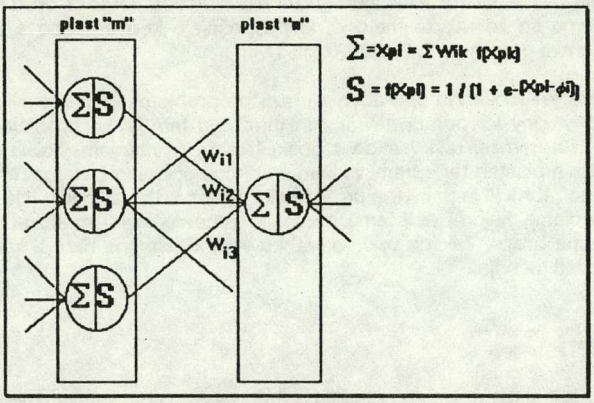
Pri večplastnih nevronskih mrežah bi se omejili na najbolj znane nevronske mreže - to so nevronske mreže s porazdeljevanjem napake nazaj (angl. "Backpropagation Networks"). Pri podanih vhodnih vrednostih in znanih vrednosti uteži je algoritem za izračun oz. določitev izhodnih vrednosti zelo enostaven. Sestoji iz treh korakov:

1) Vrednost enote "i" (X_{pi}) na nekem nivoju je dobljena kot produkt uteži W_{ik}, ki opisujejo vez med povezanimi enotami in izhodnih vrednosti enot na nižjem nivoju ($X_{pi} = \Sigma W_{ik} f(X_{pk})$, glej sliko 2.4.).

2) Izhodnih vrednosti enote, ki so vse enake, je toliko, kot je povezav med enoto in enotami na višjem nivoju. Običajno so to vrednosti, ki jih dobimo z uporabo različnih funkcij (linearne, trigonometrične, Gaussove). Argumenti teh funkcij so seveda vrednosti enot. V naših primerih smo uporabili funkcijo:

$$f(X_{pi}) = 1 / (1 + e^{-(X_{pi}-\phi_i)}) \qquad (1),$$

ki ima to dobro lastnost, da je vrednost njenega odvoda vedno pozitivna (ϕi predstavlja *bias* ali *šum* in predstavlja enega izmed pomebnih faktorjev, ki vplivajo na konvergenco pri "učenju" mreže).



Slika 2.4. Delovanje večplastne nevronske mreže.

3) Tako izračunane izhodne vrednosti enot so poslane preko povezav do enot na naslednjem, višjem nivoju, kjer kot produkt z vrednostmi uteži (glej korak 1) spet predstavljajo vhodne vrednosti enot.

Za izhodne enote (izhodna plast) velja:

$$f(X_{pi}) = X_{pi}. \qquad (2).$$

"Učenje" mreže se izvaja iteracijsko za vsak vzorec v dveh korakih: prvi korak predstavlja izračun izhodnih vrednosti vzorca pri trenutnih vrednostih uteži (angl. "feed forward") - točke 1-3, drugi korak pa predstavlja porazdeljevanje napake (razlika med izračunano in dejansko vrednostjo) med uteži na povezavah (angl. "back propagation"). To pomeni, da se uteži na povezavah v posameznih iteracijah spreminjajo toliko časa, da postane napaka pri izračunu vsakega posameznega testnega vzorca manjša od predpisane.

Za minimizacijo napake je uporabljena padajoča gradientna metoda (angl. "gradient descent method"). Napako pri "učenju" mreže za posamezen vzorec predstavlja izraz /VANL90/:

$$E_p = 1/2 \Sigma \delta_{pi}^2 \qquad (3),$$

kjer pomeni:

izhodna plast: $\longrightarrow \quad \delta_{pi} = f'(X_{pi})\,(t_{pi} - O_{pi})$,

vmesne (skrite) - ostale plasti: ----> $\delta_{pi} = f'(X_{pi}) \Sigma \delta_{pk} W_{ki}$ (4),

kjer je t_{pi} testna (željena) izhodna vrednost, O_{pi} pa trenutna izhodna vrednost. Index p označuje pripadnost vzorcu p. Tako znaša izraz za spremembo uteži v vsaki iteraciji:

$$\Delta_p W_{ij} = \eta \, \delta_{pi} \, X_{pj} \quad (5),$$

kjer faktor η predstavlja t.i. faktor učenja, X_{pj} pa vrednost enote "j" na višjem nivoju. δ_{pi} dobimo po enačbah (4). Končni izraz za nove vrednosti uteži v vsaki iteraciji pa je:

$$W_{ij}^{new} = W_{ij}^{old} + \eta \, \delta_{pi} \, X_{pj} + \alpha \, \Delta_p W_{ij}^{old} \quad (6).$$

V enačbi (6) predstavlja izraz $\Delta_p W_{ij}^{old}$ spremembo uteži v prejšnji iteraciji. Faktorje ϕ_i, η in α predpiše uporabnik sam na podlagi izkušenj. Vsi ti faktorji so vpeljani z namenom, da pospešijo konvergenco oz. hitrost "učenja". Po izkušnjah drugih raziskovalcev so odvisni od problemov, ki jih rešuje mreža. Običajno so to številke reda velikosti od 0.01 do 10.0. Za nekatere probleme so že razvite metode, ki pospešujejo konvergenco s prirejanjem teh faktorjev med samim procesom "učenja" /RAMI91/.

Opisani postopek je splošen in uporaben za različne probleme in predstavlja enega izmed dveh možnih pristopov k uporabi nevronskih mrež. Pri tem lahko problem, ki je rešljiv z uporabo nevronske mreže, reši vsakdo s poskušanjem (variranjem števila skritih plasti in enot v posameznih plasteh ter spreminjanjem vrednosti opisanih parametrov, ki vplivajo na konvergenco), potrebna je le primerna programska oprema. Pri drugem, ki je zahtevnejši, za posamezne probleme najprej poiščemo analogijo z nevronskimi mrežami in glede na to razvijemo ustrezne izraze. Takšna uporaba lahko vodi k bistveno hitrejši konvergenci t.j. k hitrejšemu procesu "učenja".

3. Primeri

Uporaba nevronskih mrež praviloma zahteva razvoj zmogljive programske opreme ali nabavo komercialnih paketov. V tem članku smo za ilustracijo uporabe nevronskih mrež izbrali dva enostavna primera (prvega s področja analize in drugega s področja dimenzioniranja konstrukcij), ki ju sicer v praksi ne bomo reševali na opisan način. Razvili smo enostavna prototipa programov po postopku, opisanem v razdelku 2.2. Programa imata fiksno število skritih plasti (1 in 2), mogoče je spreminjati le število enot v posameznih plasteh, ki je v splošnem odvisno od števila vhodnih in izhodnih parametrov.

3.1. Določitev položaja obtežbe pri znanih notranjih silah

Prostoležeč nosilec dolžine 1.0 m je obtežen s koncentrirano silo P=4.50 kN. Pri tej obtežbi so znane tudi vrednosti obremenitev (momentov) v enakomernih odsekih vzdolž nosilca. Iz podanih vrednosti za momente želimo ugotoviti položaj obtežbe, ki je povzročila takšne obremenitve.

Mreža, ki smo jo uporabili, ima 10 vhodnih enot, eno skrito plast z 10 enotami in eno izhodno enoto. Podatki za vhodne enote so vrednosti momentov v desetih točkah (na 1/9 razpona) vzdolž nosilca (Tabela 3.1). Testni vzorci (to so vzorci, ki smo jih uporabili za "učenje" mreže) so štirje. "Učenje" mreže na PC-ju (AT 386, 25 MHz, matematični koprocesor) je trajalo pri predpisani napaki $\Sigma E_p = 0.0001$ (enačba 3) le okrog 90 sekund. Napaka, ki je podana v zadnjem stolpcu tabele 3.1., predstavlja za razliko od napake iz enačbe (3) procent odstopanja od točne vrednosti za vsak posamezen vzorec.

V tabeli 3.1. so prikazani vsi vzorci, ki smo jih izračunali z mrežo. Prvi štirje vzorci so bili uporabljeni pri "učenju" mreže in so zato napake (odstopanja med točnimi - analitičnimi rešitvami in rešitvami dobljenimi z mrežo) v mejah predpisane natančnosti. Zadnji trije vzorci

(5, 6 in 7) niso bili uporabljeni pri "učenju". Izbrani so tako, da pade položaj obtežbe ravno na sredino intervala položaja obtežbe vzorcev, uporabljenih pri "učenju". Napake so zato nekoliko večje, vendar v mejah inženirske natančnosti.

Prikazan primer je zelo enostaven, saj položaj obtežbe sovpada z mestom maksimalnega momenta. Podoben problem, le z drugačnim fizikalnim pomenom, najdemo pri pojavih širjenja valovanja po kontinuumu. Upogibni momenti lahko predstavljajo odziv neke konstrukcije, registriran s senzorji. V takšnih primerih položaj izvora skoraj gotovo ne sovpada s konico odziva, saj je teh konic lahko celo več. Na osnovi več registriranih odzivov je mogoče nevronsko mrežo "naučiti" določanja položaja izvora, ki je povzročil takšen odziv /GRAB89/.

Tabela 3.1. Vrednosti vzorcev pri določitvi položaja obtežbe.

	Vhodne vrednosti										Izhodna vrednost		
Vzorec	0	1/9	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9	1	Točna vrednost	Izrač. vrednost	Napaka (%)
1	0.00	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.00	0.200	0.203	1.5
2	0.00	0.30	0.60	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00	0.400	0.395	1.3
3	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.600	0.603	0.5
4	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.35	0.00	0.800	0.798	0.3
5	0.00	0.35	0.70	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00	0.300	0.343	12.5
6	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.500	0.561	10.9
7	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	0.70	0.35	0.00	0.700	0.788	11.1

3.2. Določitev armature v nosilcu pri čistem upogibu

Določitev armature v nosilcu (pri kakršnikoli obtežbi) zahteva uporabo tabel, diagramov ali ustreznega računalniškega programa. V obravnavanem primeru smo poskušali nevronsko mrežo uporabiti za določitev armature pri predpisani marki betona in kvaliteti armature. Znane so seveda obremenitve in dimenzije prereza. Armaturo za testne vzorce smo določili pri izkoriščenih deformacijah betona (ε_b = 3.5‰) za primer istočasnega loma. Zaradi poenostavitve smo vzorce izračunali samo za primere MB 25 in kvaliteto jekla Č 240/360.

Tabela 3.2. Vrednosti vzorcev pri določitvi armature v nosilcu.

Vzorec	Mu/100 [kNm]	b/h [cm/cm]	b/h'	Točna vrednost Fa[cm^2/10]	Izračunana vrednost Fa[cm^2/10]	Napaka [%]
1	0.10	40/55	0.800	0.8697	0.8879	2.05
2	0.15	40/55	0.800	1.3223	1.2992	1.78
3	0.20	40/55	0.800	1.7887	1.7531	2.03
4	0.25	40/55	0.800	2.2730	2.2222	2.28

Vzorec	Mu/100 [kNm]	b/h [cm/cm]	b/h'	Točna vrednost Fa [cm^2/10]	Izračunana vrednost Fa [cm^2/10]	Napaka [%]
5	0.30	40/55	0.800	2.7775	2.6717	3.96
6	0.10	40/65	0.667	0.7187	0.7218	0.43
7	0.15	40/65	0.667	1.0884	1.1182	2.66
8	0.20	40/65	0.667	1.4645	1.5330	4.46
9	0.25	40/65	0.667	1.8486	1.9332	4.37
10	0.30	40/65	0.667	2.2418	2.2834	1.82
11	0.10	40/75	0.571	0.6125	0.5164	18.60
12	0.15	40/75	0.571	0.9255	0.8881	4.21
13	0.20	40/75	0.571	1.2431	1.2593	1.28
14	0.25	40/75	0.571	1.5646	1.5956	1.94
15	0.30	40/75	0.571	1.8905	1.8640	1.42
16	0.18	40/50	0.889	1.8014	1.6166	11.43
17	0.23	40/60	0.727	1.8644	1.9187	2.83
18	0.25	40/70	0.615	1.6943	1.7653	4.02
19	0.27	40/70	0.615	1.8358	1.8971	3.23
20	0.29	40/60	0.727	2.3885	2.4136	1.04

Uporabili smo nevronsko mrežo z dvema vhodnima enotama (vhodna podatka: upogibni moment/100 in razmerje širine proti statični višini prereza) in eno izhodno enoto (izhodni podatek - rezultat: prerez armature/10). Glede na teorem Kolmogorova /HECH90/ smo v skriti plasti izbrali 5 enot, ki, kot se je izkazalo pri "učenju", glede na doseženo napako ustrezajo našemu problemu. Izbrali smo 15 različnih vzorcev s prerezi 40/55, 40/65 in 40/75 in vrednostmi momentov od 100 do 300 kNm (s korakom po 50 kNm). Čas "učenja" mreže je bil (na istem računalniku kot v prvem primeru in pri izbranih parametrih $\alpha=\eta=\phi=0.1$) bistveno daljši kot v prvem primeru. Pri predpisani napaki $\Sigma E_p = 0.027$ je trajal kar 80 minut. V tabeli 3.2. so prikazani vzorci, ki smo jih uporabili pri "učenju" (vzorci 1, 2, ..., 15) in vzorci, na katerih smo testirali uporabnost mreže (vzorci 16, ... 20). Glede na napako lahko sklepamo, da tako "naučena" mreža daje solidne rezultate za preliminarno oceno potrebne armature v nosilcu.

Pomembno je dejstvo, da lahko tako "naučeno" mrežo enostavno shranimo in jo kasneje spet uporabimo. Shraniti je potrebno osnovne podatke o mreži t.j. podatke o številu plasti in številu enot v teh plasteh ter podatke o povezavah in njihovih vrednostih (utežeh). Če želimo mrežo kasneje še dodatno "učiti" na novih rešitvah problema, je potrebno shraniti tudi vse vzorce, na katerih se je mreža predhodno "učila". V procesu "učenja" se namreč uteži spreminjajo glede na vse podane testne vzorce in bi se zato izgubile informacije o vseh prejšnjih rešitvah.

4. Zaključek

V prispevku smo na kratko opisali nevronske mreže in njihovo uporabnost prikazali na dveh gradbeniških primerih. Primera nista tipična predstavnika primerov, kjer bi nevronske mreže lahko uporabili v praksi. Izbrana sta zato, ker sta zaradi svoje enostavnosti primerna za ilustracijo. Uporabo v konkretnih primerih pričakujemo predvsem v posameznih delih na znanje oprtih sistemov /PERU91/, kjer je rešitev v obliki algoritma ali celo v obliki pravil z nekaterimi drugimi metodami umetne inteligence težko formulirati. Uporaba teh mrež nudi tudi učinkovito orodje pri opisovanju različnih fizikalnih pojavov, ko bi reševanje problema s klasičnimi prijemi zahtevalo najprej zahtevno matematično izpeljavo in kasneje zahtevne numerične postopke.

Zahvala

Prispevek je omogočilo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije, ki finansira delo avtorja - mladega raziskovalca. Delo je pod vodstvom prof. dr. Petra Fajfarja vključeno v raziskovalni projekt "Računalnik v gradbenem inženirstvu in Potresno inženirstvo" na FAGG, oddelek za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR.

Literatura

/ADEL89/ Adeli, H. & Yeh, C., Perceptron learning in engineering design, Microcomputers in Civil Engineering, 4, pp. 247-256, 1989.

/HECH90/ Hecht-Nielsen, R., Neurocomputing, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1990.

/GRAB89/ Grabec, I. & Sachse, W., Application of an intelligent signal processing system to acoustic emission analysis, J. Acoust. Soc. Am., 85, pp. 1226-1235, 1989.

/GRAB91/ Grabec, I. & Sachse, W., Automatic modeling of peysical phenomena: Application to ultrasonic data, Journal Appl. Phys., 69, pp. 6233-6244.

/MCCU43/ McCulloh, W., S. & Pitts, W., A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, Bulletin of Math. Bio., 5, pp. 115-133, 1943.

/MINS54/ Minsky, M., Neural nets and the brain - Model problem, Doctoral Dissertation, Princeton University, Princeton NJ, 1954.

/PERU91/ Peruš, I. Na znanje oprt sistem za oceno zasnove potresno varnih armirano-betonskih konstrukcij visokogradnje, Zbornik 13. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, str. 95-100, 1991.

/RAMI91/ Ramirez, M., R. & Arghya, D., A faster learning algorithm for back- propagation neural networks in NDE applications, Artificial intelligence and structural engineering, Civil Comp - Press, Edinburgh, pp. 275-283, 1991.

/ROSE58/ Rosenblatt, F., The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psychol. Rev., 65, pp. 386-408, 1958.

/HOPF82/ Hopfield, J., J., Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, Proc. Natl. Acad. Sci., 79, pp. 2554-2558, 1982.

/HOPF84/ Hopfield, J., J., Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons, Proc. Natl. Acad. Sci., 81, pp. 3088-3092, 1984.

/VANL90/ Vanluchene, R., D. & Sun, R., Neural networks in structural engineering, Microcomputers in Civil Engineering, 5, pp. 207-215, 1990.

Matjaž Šajn, dipl. inž. gr.,
Tomaž Dimnik, dipl. inž. gr.
CGS, Računalniška grafika in CADD sistemi, d.o.o.
Kardeljeva ploščad 20, 61000 Ljubljana

NAPREDNE TEHNIKE V INTERAKTIVNI RAČUNALNIŠKI GRAFIKI
s primeri rešitev iz področja nizkogradnje

Povzetek :

Računalniška grafika si kljub splošni stagnaciji uspešno utira pot v slovenske projektivne biroje. Poleg znanih možnosti interaktivnih grafičnih urejevalnikov, ki največkrat služijo le kot nadomestilo ročnemu risanju, prikazujemo nekatere napredne tehnike. Digitalni modeli terena postajajo osnova za tridimenzionalno modeliranje v geodeziji, gradbeništvu in arhitekturi. Potrebujemo zajem podatkov iz obstoječih kart, govorimo o rasterskih in vektorskih zapisih podatkov. Projektiranje je skupinsko delo in za nemoten pretok podatkov med projektanti so lokalne mreže prava nuja. Relacijske baze podatkov lahko uspešno integrirajo projektantski team. Končno bomo pogledali tudi v svet fotorealizma in računalniške animacije.

ADVANCED TECNIQUES IN INTERACTIVE COMPUTER GRAPHICS
with examples from civil engineering practice

Summary :

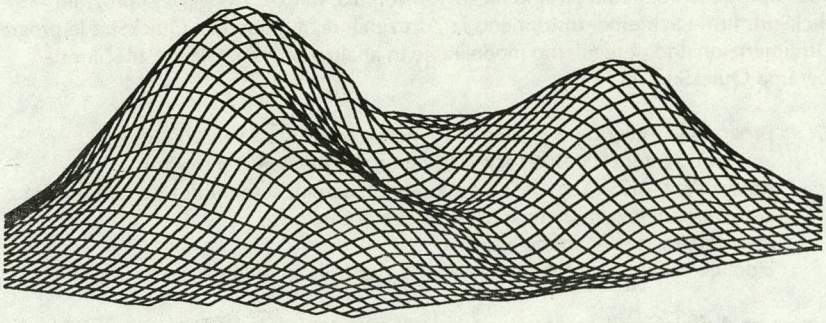
Computer graphics is becoming an indespensable tool for civil engineers and architects. Interactive computer graphics programs, usually used as 'electronic pencils', can provide us better effects with implementation of some advanced techniques. Digital terrain modelling is widely used in surveying, civil engineering and architecture. We must be able to scan old drawings and bring them into computers. We are talking about vector and raster data. Engineering is a team effort and local area networks are vital for establishing the data flow between the members of the team. Relational data bases are playing an important role in integration of engineering data. And finally, we will have a look into the world of photorealism and computer animation techniques.

1. UVOD

Po štirih letih intenzivnega dela z več kot dvesto uporabniki, gradbeniki in arhitekti smo prepričani, da računalniška grafika daje novo kreativnost ustaljenim in zastarelim metodam projektiranja. Uvajanje modernih računalniških orodij smo uspešno opravili predvsem na področju nizkih gradenj, kar ilustrirajo obravnavani primeri. Prvi projekti, ki so jih izdelali naši uporabniki z računalniki, so že zdavnaj za nami. Doseženi uspehi so sad intenzivnega razvoja programske opreme za projektiranje cest, hidrotehničnih objektov in kanalizacije. Danes lahko trdimo, da se programi CESTE, HIDRO in KANAL uspešno uveljavljajo v evropskem in svetovnem prostoru. V omenjeno programsko opremo je bilo vloženo veliko dela in študija naprednih tehnik v računalniški grafiki, od katerih v tem članku predstavljamo le nekaj najpomembnejših.

2. DIGITALNI MODELI TERENA

Zemeljska površina je s svojo raznolikostjo velik izziv za gradbenika in arhitekta. Teren predstavlja enega od osnovnih vhodnih podatkov pri zasnovi objektov. Računalniškega projektiranja gradbenih objektov ni mogoče izvesti v celoti brez ustreznega digitalnega modela terena. Razvoj strojne in programske opreme je omogočil, da so predstavitve terena v računalniku postale realnost. Potreba po učinkovitem prikazu terena nas je vodila skozi raziskovanje razpoložljivih programskih orodij in tehnik.



slika 1 : 3D digitalni model terena

Zajem terenskih podatkov opravljamo na različne načine :

- Čitanje točk z geodetskimi instrumenti na terenu :
  meritve točk na terenu posredujejo podatke o poligonskih in detajlnih točkah v polarnem zapisu. Rezultat takih meritev so lahko zapisniki, če pa imamo na merilni instrument priključen ustrezen registrator, lahko podatke prenašamo preko kabla iz registratorja na delovno postajo, kjer je instalirana programska oprema za izračun digitalnega modela terena.

- Optično čitanje obstoječih kart in podlog :
  obstoječo karto ali podlogo prečitamo z optičnim čitalnikom (skenerjem). Tako dobljeno rastersko informacijo lahko uporabimo za vektorizacijo ali za digitalizacijo točk v 3D prostoru.

- Digitalizacija obstoječih kart preko digitalne table :
  postopek je podoben obdelavi optično čitanih podlog, vendar je že nekoliko zastarel.

- Čitanje podatkov, ki nam jih posreduje Geodetski zavod Slovenije :
  s pomočjo digitalnega kartirnega sistema lahko dobimo podatke na disketi za območja, za katera obstajajo fotogrametrični posnetki.

Rezultat vseh navedenih metod je množica razsutih točk v prostoru, zapisanih v obliki X,Y,Z, ki predstavlja vhodni podatek za izdelavo digitalnega modela terena. Prvi program za izdelavo digitalnega modela terena, ki smo ga uspešno uporabljali pri projektiranju cest, je bil program SURFER (Golden Software, Inc.). Pri zahtevnejših nalogah pa smo kmalu naleteli na težave, saj ima program SURFER vgrajene določene omejitve :

- program je težko integrirati v grafični urejevalnik (npr. AutoCAD),
- je počasen, ker teče le v 286 načinu,
- je omejen na približno 16.000 vhodnih točk,
- zmore izdelati le štirikotno mrežo terena, kar je za razgiban teren (terase, zidovi, brežine, jarki, grebeni) neustrezno.

Danes uporabljamo, hkrati pa smo njegovi zastopniki, mnogo zmogljivejši program QuickSurf, firme Schreiber Instruments iz Združenih držav Amerike. QuickSurf je program za tridimenzionalno neregularno modeliranje in analizo površin. Glavne značilnosti programa QuickSurf so :

- program je integriran v grafični urejevalnik AutoCAD 11 in 10/386,
- je izredno hiter (100.000 točk v 10 minutah), deluje v 386 načinu,
- napisan je v ADS (AutoCAD Development System) sistemu in zato komunicira z grafičnim urejevalnikom naravnost preko pomnilnika,
- ni omejen v številu vhodnih točk,
- izdeluje štirikotne in trikotne mreže po različnih metodah.

Program za digitalni model terena izračuna trikotno ali štirikotno mrežo terena, ki predstavlja osnovo za izračun plastnic in profiliranje. Nato je mogoče izvajati operacije, kot so volumski izračuni, operacije nad več digitalnimi modeli, analize modelov terena.

Program QuickSurf uporabljamo za določevanje digitalnih modelov terena v cestogradnji, hidrotehniki in arhitekturi. Rezultati so izračunane plastnice, profili in 3D mreže terena za izdelavo tridimenzionalnih modelov objektov. Program QuickSurf je popolnoma integriran v program CESTE.

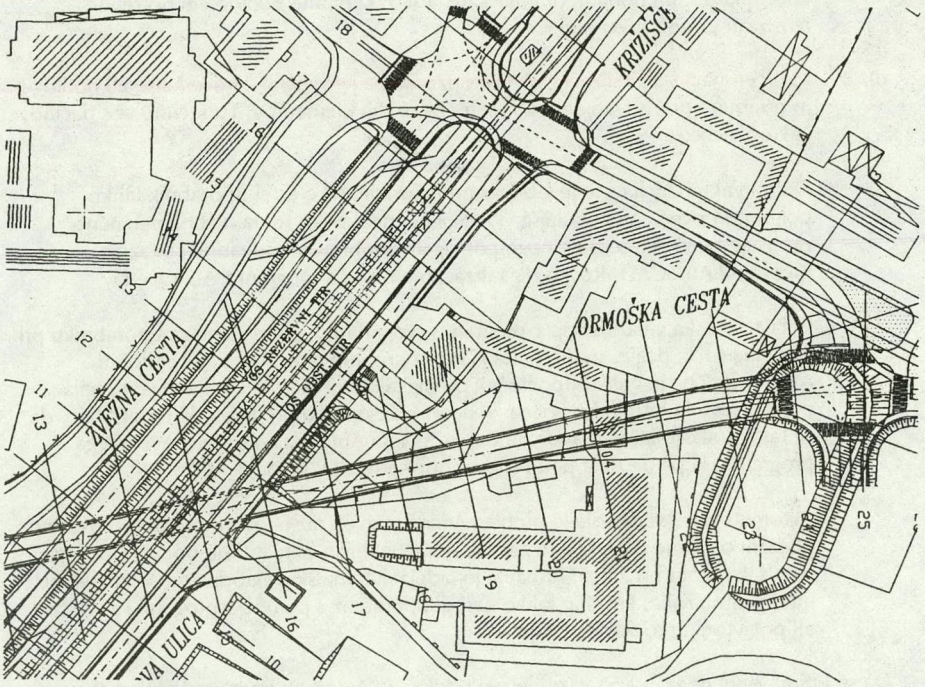
3. RASTER - VEKTOR

Kot eno najpomembnejših tehnik vnosa podatkov za izdelavo digitalnega modela terena in obdelave situacij nasploh smo v zgornjem poglavju omenili tehniko optičnega čitanja podlog. Dilema raster ali vektor je pri optičnem čitanju podlog vedno prisotna. V tem poglavju skušamo razjasniti, kaj je to rasterski in kaj vektorski zapis, in opisati postopke, ki se uporabljajo pri tehnikah skeniranja.

Optično čitanje starih načrtov, podlog in kart uporabljamo v glavnem za :

- shranjevanje in arhiviranje starih načrtov v kompaktnejšo, računalniško berljivo obliko. Na ta način lahko papirnati arhiv spravimo na nekaj optičnih diskov in ga imamo pod računalniško kontrolo;

- obdelavo čitanih podlog. Obdelavo lahko izvajamo z bolj ali manj avtomatiziranimi programi za vektorizacijo ali digitalizacijo in izdelek izrišemo na izhodno napravo kot čisto rastersko risbo, mešano rastersko-vektorsko ali čisto vektorsko risbo.



slika 2 : vektorizirana situacija

Optični čitalnik vedno izdela rasterski zapis tega, kar je prečital, grafični urejevalniki pa operirajo z vektorji. Torej se pri obdelavi optično čitanih podlog srečujemo z dvema svetovoma v računalniški grafiki, ki sta bila do nedavna strogo ločena in se ju ni dalo med seboj mešati. Danes je to mogoče. Oglejmo si naslednje značilne primere :

a) Za potrebe merjenja površin parcel na obstoječi karti bomo ubrali naslednji postopek : optično prečitamo podlogo, jo spravimo v AutoCAD s pomočjo programa CAD Overlay in zmerimo površine z ukazom AREA. V tem primeru niti ni potrebno ponovno izrisovati skeniranega načrta na papir. Na podoben način merimo zbirne površine za potrebe dimenzioniranja kanalizacijskih cevi.

b) Na načrtu tlorisa zgradbe, ki je bil še pred nedavnim izdelan 'peš', brez računalnika, je prišlo do manjše spremembe. Podlogo prečitamo, jo dobimo v AutoCAD-u na zaslon s pomočjo programa CAD Overlay, uporabimo rastersko operacijo brisanja (ukaz programa CAD Overlay), narišemo in dopišemo spremenjeni del načrta in vse skupaj (raster + vektorje) izrišemo na rastersko izhodno napravo.

c) Karto, na kateri so narisane plastnice in višinske točke, želimo digitalizirati in dobljene točke uporabiti za izdelavo digitalnega modela terena. Ko dobimo podlogo na zaslon, uporabimo ustrezen ukaz znotraj AutoCAD-a za digitalizacijo

plastnic, ki ob pokazovanju točk na plastnicah registrira X in Y koordinato, koordinato Z pa poda uporabnik sam. Tako skenirane podloge ni potrebno izrisovati ponovno na papir.

d) Klasičen način digitalizacije ali vektorizacije pa je optično čitanje karte ali podloge in ponovno prerisovanje preko vseh obstoječih elementov. Tu ločimo več načinov vektorizacije:

- Ročna vektorizacija : to je v bistvu prerisovanje, tako da si uporabnik lahko poljubno poveča ali pomanjša vidno polje in tako kar se da najbolj natančno prerisuje načrt. Tu se da mnogo pomagati z dobrim poznavanjem ukazov programa AutoCAD. Ročno digitalizacijo omogoča program CAD Overlay.

- Polavtomatska vektorizacija : program s svojimi funkcijami pomaga uporabniku pri lovljenju točk, daljic, središčni točki kroga , risanju pravokotnic in podobno. Algoritem 'črv' je velik pripomoček pri digitalizaciji plastnic. Taka digitalizacija poteka seveda hitreje kot ročna, vendar so zelo redki programi, ki omogočajo, da se take funkcije izvajajo tudi znotraj programa AutoCAD. Primer slovenskega programa, ki pa ne dela pod programom AutoCAD, je MapCAD.

- Avtomatska vektorizacija je problematična iz dveh razlogov : programi so izredno počasni oziroma potrebujejo zelo hitre računalnike in hkrati ne opravijo svojega dela tako, kot bi si želeli. Risba, ki jo izdela avtomatski vektorizator, še zdaleč ni inteligentna risba, kakršno lahko naredi uporabnik s pomočjo programa za ročno ali polavtomatsko vektorizacijo.

Da se lotimo optičnega čitanja in obdelave podlog, je potrebno imeti naslednje naprave in programsko opremo :

- Optični čitalnik ali skener : to je naprava, ki ima vgrajeno eno ali več kamer, povezanih z računalnikom. Skener, primeren za uporabo v računalniškem projektiranju, zmore prečitati podloge poljubno velikega formata v resoluciji od 200 do 600 pik na inčo. S programsko opremo, ki se običajno dobavi s skenerjem, lahko optimalno nastavimo kvaliteto skenirane risbe. Danes lahko skeniranje naročimo kot uslugo, podobno kot fotokopiranje.

- Program za pregledovanje skeniranih podlog in vektoriziranje. Primer dveh programov, ki delujeta kot dodatek k AutoCAD-u, sta CAD Overlay ESP in CAD Raster. Obstajajo tudi drugi, vendar le redki delujejo znotraj programa AutoCAD, kar je pomembno za univerzalnost programa. Dober program mora imeti nastavitve za korekcijo napak, ki so se pojavile ali v teku staranja prečitanega papirja ali ob optičnem čitanju.

- Rasterska izhodna naprava. Najbolj preproste rasterske naprave so matrični ali laserski tiskalniki. Žal so velikosti izhodnih formatov premajhne za resnejše inženirske risbe. Za večje formate načrtov (A1 ali A0) potrebujemo rasterski risalnik z elektrostatično, termalno ali ink-jet tehnologijo nanosa barve. Takih naprav je v Sloveniji zaenkrat le nekaj. Rastersko izhodno napravo potrebujemo le v primeru, ko želimo rasterski zapis spraviti na papir. Vektorizirane podloge se izrišejo s peresnim risalnikom.

Pretvorba starih načrtov v računalniku berljivo obliko postaja zelo aktualno področje predvsem za potrebe kartografije, geodezije, gradbeništva in geografskih informacijskih sistemov. Možnost izkoriščanja tehnologije prenosa slik v rasterski obliki se bo še bistveno

povečala, ko bo na voljo ustrezna programska in strojna oprema za obdelavo orto-foto in barvnih satelitskih posnetkov.

4. LOKALNE RAČUNALNIŠKE MREŽE

Pretok podatkov po lokalni računalniški mreži, v katero so povezane inženirske delovne postaje projektantov, je v marsičem podoben procesu, ki se dogaja znotraj projektnega teama pri obdelavi kake naloge. Projektanti veliko komunicirajo, si izmenjujejo mnenja, podatke, načrte in sporočila.

Računalniško projektiranje z računalniki, ki med seboj ne bi mogli komunicirati, bi bilo podobno nerodni situaciji, ko bi vsak član projektnega teama v svoji sobi imel telefon, pa ne bi mogel telefonirati svojemu sodelavcu v sosednji sobi.

Lokalna računalniška mreža omogoča :

- management projekta (Project and Drawing Management) :
  uporabnik takoj po priključitvi na mrežo izbere, na katerem projektu bo delal. V okviru projekta se risbe in podatki samodejno poimenujejo, uporabnik jih išče in dosega po različnih ključih. Risb ne pregledujemo več po imenih, saj imamo možnost hitrega pregleda vsebine slik ali datotek. Istočasno je mogoče uspešno nadzorovati izdelavo projekta;

- razbremenitev diskovnih kapacitet delovnih postaj na mreži :
  skupni programi se instalirajo na strežnik, prav tako so na njem vse datoteke, ki so deli projektov in katere uporablja več uporabnikov hkrati;

- poenostavitev vzdrževanja skupne programske opreme :
  namesto instaliranja novih verzij programov na vsako delovno postajo posebej, je potrebno vzdrževati le verzijo na strežniku;

- enostavnejše in zanesljivejše hranjenje podatkov :
  podatki na strežniku se redno shranjujejo na trak ali optični disk. Trakovi ali optični diski se shranjujejo zunaj stavbe, kjer je instalirana mreža. Za varnost podatkov skrbi in je odgovorna le ena oseba, uporabniki so deloma razbremenjeni skrbi za varnost lastnih podatkov;

- zaščito podatkov :
  na lokalni mreži lahko natančno določimo, kdo in kdaj lahko poseže po določenih področjih in datotekah. Lokalna mreža ima obsežne možnosti zaščite podatkov, kar je na dobrem mrežnem operacijskem sistemu (npr. Novell Netware) rešeno enako dobro kot na sistemih z UNIX operacijskim sistemom;

- delitev dragih perifernih naprav (risalniki, tiskalniki, enote za arhiviranje):
  na lokalni mreži imamo priključene skupne periferne naprave. enega ali več mrežnih tiskalnikov, risalnik s programom za njegovo upravljanje (spooler), enoto za shranjevanje podatkov. Odpade množica tiskalnikov (kot je to marsikje običaj) in enot za hranjenje podatkov. Zmogljive diskovne kapacitete na strežniku, osrednjem računalniku v mreži, lahko s pridom izkoristimo za zapisovanje ekstremno velikih datotek, ki nastajajo med izdelavo digitalnega modela terena;

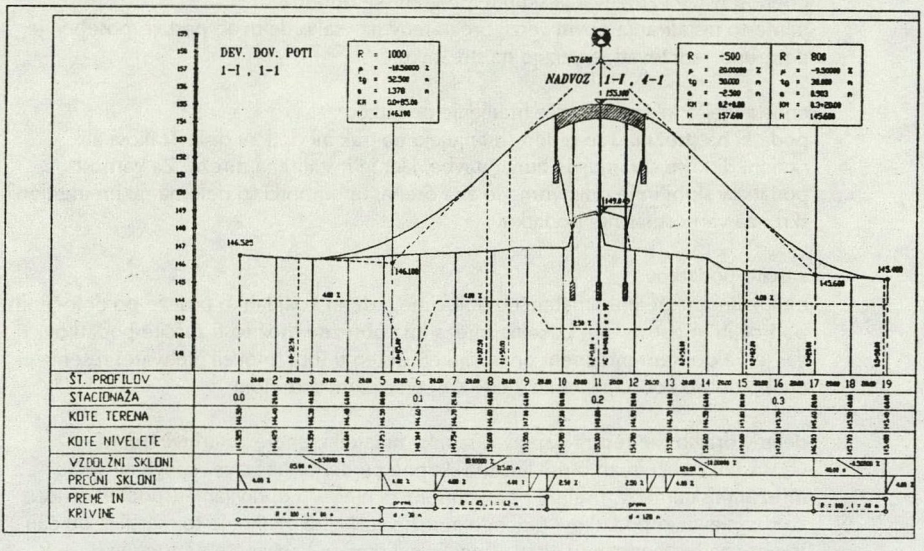
boljše izkoriščanje danega števila delovnih postaj, saj lahko vsak uporabnik doseže podatke, ki jih potrebuje, iz katerekoli delovne postaje in tako ni več strogo vezan na svojo lokalno delovno postajo.

Programski sistem za projektiranje cest smo uspešno prilagodili na mrežni računalniški sistem. Release 11 je prva verzija programa AutoCAD, ki ima vgrajeno funkcijo 'file locking' za varno delo na mreži. 'File locking' je osnovna mrežna funkcija, ki onemogoča, da bi dva uporabnika obdelovala isti podatek istočasno, saj se v takem primeru lahko zgodi, da pride do izgube dela podatkov.

Pomembna mrežna funkcija, ki jo vsebuje AutoCAD 11, je klic referenčnih risb . Referenčna risba je lahko katerakoli risba na mreži ali lokalnem disku, ki jo pokličemo z ukazom XREF in služi kot podloga ali referenca. Na primer, uporabnik na mreži, ki izdeluje načrt cestne osi, potrebuje situacijski načrt, ki ga izdeluje njegov sodelavec. Situacijski načrt bo uporabnik poklical kot referenco in si z njo pomagal pri konstruiranju cestne osi.

5. BAZE PODATKOV V INTERAKTIVNIH GRAFIČNIH UREJEVALNIKIH

Grafični urejevalniki operirajo z grafičnimi entitetami in jih shranjujejo v svoji grafični bazi. Tako ima naprimer program AutoCAD zapisane elemente risbe v svoji bazi, do katere lahko posegamo s programskimi jeziki AutoLISP in ADS. Dostop do podatkov v taki grafični bazi je precej neroden in počasen. Entitetam risbe le s težavo dopisujemo atribute. Problem rešimo s povezavo entitet v risbi grafičnega urejevalnika z zunanjo bazo, ki jo vzdržuje za to specializiran program (bolj ali manj integriran v grafični urejevalnik).



slika 3 : vzdolžni profil

V gradbeništvu in arhitekturi so že dalj časa prisotne pobude za standardizacijo elementov ne le v okviru neke tehnologije, ampak v državnem merilu. Rezultati standardizacije bi lahko bili katalogi materialov in elementov, ki bi bili na razpolago na našem tržišču. Z računalniškimi orodji se takega problema lahko lotimo z integracijo grafičnih entitet in baz podatkov. Grafični urejevalnik, univerzalno okno v inženirsko risbo, se da učinkovito povezati z množico tekstovnih podatkov (cene, materiali, dimenzije, tolerance, proizvajalci). To pomeni, da lahko projektiranje bolje integriramo s kalkulacijami in analizami, ki spadajo v domeno inženiringa.

Problema povezave grafičnih entitet z atributi v grafičnem urejevalniku in učinkovite manipulacije z vzporednimi podatki smo se v CGS lotili z integracijo orodij, kot so WATCOM C/386 Compiler in relacijske podatkovne baze Paradox Engine, z možnostjo SQL in mrežne komunikacije. Z vgrajevanjem ustreznih funkcij v programe za projektiranje cest in z delovanjem baze podatkov v lokalni mreži smo dosegli veliko kompaktnost podatkov, enostavno manipulacijo, varnost in zanesljivost pretoka podatkov med projektanti.

6. FOTOREALIZEM IN ANIMACIJA

Izdelava simulacije vožnje po bodoči trasi ceste v dolini Trenta je primer naloge, v kateri smo uporabili tehnologijo, opisano v zgornjih poglavjih, in spoznanja iz področja fotorealizma in animacije.

Zasnova cestne trase v zgornjem delu doline reke Soče, natančneje rešitev pri Furlanovem mostu, je bila resna in zahtevna naloga za vse sodelavce pri izdelavi video animacije, saj obravnavano območje leži v Triglavskem narodnem parku. Kljub težko premostljivim tehničnim in finančnim problemom smo prvi v Sloveniji uspeli izdelati fotorealistično simulacijo in primerjavo vožnje po štirih variantah bodoče trase ceste v dolini Trenta. Naročnik animacije, Republiška uprava za ceste, je nalogo zaupala ekipi, ki so jo sestavljali projektanti iz SCT Projekt Nizke zgradbe, oddelek za ceste, strokovni sodelavci za računalniško grafiko iz podjetja CGS, team sodelavcev za rendering in animacijo iz podjetja ARXEL Ljubljana in ekipa video studia Kregar. Naloga ne bi bila izvedljiva brez velike delovne vneme in požrtvovalnosti celotne ekipe.

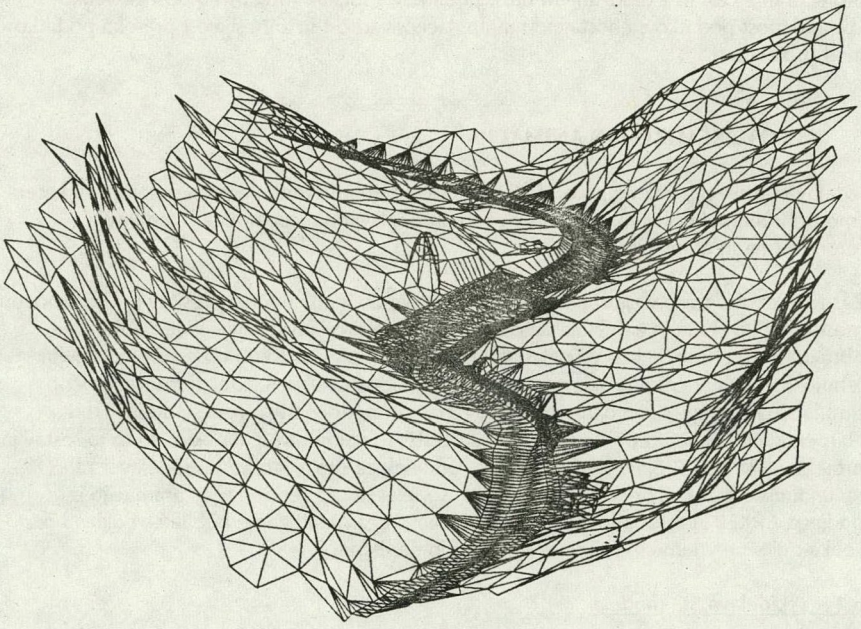
6.1 Izdelava 3D modela

Z vnosom geometrije terena doline Trenta smo pričeli junija 1991. Delo je potekalo na PC grafični delovni postaji v konfiguraciji 386/25, 12 MB RAM, koprocesor, 110 MB disk, Nth Graphics grafični kontroler in Hitachi Accuvue 21" zaslon.

Težave so nastopile že pri zbiranju situacijskih kart, saj so nam bile za obravnavano območje doline reke Soče dostopne le situacijske karte v merilu 1:5000, a že za idejni projekt uporabljamo karte v merilu 1:1000. Kljub nekaj skicam obstoječih in zasnovanih objektov je bilo podatkov premalo, zato smo na mestu samem posneli še nekaj fotografij zanimivih detajlov. Obstoječe topografske karte smo najprej optično prečitali s scannerjem Houston Instrument DMPL 62 in optično glavo SCAN-CAD.

Dobljena rasterska datoteka tipa RLC je bila ranga velikosti 4 MB. S pomočjo programa CAD-Overlay smo nato rastersko datoteko včitavali v program AutoCAD kot podlogo, na kateri smo izvajali digitalizacijo (registracijo točk). S pomočjo programa CESTE smo nato v nekaj dneh marljivega dela posneli okoli 100.000 terenskih točk.

100.000 točk je bilo odločno preveč za tedaj rabljeni program SURFER za digitalni model terena, s katerim smo do tedaj uspeli prečitati največ 16.000 točk in ki je znal izdelati le štirikotno mrežo terena. Ker smo se zavedali, da moramo za kolikor toliko dobro predstavitev reliefa obdelati vseh 100.000 točk in ker smo zaradi zahtevnosti terena nujno potrebovali trikotno mrežo terena, smo kasneje uporabili program QuickSurf. Trikotni model terena je za razgiban relief, kakršen je v dolini Trenta, edini uporaben za prikaz balvanov, skal, jarkov, grebenov, strmih brežin ceste in Soče.



slika 4 : perspektiva Trenta

Pri obdelavi 3D modela je nato sledila digitalizacija robov obstoječe ceste in reke Soče. Dobljene 3D poligonske črte so služile za generacijo dodatnih točk v prostoru, brez katerih bi bile brežine, ukopi in nasipi nepopolni. Zopet smo uporabili program QuickSurf, da smo iz poligonov dobili ploskve obstoječe ceste in reke Soče.

Na osnovi tistih nekaj bornih skic in fotografij objektov smo se lotili izdelave modelov treh mostov, ki ležijo na obravnavanem delu trase.

Velik problem 3D modela so vhodni podatki. Prenos iz podlog, načrtov, izdelanih s 'peš' metodami, je dolgotrajen in utrudljiv postopek. Težimo za tem, da bi program CESTE povezali z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS). To bi pomenilo, da bi lahko podatke,

ki jih vsebuje GIS (teren, objekti, vode, ...), enostavno črpali v program CESTE, in obratno : ko je cesta že sprojektirana in izvedena, bi jo lahko shranili v GIS sistem.

Preverjanje in barvanje 3D modela smo opravili v programu HYDRA. Z njim je mogoče hitro začrtati približno trajektorijo gibanja, si ogledati perspektivne poglede in opraviti enostavno ploskovno barvanje. Za sprotne prikaze smo naredili mnogo črnobelih izrisov na Postscript laserskem tiskalniku in serijo fotografskih posnetkov iz zaslona.

3D model, izdelan v programu AutoCAD, je slojevit model, izrisan na risalnih ravninah. Risalne ravnine omogočajo, da lahko na zaslonu vklapljamo in izklapljamo poljubno varianto rešitve ceste in tako kar najhitreje ocenimo prednosti in slabosti ene ali druge variante.

Razne dodelave, vnosi podpornih in opornih zidov, ograj, bankin, cestnih kamnov, poti in tako imenovano 'šivanje terena' so s prekinitvami trajali kake tri mesece. V tem času je bilo še mnogo pripomb glede realističnega izgleda modela. Uvideli smo, da bomo pričakovan efekt dosegli le s preselitvijo 3D modela na računalnike Silicon Graphics.

6.2 Rendering in animacija

Rendering in animacijo smo izvajali na računalnikih Silicon Graphics (Power Series 4D in Personal Iris), last mešanega podjetja ARXEL iz Ljubljane. Skupna moč povezanih treh računalnikov je okoli 150 MIPS (million instructions per second); našimi najhitrejši PC 486 računalniki dosegajo borih 20 MIPS moči. Posebni grafični akceleratorji še dodatno pospešijo perspektivne izračune in račun porazdelitev barv in svetlobe. Diskovne kapacitete na omenjenem računalniku znašajo okoli 1 GB na trdih diskih, možno pa je shranjevanje podatkov tudi na optične diske, prav tako kapacitete okoli 1 GB.

Programska oprema, ki smo jo uporabili za rendering in animacijo, se imenuje TDI Explore (Thompson Digital Images, Francija). Vrednost omenjene strojne in programske opreme znaša okoli 500.000 ameriških dolarjev.

Za prenos 3D modela terena iz PC računalnikov na Silicon Graphics smo uporabili AutoCAD datoteke tipa DXF, pri čemer je bilo potrebno različne variante 3D modela (različne variante cestne trase) spraviti v ločene DXF datoteke. DXF datoteke, velikosti cca 5 MB, smo po kompresiranju prenesli na računalniško mrežo, v kateri so povezani tudi Silicon Graphics računalniki in jih tam po dekompresiranju preko DXF prevajalnika včitali v TDI Explore. Prvi prenosi 3D modela niso bili uspešni, saj smo ugotovili, da so orientacije normal trikotnih in štirikotnih ploskvic 3D modela bistvene za korektno barvanje modela, na kar pa prej nismo pazili. Zato smo razvili programe za avtomatsko preverjanje in obračanje usmerjenosti normal ploskvic in uspešno prestali preizkušnjo.

Rendering je izraz za računalniško barvanje 3D modela. Ločimo različne zahtevnostne stopnje barvanja (ploskovno, gladko Phongovo in Gaurorjevo), senčenja (nasebne in metane sence - Ray tracing in Radiosity) in določanja materialov (teksture). Z dano procesorsko močjo smo v doglednem času lahko prišli do rezultata z metodo gladkega senčenja brez metanih senc in z dodanimi teksturami. Teksture predpisujemo različnim materialom (travnik, skala, melišče, cesta, oporni zid, voda).

Dobra animacija pomeni natančno določen scenarij video posnetka. Parametri, ki jih pri tem nastavljamo, so : začetni pogled, trajektorija gibanja, hitrost gibanja in pospeški,

usmerjenost kamere in zorni kot gledanja. Za verno predstavitev vožnje po cesti je potrebno zelo natančno nastavljanje koordinat trajektorije. V posnetku smo simulirali tudi prehitevanje avtobusa.

Kvaliteten video posnetek je sestavljen iz vsaj 30 sličic na sekundo. Za 3D model, velik približno 3 MB,je potreben čas za izračun ene sličice na TV resoluciji nekaj minut. Pri vsej procesorski moči, ki nam je bila na razpolago, smo si privoščili izdelati 40 sekundno animacijo, za kar je Silicon Graphics Power Series računalnik porabil okoli 5 dni.

Posamezne sličice, ki so sestavljale video animacijo, smo shranjevali na disku, zapisane v rasterskih datotekah. Snemanje na trak je potekalo najprej na profesionalnem BetaCam snemalnem sistemu, ki je bil povezan preko 'image grabber-ja' z računalnikom. Tako posnete sekvence smo nato dodatno obdelali in zmontirali v video studiu, dodali napise pred animacijo in za njo in jih opremili z zvočnim ozadjem. Sledilo je še presnemavanje na Super-VHS ali VHS video kasete in animacija je bila pripravljena za distribucijo.

7. ZAKLJUČEK

Pričujoči članek je kratek povzetek izsledkov in nalog, s katerimi se ta trenutek v CGS intenzivno ukvarjamo. Sicer pa se naša dejavnost deli predvsem na naslednja področja :

- CADD Management za gradbeništvo in arhitekturo,
- računalniško izobraževanje za gradbenike in arhitekte,
- razvoj in prodaja programske opreme za področje nizkogradnje,
- zastopanje tujih firm (Nth Graphics, Austin Computers, Schreiber Instruments).

8. LITERATURA :

1. M. Šajn, T. Dimnik : CADD Management ali postavitev in vzdrževanje CADD sistemov, zbornik posvetovanja UPORABA RAČUNALNIKA V GRADBENIŠTVU, Ljubljana, april 1991

2. M. Šajn, T. Dimnik : Interaktivna računalniška grafika v gradbeniškem projektiranju, zbornik 5. seminarja RAČUNALNIK V GRADBENEM INŽENIRSTVU, Ljubljana, april 1990

3. M. Šajn, T. Dimnik : Uvajanje računalniško podprtih načinov dela na SCT TOZD Projekt, zbornik posvetovanja UPORABA RAČUNALNIKA V GRADBENIŠTVU, Ljubljana, april 1989

4. M. Šajn : Računalniška simulacija vožnje po bodoči trasi ceste v dolini Trenta, Tehnični informator SCT, Ljubljana, april 1992

5. National Computer Graphics Association : NCGA'91, Conference Proceedings, Chicago, april 1991

6. Eurographics : Annual Conference of the European Association for Computer Graphics '91 Proceedings, Dunaj, september 1991

dipl. grad. inž. Vlado Gumilar
mladi raziskovalec IKPIR - FAGG

RAČUNALNIŠKO PODPRTO ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V GRADBENIŠTVU

Povzetek

Prispevek obravnava pomen zagotavljanja kakovosti v gradbeništvu. Predstavljeni so mednarodni standardi 'kakovosti' ISO 9000. V drugem delu govorimo o računalniško podprtem in integriranem zagotavljanju kakovosti. Prikazana je problematika informacijski sistemov, podatkovnih baz, obdelave in standardizacije izmenjave informacij. Kot primerno orodje na področju zagotavljanja kakovosti in integracije se kažejo objektno orientirani sistemi programiranja in modeliranja, zlasti če so povezani z ekspertnimi sistemi. Podane so osnovne potrebne lastnosti računalniško integriranega celovitega managementa kakovosti in naloge pri njegovi izdelavi.

COMPUTER AIDED QUALITY ASSURANCE IN CIVIL ENGINEERING

Summary

In this paper, the importance of quality assurance in civil engineering is discussed. The ISO 9000 international quality standards are presented. The second part deals with computer aided and integrated quality assurance, presenting problems and constraints in the area of information systems, data bases and data exchange standards. Object oriented programming and computer modelling systems appear to be appropriate tools for solving these problems, especially in co-operation with expert systems. Necessary features of computer integrated total quality management and main tasks in its design are presented.

1. UVOD

Kakovost izdelkov in storitev je ena najpomembnejših usmeritev vsakega dobrega poslovanja, to pa temelji tudi na razumevanju in poznavanju principov in metodologije zagotavljanja kakovosti. Zagotavljanje kakovosti se kot del dobrega poslovanja in vodenja začne v vodstvu podjetja, izvaja pa pri vseh dejavnostih, ki lahko vplivajo na kakovost. V enciklopedijah in tudi v normalnem življenju ima pojem kakovosti prizvok neke specijalne lastnosti, odličnosti in popolnosti. V poslovnem smislu kakovost predstavlja skupek vseh karakteristik, ki naredijo izdelek sprejemljiv za tržišče, v inženirskem smislu pa lahko izraz definiramo kot skladnost oz. dosego definiranih in dogovorjenih zahtev. Seveda pojem kakovosti v razvitem svetu, v obilici vsakršnih dobrin, ne predstavlja samo najboljše izdelke pod najugodnejšimi pogoji. Kakovost je poslovna strategija, ki se navezuje na moderna gibanja v gospodarstvu in poslovanju, katerih glavna značilnost je obrnjenost k uporabniku, kupcu oz. nasploh človeku. Gibanja se nanašajo tudi na graditeljstvo in prinašajo dodatne obveznosti in pogoje:

- integracija informacijskih sistemov načrtovanja, proizvodnje in prodaje;
- velika količina informacij, ki jih obdelujemo in ki so na razpolago;
- regulacija dejavnosti v smislu mednarodnih standardov (zaščita potrošnika in okolja);
- ekologija, uporaba čiste tehnologije, ki bazira predvsem na znanju in ne posega v naravo;
- upoštevanje etike in zaščita človekovih pravic.

Predstavitev in zagotovitev kakovosti naših izdelkov je ključnega pomena pri plasiranju in prodaji na trgu, zlasti zunaj meja. Prihod v Evropo '92 in na evropski trg je sedaj naša kratkoročna, ne več dolgoročna strategija. Glede na trenutni položaj slovenskega gospodarstva lahko sklepamo, da bomo morali uporabiti predvsem naše znanje in sposobnosti, ob hkratnem upoštevanju evropskih standardov, tudi s področja zagotavljanja kakovosti. Pri obravnavanju pojma kakovost moramo na področju graditeljstva upoštevati posebnosti te gospodarske panoge. Na tem področju imamo opravka s kompleksnimi izdelki in storitvami, pri katerih sodeluje veliko akterjev (investitor, projektanti, izvajalci, dobavitelji, kontrolorji, kupci), ki si pojem kakovosti razlagajo vsak po svoje v skladu s svojimi interesi. Pojem kakovosti je bil vedno implicitno vgrajen v procese, ki potekajo v gradbeništvu, urejen z normativi in standardi, kakovost pa so kontrolirale inšpekcijske in

druge nadzorne službe. Pomemben korak pri doseganju kakovosti pa predstavlja **zagotavljanje kakovosti** (QA - quality assurance). Osnovne principe QA sta podala J.M.Duran in W.E.Deming in jih lahko na kratko podamo [1]:

1. Organiziranje in vodenje (management) kakovosti sta kritična elementa za preživetje podjetja in potrebujeta osebno pozornost in sodelovanje vodstva podjetja.
2. Primarna odgovornost za kakovost mora obstajati pri tistih, ki delo opravljajo. Kontrola in inšpekcija imata omejen pomen.
3. Pogoj za sprejem odgovornosti za kakovost v proizvodnjih oddelkih je vzpostavitev sistem nadzora in verifikacije dela. Vodstvo mora poskrbeti za izobraževanje in usposabljanje delavcev, da bodo to delo znali opravljati.
4. Stroški za izobraževanje in usposabljanje v smislu zagotavljanja kakovosti se bodo izplačali čez čas skozi večjo produktivnost, zmanjšanje napak, izboljšanje kakovosti in povečanje profita.

Na kratko lahko opišemo QA kot formalizacijo (v nasprotju z zgoraj omejeno implicitnostjo) postopkov za dosego dogovorjene kakovosti. V primeru organizacije in delovanja celotnega podjetja, vseh dejavnosti in zaposlenih, pri konstantnem doseganju kakovosti pa govorimo o popolnem, **celovitem obvladovanju** oziroma **managementu kakovosti** (TQM - total quality management).

2. ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V MEDNARODNIH STANDARDIH ISO 9000

Problematiko QA celovito in sistematično obravnavajo mednarodni standardi ISO 9000-9004 (EN 29000-29004) [2]. Ti predstavljajo osnovo in so dokaj splošno zastavljeni. Dopolnjujejo jih standardi za posamezna ožja področja (npr. zagotavljanja kakovosti programske opreme), pri čemer so nekateri še v osnutku in se dograjujejo znotraj strokovnih komitejev. V standardih je zagotavljanje kakovosti definirano na sledeč način:

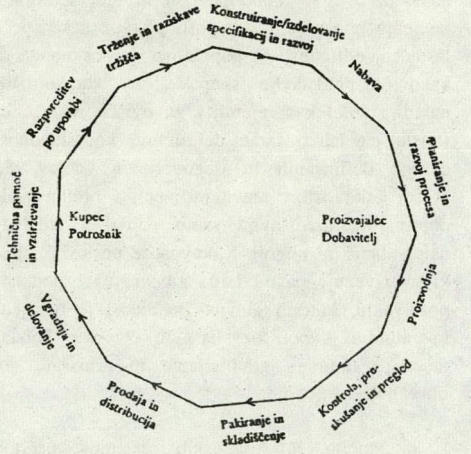
Zagotavljanje kakovosti so vsi tisti planirani in sistematični ukrepi, ki so nujno potrebni, da bosta izdelek ali storitev ustrezala danim zahtevam glede kakovosti.

Za nazorno predstavitev celovitega zagotavljanja kakovosti lahko uporabimo krog kakovosti, ki je predstavljen v ISO 9004-1987 (slika 1).

Povzetek vsebine ključnih standardov:

- ISO 9000-1987 se nanaša na selekcijo in uporabo standardov s področja QA in managementa kakovosti;
- v ISO 9004-1987 je obdelana sistematika in metodologija QA;
- ISO 9001-1987 obravnava projektiranje, razvoj, proizvodnjo, montažo in servisiranje. Ta se najbolj neposredno nanaša na področje gradbeništva in edini vsebuje del za zagotavljanje kakovosti pri projektiranju (design control). Uporaben je v projektnih in konzultanskih organizacijah;
- ISO 9002-1987 se nanaša ožje na proizvodnjo in montažo (izvajalske organizacije);
- ISO 9003-1987 se ožje nanaša na kontrolo, inšpekcijo in testiranje.

Skupina standardov za zagotavljanje kakovosti predstavlja osnovne zahteve, ki jih moramo pri uvajanju sistemov zagotavljanja kakovosti upoštevati in jih dograditi v odvisnosti od problematike. Verifikacija sistemov QA lahko poteka v okviru podjetja (interna verifikacija, First Party Assessment), s strani investitorja oz. kupca (Second Party Assessment) ali s strani neodvisne in pooblaščene državne ali mednarodne inštitucije (Third Party Assessment, Certification). Mednarodni certifikat kakovosti je mednarodno priznanje, ki ima velik pomen pri nastopu na tujih trgih, je pa dostikrat tudi pogoj za pridobitev pogodbe. Pogoj za vzpostavitev krovnih (državnih) inštitucij je seveda prehod na evropske standarde s področja QA.



Slika1: Krog kakovosti

3. ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V GRADBENIŠTVU

Čeprav si v gradbeništvu in gradbeni industriji želimo povečati uporabo polindustrijskih ali industrijskih izdelkov, je v glavnem to še vedno industrijska panoga, za katero so značilne določene posebnosti [3]:

- gradbeni objekti se praviloma gradijo za dolgotrajno rabo;
- potrebna so velika finančna sredstva za izdelavo projektov in gradnjo;
- gre za posamezne, unikatne, velike objekte, postopnost graditve ni mogoča ali ni ekonomična;
- po končani gradnji lokacije in konstrukcije objektov ne moremo več poljubno spreminjati;
- z vsakim zgrajenim objektom posegamo v naravno okolje in življenske razmere ljudi v okolju.

Omeniti je potrebno, da je pri kakovosti gradbenih objektov v večji meri poudarek na zadostitvi zahtev, ki jih podajajo stroka oz. regulativa in standardi, kot pa na izpolnitvi kupčevih oz. investitorjevih zahtev ali zahtev trga. Ugotovimo lahko, da največ napak pri projektiranju, vodenju in gradnji objektov [4] nastane zaradi slabe komunikacije, slabo definiranih odgovornosti in pooblastil, neprimerne usposobljenosti in neupoštevanja navodil in postopkov. To skušamo izboljšati s sistemom zagotavljanja kakovosti,. Sstematiko QA podajajo standardi ISO 9000, ki dajejo tudi osnovne smernice za razvoj QAS. Osnovni vsebinski deli standardov so [2, 4, 16]:

1. Uvodni del (osnovne strategije, organizacijske naloge, tveganja stroški in ugodnosti)
2. Odgovornost managementa (politika zagotavljanja kakovosti, organizacija, odgovornosti, pooblastila, nadzor s strani vodstva)
3. Sistem zagotavljanja kakovosti (priprava in dokumentacija postopkov QA, poslovniki QA, zagon sistema)
4. Pregled pogodbe
4. Kontrola projektiranja (načrtovanje projektiranja, kontrola podatkov, kontrola, verifikacija, sprememba projekta)
5. Kontrola dokumentacije QA (potrditev in izdaja dokumentov QA, spremembe in dopolnila)
6. Nakup in naročila (procurement) (ocena izvajalcev in dobaviteljev, dokumentacija naročil in nakupa, verifikacija in kontrola s strani kupca)
7. Naročnikova materialna in tehnična sredstva
8. Tekoča identifikacija in kontrola proizvodov in sredstev
9. Kontrola procesov (proizvodnje, montaže, nadzor izvajanja).
10. Inšpekcija in testiranje (začetna, medprocesna in končna inšpekcija, testiranje in nadzor, dokumentacija inšpekcije in testiranja)
11. Oprema za meritve, testiranje in inšpekcijo (kontrola in umerjanje)
12. Status izdelkov glede na opravljeno inšpekcijo in testiranje
13. Kontrola neustreznih izdelkov (preged in uporaba neprimernih izdelkov ali materialov)
14. Popravljalne aktivnosti
15. Ravnanje, shramba, pakiranje in dostava
16. Dokumentacija kakovosti
17. Interni pregledi QAS (delovanje, primernost in učinkovitost QAS)
18. Usposabljanje
19. Servisiranje
20. Statistične tehnike (meritve, obdelava meritev)

Model izgradnje sistema zagotavljanja kakovosti bo temeljil na analizi organizacije in vodenja, materialnih, tehnoloških in človeških potencialov, proizvodnje in poslovanja našega podjetja. Zaradi učinkovitosti obdelamo samo tista področja, ki zares vplivajo na kakovost. Razvoj sistema zagotavljanja kakovosti razdelimo na pripravo, izdelavo, izvedbo in operiranje ter vzdrževanje. Model bi lahko natančneje pripravili za področje projektiranja, kar je predstavljeno v naslednjem poglavju.

4. ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI PRI PROJEKTIRAJU

4.1 Uvod

Pomen zagotavljanja kakovosti se nam v procesu projektiranja zdi očiten, vendar projektiranje težko primerjamo s klasično industrijsko proizvodnjo izdelkov za kratkotrajno uporabo. Več zahtev kot kupec ali naročnik določata stroka in standardi, hkrati pa zahteve arhitektov, statikov, konstrukterjev in izvajalcev glede kakovosti niso identične oz. si celo nasprotujejo. **Stopnja kakovosti se v glavnem določi med projektiranjem** in nato izvede med gradnjo. Natančna definicija zahtev, dobra organizacija, vodenje, odgovornost in kontrola so najvažnejši elementi QA pri projektiranju.

4.2 QAS v projektivni organizaciji

Projektivna organizacija je lahko samostojna organizacija ali samo del neke večje gradbene firme.. Predno pa začnemo razvijati QAS moramo organizirati razvojno ekipo, določiti vodilni tim ali vodjo (QA manager) raziskati in pojasniti potek projektiranja, določiti standarde, na katere se bomo sklicevali in

organizirati načine pisanja procedur in inštrukcij. V ekipo bomo izbrali največkrat domače ljudi, ki imajo ustrezne izkušnje in znanje. Ti bodo tudi odgovorni za začetek delovanja sistema v praksi, za njegovo neposredno izvajanje in spreminjanje. Model QAS temelji na strukturi dejavnosti projektanske organizacije [1, 4]. Prvi del predstavlja dejavnosti, ki niso neposredno vezane na določen projekt, drugi del pa obsega samo projektiranje in druge dejavnosti, ki so lahko neposredno vezane na nek projekt, odnose z investitorjem in kooperanti. Pomembni elementi pri uporabi računalnika so podani v nadaljevanju.

Delo z računalnikom

Delo z računalnikom razdelimo na sistemski del, na posamezne procedure v zvezi z uporabo računalniške opreme pri ostalih dejavnostih (npr. statični račun, CAD/CAM tehnologija) in na delo z računalnikom v primeru, ko imamo računalniško podprt sistem zagotavljanja kakovosti (CAQ - Computer Aided Quality Assurance). Sistemski del obravnava zagotavljanje kakovosti strojne in programske opreme in njenega delovanja na različnih področjih dela.

Drugo pomembno področje so sami uporabniški programi. Sem sodijo procedure, ki omogočajo pravilno uporabo posameznih računalniških programov ali paketov. Dogaja se, da imamo na razpolago ustrezne računalniške programe, ki pa se zaradi različnih vzrokov ne uporabljajo ali pa se uporabljajo neustrezno. Problemi nastajo zlasti zaradi neprimerne usposobljenosti, slabe motivacije zlasti pri starejši generaciji in predvsem slabi organizaciji in vodenju posameznih nalog. Večkrat slišimo, da je QAS samo cel kup dodatnega papirnatega dela (paper work). Pri računalniški podpori QA se temu v veliki meri lahko izognemo. To je pomembno zato, ker moramo cel sistem ves čas spreminjati in dopolnjevati, kar pa je pri računalniško obdelani dokumentaciji relativno enostavno. Bistveno pa vpliva na učinkovitost QAS njegova integracija v sistem računalniško podprtega projektiranja in gradnje (CIE computer integrated engineering).

5. RAČUNALNIŠKO PODPRT SISTEM ZAGOTAVLJANJA KAKOVOSTI

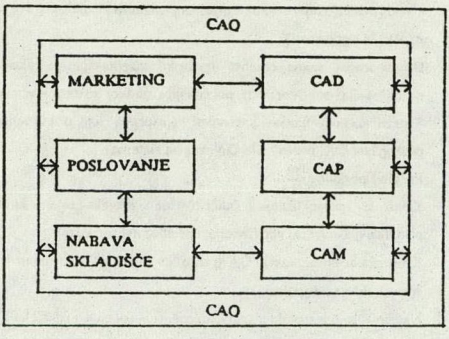
5.1 Računalnik v gradbeništvu

Uporaba računalnika je danes v gradbenišvu poleg uporabe znanja glavno orodje pri poslovanja in zagotavljanju kakovosti. Najbolj pogosto in učinkovito se računalnik v sedanji praksi uporablja pri projektiranju in računu konstrukcij v okviru CAE. Če pa govorimo o celovitem obvladovanju kakovosti TQM, moramo integrirati delo s pomočjo računalnika na vseh področjih, od administracije, organizacije, vodenja, projektiranja, gradnje, do nastopa na trgu in reklamiranja naših storitev in izdelkov. To zahtevajo tudi standardi ISO 9000, saj je dobra komunikacija osnovni element vsakega sistema zagotavljanja kakovosti.

5.2 CAQ kot del integriranega okolja

Računalniško podprto zagotavljanje kakovosti CAQ lahko definiramo tudi kot enega izmed programskih modulov integrirane CAD/CAM tehnologije, ki skrbi za delo ostalih v smislu nalog QA. Če želimo s CAQ obvladovati področja projektiranja, planiranja in proizvodnje, moramo delo opravljati na isti podatkovni bazi, v okviru integriranega sistema (CIE) [5]. Tako bi morali v model vključiti tudi druge dejavnosti oziroma različne CAxx tehnologije (organizacija in vodenje - CA production management; šolanje in usposabljanje - CA training; nabava in skladiščenje - CA procurement ...).

Če združimo integracijo dela posameznih računalniških programov in filozofijo popolnega managementa kakovosti, dobimo **računalniško integriran sistem celovitega managementa kakovosti** (CITQM computer integrated quality management). Skica modela je na sliki 2 [5] Poudarek pri modelu za gradbeništvo je na programih CAE - CAD, CAP, CAM, ki se v praksi najbolj uporabljajo.



Slika 2:CITQM

Zaradi kompleksnosti problematike, ki je pogojena predvsem z večplastnimi podatkovnimi strukturami, moramo izbrati ustreze informacijske sisteme in obdelavo ter izmenjavo podatkov. **Objektno orientirano programiranje in modeliranje** v kombinaciji z

ekspertnimi sistemi se kaže kot ustrezno programsko okolje za zgoraj podane zahteve, zlasti če deluje na podlagi konsistentne podatkovne baze.

5.4 Računalniško modeliranje in objektni pristop

Objektno orientiran (OO) pristop k reševanju problemov na področju računalniškega modeliranja in programiranja zavzema danes vedno pomembnejše mesto. Kot nekakšen uvod ali predstavitev primernosti OO pristopa bi navedel problematiko računalniškega modeliranja in podatkovnih baz, kar je oboje zelo neposredno povezano s problematiko računalniško podprtega zagotavljanja kakovosti in nasploh integracije. V gradbeništvu se poleg pravih modelov in prototipov uporabljajo predvsem 'računalniški' modeli, kjer skušamo z računalniško obdelavo podatkov čim bolj verno simulirati dejansko stanje in raziskati vplive okolja na objekt [6] Na področju računalniške integracije dejavnosti QA se srečamo z osnovnima tipoma podatkov:

- klasični (epizodni) podatki, ki prevladujejo v poslovnih in tehničnih podatkovnih bazah in se obdelujejo v DBMS sistemih in algoritmičnih programih;
- semantični podatki ali principi, kjer imamo malo podatkov, zato pa več relacij med njimi. Ti predstavljajo znanje in izkušnje naših strokovnjakov ter so implicitno vgrajeni v računalniške programe, zapisani v razne poslovnike itd.. To je področje ekspertnih sistemov in baz znanja.

Urejeno kombinacijo podatkov in funkcij omogoča objektno orientiran pristop ali objektno orientirano programiranje in modeliranje (OOP object oriented programming). Objekti kombinirajo podatke in funkcije. Stanje objektov je predstavljeno z njihovimi atributi oz. njihovimi vrednostmi (podatki), obnašanje pa določajo funkcije, ki jih sproža pošiljanje sporočil.

5.3 Podatkovne baze in izmenjava podatkov

Podatkovna baza, podatkovne strukture in izmenjava informacij so osnova integriranega informacijskega sistema. Dosedanja praksa je v večini ločevala podatkovno usmerjene programe (DBMS - data base management systems) in funkcijsko usmerjene programe (reševanje problemov s kompleksnimi računskimi postopki). Ugotovili smo, da potrebujemo kombinacijo teh dveh principov. Podatkovne strukture morajo omogočati modeliranje in obdelavo različnih, problemsko usmerjenih modelov [7] in različne postopke in izračune pri projektiranju, računu, gradnji, prodaji in vzdrževanju[1]. Pogoj za integracijo dejavnosti s pomočjo računalnika, tudi s področja QA, je **ustreznost in konsistentnost podatkovne baze,** na podlagi katere delo poteka, ter **standardizacija izmenjave podatkov.**

Objektno zasnovana podatkovna baza omogoča zajeti zgoraj omenjeno kompleksnost in zahtevano stopnjo abstraktnosti podatkovnih struktur. Predvsem so pomembne naslednje lastnosti, ki se nanašajo na objektno orientirane DBMS [8]:

- objekti kombinirajo lastnosti podatkov in procedur oz. funkcij;
- objekti se lahko izdelajo na poljubnem nivoju abstrakcije, od navadnih, celoštevilčnih spremenljivk, do 'pametnih' , samostojnih črnih skrinjic, dedovanje omogoča različno stopnjo kompleksnosti;
- OO reševanje problemov loči med konceptualnimi objekti-šablonami in njihovimi primerki (večkratna raba);
- organizacija objektov omogoča varovanje in omejen dostop do podatkov;
- ker sta OO podatkovni model in OO programiranje največkrat integrirana, lahko OO programska okolja uporabljano tako za obdelavo podatkovne baze, kot za aplikacijske programe.

Pojem integracije in tudi OO podatkovnih baz je neločljivo povezan tudi z **mednarodno standardizacijo pri izmenjavi podatkov**. Izmenjava podatkov o geometrijskem modelu (npr. IGES) ni zadosti zmogljivo orodje na področju integracije načrtovanja, proizvodnje in poslovanja v smislu QA. Mednarodna organizacija za standardizacijo ISO je že l. 1984 začela z akcijo izdelave ustreznega standarda na tem področju z imenom STEP (STandard for the Exchange of Product model data) ali **standard za izmenjavo podatkov produkta**[2]. Osnovni namen standarda je podpora oz. reprezentacija produkta ves čas njegovega obstoja. Standard sestavlja šest

---

[1] Model je abstrakcija realnega objekta, ki simulira eno ali več karakteristik realnega objekta v poenostavljeni obliki. Računalnik pri tem uporablja različne podatkovne strukture in jih obdeluje.

[2] Pod pojmom "produkt" lahko predstavljamo podatkovne strukture na različnih nivojih abstraktnosti in kompleksnosti, kakor je standard tudi zamišljen.

logičnih delov, razredov, pri čemer ima vsak specifično funkcijo pri standardizaciji podatkov produkta [9]. Poleg izmenjave preko datotek so planirane izvedbene oblike tudi na področju podatkovnih baz, tako relacijskih, kot objektnih.

6. OBJEKTNO ZASNOVAN MODEL CAQ

6.1 Osnove objektnega programiranja

Objektno orientirano programiranje lahko definiramo kot modularizacijo programov z uporabo zaščitenih polj spomina (objektov) za podatke in procedure, ki jih lahko na zahtevo uporabimo kot šablone za kopije teh modulov [10]. Zaščitena področja spomina omejujejo podatke in aktivne funkcije, ki z njimi operirajo. Na ta način se objekti zaščitijo pred nepredvidenim zunanjim posegom, princip imenujemo **enkapsulacija.** Normalno govorimo o podatkih, ki so shranjeni v spominu in procedurah, ki se izvajajo v CPU. Tu smo na nek način združili oba elementa. Informacijo o tem, kaj mora objekt storiti, dobimo preko **pošiljanja sporočil** (message passing) med objekti. Pojem razreda (class) je uporabljen pri OOP v smislu šablone za dejanske objekte - primerke (instance). Razredi lahko **dedujejo** (inheritance) lastnosti od predhodnika. Izpeljani razred lahko uporabimo za izdelavo primerka ali pa ga spremenimo. Dobimo hierarhično drevo razredov, kjer imamo spodaj splošne ali abstraktne razrede, ki pa preko dedovanja postajajo vedno bolj specifični. Sporočila kot aktivni del objektov imenujemo tudi **metode** (methods) in so podobne lokalnim funkcijam objektov. S **preobtežitvijo** (overloading) imen teh metod lahko dosežemo, da isto ime uporabimo pri različnih objektih, pri tem pa bodo objekti izvajali svojo lokalno verzijo te metode. Objektno orientirani sistemi (C ++, Smalltalk) vsebujejo okolja za razvoj programske opreme, ki pomagajo programerju pri njegovem delu.

6.2 Realizacija objektno zasnovanega modela CAQ

Računalniško podprt management kakovosti CITQM zahteva objektno usmerjen pristop zlasti zaradi raznovrstnih podatkovnih struktur (poročila, navodila, obrazci, grafični vmesniki med programi, različni numerični podatki), ki jih obdelujemo in nadzorujemo. Podjetja se po dejavnostih zelo razlikujejo in jih seveda ne moremo vgraditi v nek univerzalen model. Možna rešitev je nekakšna **lupina** pripravljenih objektov oz. šablon, ki bi bili na različnih nivojih abstraktnosti in bi vsebovali zadosti informacij o tem, kaj se lahko z njimi počne. Pri izdelavi modela bi jih jih nato napolnili s podatki, definirali dodatne, uporabniške funkcije in v posebne objekte vgradili tudi znanje. Lupina bi opravljala tudi vlogo objektno orientiranega, več opravilnega DBMS. OO programirna okolja in podatkovne baze bodo nudili dovolj močno orodje za realizacijo CIQAM. Večji problem je dobro organizacija dela. Najtežje je problem pravilno razdeliti na module in določiti njihove medsebojne zveze. Tudi samo programiranje zahteva dosti več programerskih izkušnj, saj imamo opravka z novim, drugačnim principom programiranja in z zmogljivim programskim orodjem. Realizacija programskega dela objektno zasnovanega modela CAQ bi tako imela naslednje razvojne stopnje:

- definicija globalnega problema, osnovne vloge in naloge programa:
- globalna modularizacija problema in njegovega reševanja;
- definicija objektov podatkovne baze (podatki in metode);
- definicija objektov aplikacijskega dela;
- raziskava izdelanih in pripravljenih razredov, objektnih knjižnic, podatkovnih shem;
- načrt in izdelava posameznih razredov;
- prototipni model, njegov preizkus in analiza;
- spremembe in izdelava končnega sistema in njegovega uporabniškega vmesnika;
- dokumentacija in načrt vpeljave ter analize funkcionalnosti in učinkovitosti sistema, servisiranje.

Program CITQM je seveda zastavljen široko, kar se vidi tudi iz poteka dela, ki je zelo splošen. Namen je prikazati koncepte računalniško podprtega in integriranega sistema organiziranja, vodenja, izvajanja in kontrole del s področja graditeljstva ob upoštevanju principov QA. Program si lahko predstavljamo tudi kot nekakšen povezovalni program med posameznimi aplikativnimi programi, kot so različni programi za modeliraje, račun konstrukcije, obdelavo podatkov idr. Program mora biti tudi učinkovit, kamor sodi tudi finančni učinek. To dosežemo predvsem tako, da vpeljemo sistem QA pri tistih dejavnostih, ki že potekajo prek računalnikov (CAD/CAM) in da skušamo v sistem vgraditi znanje in izkušnje preko ekspertnih sistemov. Tako izdelamo program z večjo avtonomnostjo, računalnik lahko opravi marsikaj, za kar smo prej potrebovali določenega strokovnjaka ali izkušenega delavca.

7. EKSPERTNI SISTEMI IN QA

7.1 QA management in znanje v gradbeništvu

Tehnologija, znanje in kakovost so v tem 'postindustrijskem' obdobju neločljivo povezani, kar velja tudi za področje graditeljstva. Tudi eden izmed temeljnih aksiomov QA pravi, da morajo biti ljudje, ki določene dejavnosti opravljano, za le-te ustrezno usposobljeni. Problematiko obravnava veja računalniške programske tehnologije - na znanje oprti (KBS knowledge based systems) ali ekspertni sistemi (ES expert systems) [11]:

Klasični programi rešujejo ozko definirane probleme s pomočjo računsko zahtevnih algoritmov. Primerni so za probleme, kjer poznamo algoritem reševanja in se ta ne spreminja [12]. Pri ES je poudarek na znanju, ki je zbrano v **bazah znanja** (knowledge base) in je ločeno od kontrolnih mehanizmov. To znaje uporabljajo na področjih odločanja, načrtovanja, - diagnostike, razlaganja, učenja posebni programi - **sklepniki** (inference engine). ES obdelujejo tiste probleme, ki so definirani v bazi znanja. V primeru, ko definiramo nov problem in zamenjamo ali dopolnimo bazo znanja, sklepnika ni potrebno spreminjati. Učinkovitost se kaže skozi širino[3] obravnavane problematike. Znanje je v odvisnosti od načina kodiranja in načina predstavitve do neke mere vidno in dostopno [13]. Z mehanizmi razlaganja lahko sledimo mehanizmu sklepanja. ES uporabimo kot **učni pripomoček**, izdelati je potrebno samo prijazen **uporabniški vmesnik**.

ES se povezujejo s **klasičnimi programi in podatkovnimi bazami**, strmi se **k modularizaciji baze znanja** in tipizaciji predstavitvenih shem. Rezultat teh teženj so delno tudi lupine za izdelavo ES (ES shell), ki so poenostavljeno sistemi s prazno bazo znanja. Orodja za sestavljanje in urejanje baze znanja omogočajo učinkovitost dela, prijaznost uporabe pa grafični uporabniški vmesniki. Za probleme s področja gradbeništva se kažejo kot primerno orodje objektno zasnovani ES oziroma lupine. Več o ES v [16] ali drugi literaturi s tega področja.

[3] Gre za relativno širino v primerjavi s klasičnimi programi. Ti rešejo en tip problema, ES pa lahko rešujejo probleme, za katere imamo na razpolago bazo znanja, kar je širši pojem.

7.2 Uporaba ES pri zagotavljanju kakovosti

V uvodnem poglavju o zagotavljanju kakovosti je bila prikazana tudi pomembnost uporabe znanja pri dejavnostih, ki vplivajo na kakovost. ES si lahko predstavljamo kot orodje, kjer s pomočjo računalnika določeno znanje zapišemo in ga nato uporabimo pri reševanju določenih problemov: Pomembna sta dva vidika ES:

- ekspertni sistem kot del računalniško podprtega in integriranega sistema za projektiranje, organizacijo, vodenje, izvajanje in nadzor sistema za zagotavljanje kakovosti del in izdelkov v gradbeništvu;
- pomen in vlogo posameznih ekspertnih sistemov pri zagotavljanju kakovosti v določenih postopkih in opravilih, ki so primerna za uporabo na znanju temelječe programske opreme in manj za algoritmične postopke.

Naš namen je izdelati na znanje oprte in grafično podprte pred- in poprocesorske programe, na znanje oprte programe spremljanja in svetovanja pri konstruiranju in analizi delovnih procesov v smislu zagotavljanja kakovosti. **Ekspertni sistem za zagotavljanje kakovosti** si predstavljamo kot del računalniško podprtega in integriranega sistema ali lupine za projektiranje, organizacijo, vodenje, izvajanje in nadzor sistema za zagotavljanje kakovosti del in izdelkov v gradbeništvu CITQM. Podlaga za tak sistem bi bila konsistentna podatkovna baza, ki vsebuje tudi **posebne podatkovne strukture**, ki se uporabljajo na področju ES. Temu bi ustrezale objektno usmerjene (inteligentne) podatkovne baze. Posebej bi bilo potrebno obdelati izmenjavo podatkov. Modeli, ki jih tako konstruiramo v računalniku, postanejo **večplastni** [15]. Poleg geometrijskih, funkcijskih in strukturnih podatkov (formalni matematični model) imamo še simbolni in heuristični model, ki združuje ekspertno znanje o delovanju in lastnostih modela. Matematični model lahko zgradimo, zgraditi bi morali baze znanja za heuristični in simbolni model.

8. ZAKLJUČEK

V poročilu je predstavljena tematika zagotavljanja kakovosti v gradbeništvu. Ugotovili smo nujnost in potrebnost dejavnosti zagotavljanja kakovosti v gradbenišvu, zlasti pri projektiranju. Predstavljena je metodologija in sistem zagotavljanja kakovosti, ki temelji na mednarodnih standardih s tega področja.

Primeri sistemov QA so bili vzeti iz tuje literature, potrebno bi bilo raziskati stanje pri nas, zlasti glede možne mednarodne verifikacije sistemov QA. Mednarodna verifikacija ima lahko zelo velik vpliv na konkurenčnost naših projektov in s tem tudi uspešnost.

V drugem delu smo prikazali možnosti računalniško podprtega in integriranega sistema QA. Kot primerno okolje se kažejo objektno usmerjeni programski jeziki, ki imajo na razpolago tudi primerna programirna okolja in podatkovne baze. Nakazano je tudi reševanje standardizacije izmenjave podatkov v mednarodnem projektu STEP/PDES.

Prikazan je bil tudi pomen znanja in izkušenj pri QA. Orodja, ki nam to omogočajo so na znanje oprti ali ekspertni sistemi in predstavljajo novo fazo v informacijski tehnologiji.

Pri računalniško podprtih dejavnostih v gradbeništvu stremimo k zmanjševanju razlik med dejanskim stanjem in v računalniku zgrajenim modelom. Poleg matematičnega modela, ki predstavlja geometrijske, funkcionalne in strukturne lastnosti, imamo opravka še s formalnim simbolnim in heurističnim modelom. Ta združuje simbolno predstavitev in znanje ter izkušnje o lastnostih in funkcioniranju modela. V ta namen potrebujemo kompleksne podatkovne strukture, s katerimi lahko zapišemo znanje, zopet je primerno orodje objektno usmerjen pristop.

Oba modela združimo v integriran sistem popolnega obvladovanja kakovosti, prikazani so možni elementi takega sistema.

Literatura:

1. John L. Ashford, "The Management of Quality in Construction", E.&F.N. Spon Ltd., London, New York, 1989.
2. International Organization for Standardization, "ISO 9000-9004; Quality Assurance Standards", zadnje izdaje 1987-1990.
3. Mirko Pšunder, "Organizacijski in metodološki pristop k izvajanju kontrole kakovosti projektov gradbenih objektov", Gradbeni vesnik (str.63-68), Ljubljana 1989.
4. John M. Duncan, Brian Thorpe, Peter Sumner, "Quality Assurance in Construction", Gower Publishing Limited, England, 1990.
5. "CAD/CAM fuer Gewerbebetriebe, Chancen - Risken", WIFI-Wirtschaftfoerderungsinstitut der Handelskammer, brošura 195, Dunaj 1990.
6. Turk Žiga, "Objektno orientirano modeliranje", Zbornik 5. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, urednik J. Duhovnik, Ljubljana, 1990.
7. Barth Luiten, Frits Tolman, "Project Information for Building and Construction Industries", Proceedings of the 4'th International IFIP TC5 Conference on CAPE 91, Integration Aspects, Elsevier Science Publishers B. V., Netherlands, 1991
8. T. Barsalou, G. Wiederhold, "Complex Objects for relational Databases, Computer Aided Design, volume 22, number 8, october 1990.
9. M. S. Bloor, J. Owen, "CAD/CAM Product/data exchange: the next Step", Computer Aided Design, volume 23, number 4, october 1991.
10. Ernest R. Tello, "Object-Oriented Programming for Artifical Intelligence", Addison - Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
11. J. Martin, S. Oxman, "Building Expert Systems", Prentice Hall, New Jersey, ZDA, 1988.
12. Turk Žiga, "Razvoj ekspertnih sistemov", poročilo IKPIR 10/90, FAGG, Ljubljana, 1990.
13. Steven J. Fenves, "What is Expert System", zbornik ASCE simpozija ES in Civil Engineering /86 , urednika C.N. Kostem in M.L. Maher, ASCE, ZDA, 1986.
14. Donald A. Waterman, "Guide to Expert System", Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
15. J.C. Kunz, M.J. Stelzner, M.D. Williams, "From Classic ES to Models: Introduction to a Methodology for Building Model-based Systems", ZDA; članek v Topicsin Expert System Design, urednika G. Guida in C. Tasso, Udine, 1989.
16. V. Gumilar, "Zagotavljanje kakovosti v gradbeništvu", poročilo FAGG-IKPIR št.10/1991, Ljubljana 1991.

Staš Urbančič*, Bojan Cestnik**, Jakob Šušteršič*, Tanja Urbančič**

* ZRMK, Inštitut za materiale, Ljubljana
** Institut Jožef Stefan, Ljubljana

AVTOMATSKA SINTEZA PRAVIL ZA NAPOVEDOVANJE KONSISTENCE BETONA

POVZETEK

Eno glavnih težav pri določanju sestave betona predstavljajo drage in zamudne laboratorijske preiskave. Njihov obseg poskušamo zmanjšati z uporabo induktivnega avtomatskega učenja, ki omogoča sintezo pravil za napovedovanje lastnosti betona na osnovi podatkov iz dokumentiranih preiskav. V članku opisujemo metodo in odločitveno drevo, ki je bilo zgrajeno s sistemom za avtomatsko učenje Assistant Professional.

AUTOMATIC SYNTHESIS OF CONCRETE CONSISTENCY PREDICTING RULES

SUMMARY

Considerable difficulties arise in concrete mix proportion design due to expensive and time consuming laboratoty tests. An attempt to reduce them has been done by applying Assistant Professional, an inductive machine learning system. The method and the generated decision tree are described.

1. UVOD

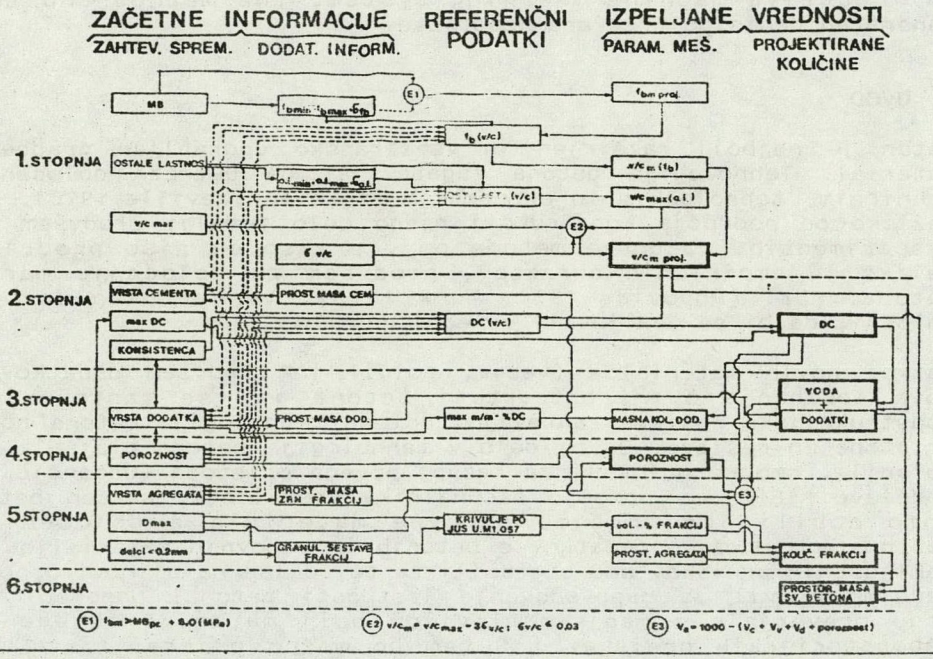
Beton je najbolj razširjen in vsestransko uporabljan gradbeni material. Tehnologija betona zagotavlja, da ustreza določenim tehničnim, tehnološkim in ekonomskim zahtevam (Neville 1976). Za razliko od področja konstrukcij njeno delo temelji predvsem na eksperimentih, računske metode pa v prakso še niso prodrle. Veliko je empiričnih obrazcev, predvsem za določanje marke betona, npr. (Popovics 1974, Turk 1975), vendar niso dovolj splošni, da bi se uveljavili v redni uporabi.

Razvoj novih materialov (veziv, polnil in predvsem dodatkov), nova spoznanja o mikrostrukturi betona in vse zahtevnejše konstrukcijske rešitve zahtevajo tudi od tehnologije betona nove pristope in rešitve. Da bi delo v tehnologiji betona olajšali in pocenili, smo se odločili za razvoj novega pristopa (Urbančič in sodelavci 1990): s pomočjo računalnika predvideti, kakšen beton bomo dobili, če zmešamo osnovne materiale z določenimi lastnostmi. Množico podatkov o betonih in osnovnih materialih iz zaključenih preiskav smo uporabili za to, da se na njihovi osnovi naučimo pravil za napovedovanje lastnosti betona. Napovedi se bodo preverjale z manjšim številom bolj natančno izvedenih laboratorijskih preiskav. S tem bo možno prihraniti nekaj čedalje dražjega eksperimentalnega dela in ga nadomestiti s čedalje cenejšimi računalniki (Duhovnik 1988).

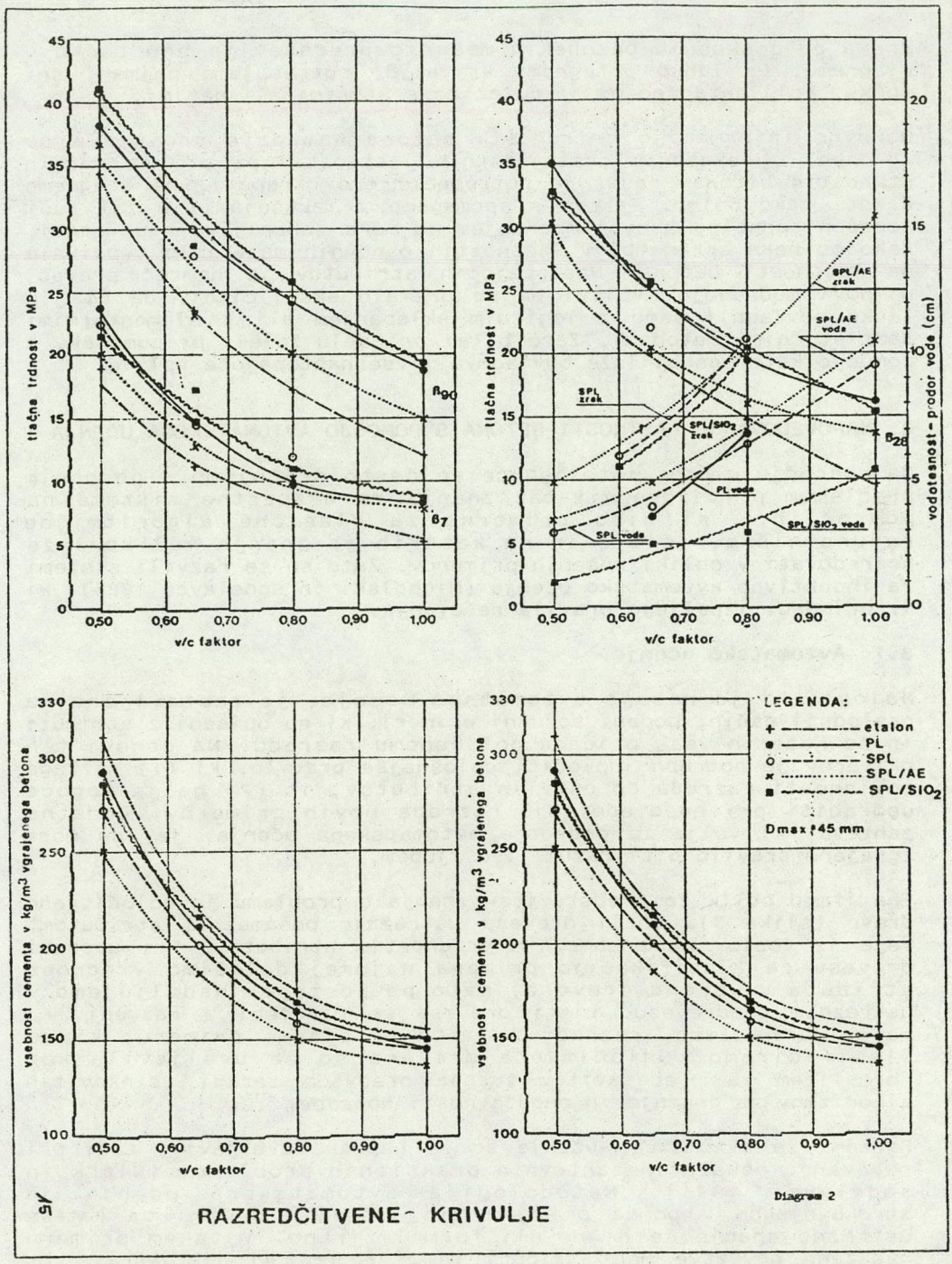
2. KLASIČNI NAČIN DOLOČANJA SESTAVE BETONA

Beton je nehomogen kompozitni material, sestavljen iz kamenega agregata, cementa, vode in kemičnih dodatkov. Lastnosti teh materialov in medsebojna razmerja njihovih količin v sestavi betona so atributi, ki neposredno ali posredno vplivajo na lastnosti betona. Pomemben vpliv na lastnosti imajo stične površine posameznih komponent (Mindess in Shah 1987). Nekatere od teh vplivov dobro poznamo, nekateri med njimi so le delno raziskani, medtem ko nekaterih sploh ne poznamo.

Za določitev sestave betona , ki naj bi imel določene lastnosti, je pri sedanjem načinu dela potrebno izvesti večje število preiskav (Šušteršič in Gečev 1986). Z materiali, ki jih bomo uporabili za določen beton, zmešamo potrebno število betonskih mešanic. Pred tem smo seveda morali preiskati ključne lastnosti osnovnih materialov. Pri betonu v svežem in strjenem stanju nato ugotavljamo želene lastnosti. Rezultate preiskav predstavimo v obliki razredčitvenih krivulj. Glede na tehnične, tehnološke in ekonomske zahteve, ki si včasih tudi nasprotujejo, iz diagramov določimo parametre za sestavo betona. Postopek je prikazan na sliki 1 , razredčitvene krivulje pa na sliki 2 (Šušteršič, Korla in de Costa 1988).



Slika 1: Shematski prikaz poteka določanja sestave betona (Šušteršič in Gečev 1986)



Slika 2: Razredčitvene krivulje (Šušteršič, Korla in de Costa 1988)

Vsaka od poskusnih betonskih mešanic predstavlja eno točko v diagramu. Da lahko potegnemo krivuljo, potrebujemo najmanj tri točke, bolj natančno pa jo določimo s štirimi ali petimi.

Osnovno informacijo o trdnosti betona nam daje preiskava po 28 dneh, o nekaterih obstojnostnih lastnostih pa pri še večjih starostih betona. Kadar je potrebno hitro ukrepati, ne utegnemo čakati tako dolgo. Takrat si pomagamo z izkušnjami, a žal tudi izkušen tehnolog s svojim znanjem ne more zanesljivo napovedati, kako bo neka sprememba v lastnostih osnovnih materialov vplivala na lastnosti betona. Nastopajočih atributov je namreč preveč, njihovi medsebojni vplivi pa so premalo eksplicitni, da bi jih lahko obvladali samo z logičnim sklepanjem ali z elementarnimi statističnimi metodami. Zato bi si pri delu želeli pripomoček, s pomočjo katerega bi laže obvladovali vse nastopajoče vplive.

3. NAPOVEDOVANJE LASTNOSTI BETONA S POMOČJO AVTOMATSKEGA UČENJA

Na področju umetne inteligence se često srečujemo s podobnim problemom pri izgradnji baz znanja za ekspertne sisteme na področjih, ki niso primerna za klasične algoritmične računalniške rešitve in na katerih je znanje veliko laže posredovati v obliki rešenih primerov. Zato so se razvili sistemi za induktivno avtomatsko učenje (Michalski in sodelavci 1983), ki iz primerov izpeljejo pravila reševanja.

3.1. Avtomatsko učenje

Naloga, ki jo rešuje avtomatsko učenje, je zastavljena na naslednji način: podani so učni primeri, ki so opisani z atributi in od katerih vsak pripada določenemu razredu. Na osnovi teh primerov je potrebno določiti splošnejše pravilo, ki (1) razlaga odvisnosti razreda od ostalih atributov, in (2) ga je mogoče uporabiti pri napovedovanju razreda novih primerov. Dodatna zahteva, ki velja za področje avtomatskega učenja, je, da mora zgrajeno pravilo biti razumljivo ljudem.

Ena izmed oblik za predstavitev znanja o problemu je odločitveno drevo (slika 3). Vozli drevesa ustrezajo posameznim atributom, veje iz vozlov pa posameznim vrednostim atributov. Pri uporabi drevesa za klasifikacijo primera najprej določimo vrednost atributa v korenu drevesa, nato pa postopek nadaljujemo v ustreznem poddrevesu. Listi drevesa so označeni z razredi. Ko naletimo na list, razred iz lista pripišemo primeru, ki ga klasificiramo. Odločitvena drevesa so se uveljavila kot formalizem za predstavitev znanja predvsem zaradi učinkovitih algoritmov za gradnjo in enostavnosti uporabe.

Sistemi za avtomatsko učenje so se uspešno uveljavili tudi pri reševanju nekaterih zahtevnih praktičnih problemov (Clark in sodelavci 1991). Metodologija avtomatskega učenja je strokovnjakom v pomoč predvsem pri reševanju nalog, za katere ustrezno znanje še ni dovolj formalizirano. V takem primeru nakazane povezave med atributi in razredom, ki jih dobimo kot rezultat učenja, predstavljajo osnovo za delovno hipotezo, ki jo je potrebno preveriti. Občutno se torej skrajša čas, potreben za generiranje smiselnih hipotez. Hkrati se glavnina pozornosti

strokovnjakov lahko usmeri v preverjanje postavljenih hipotez.

Določanje lastnosti betona na osnovi podanih lastnosti osnovnih materialov in parametrov sestave zaradi že naštetih značilnosti področja sodi med tovrstne zahtevne naloge.

3.2. Sistem Assistant Professional

Sistem za avtomatsko učenja Assistant Professional je bil razvit na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani in na Institutu Jožef Stefan (Cestnik in sodelavci, 1987). Sistem gradi pravila v obliki odločitvenih dreves. Osnovni agoritem je privzet iz sistema ID3 (Quinlan, 1986) in izpopolnjen predvsem v smislu obravnavanja nepopolnih in nezanesljivih podatkov.

Vhodni podatki, to je učni primeri, so predstavljeni kot vektor vrednosti atributov in razreda. V obravnavanem primeru napovedovanja lastnosti betona smo za atribute vzeli parametre sestave betona, za razred pa konsistenco svežega betona po metodi poseda stožca. Odločitveno drevo, ki ga zgradi sistem, vsebuje odvisnosti poseda od lastnosti osnovnih materialov in izbranih parametrov sestave (slika 3).

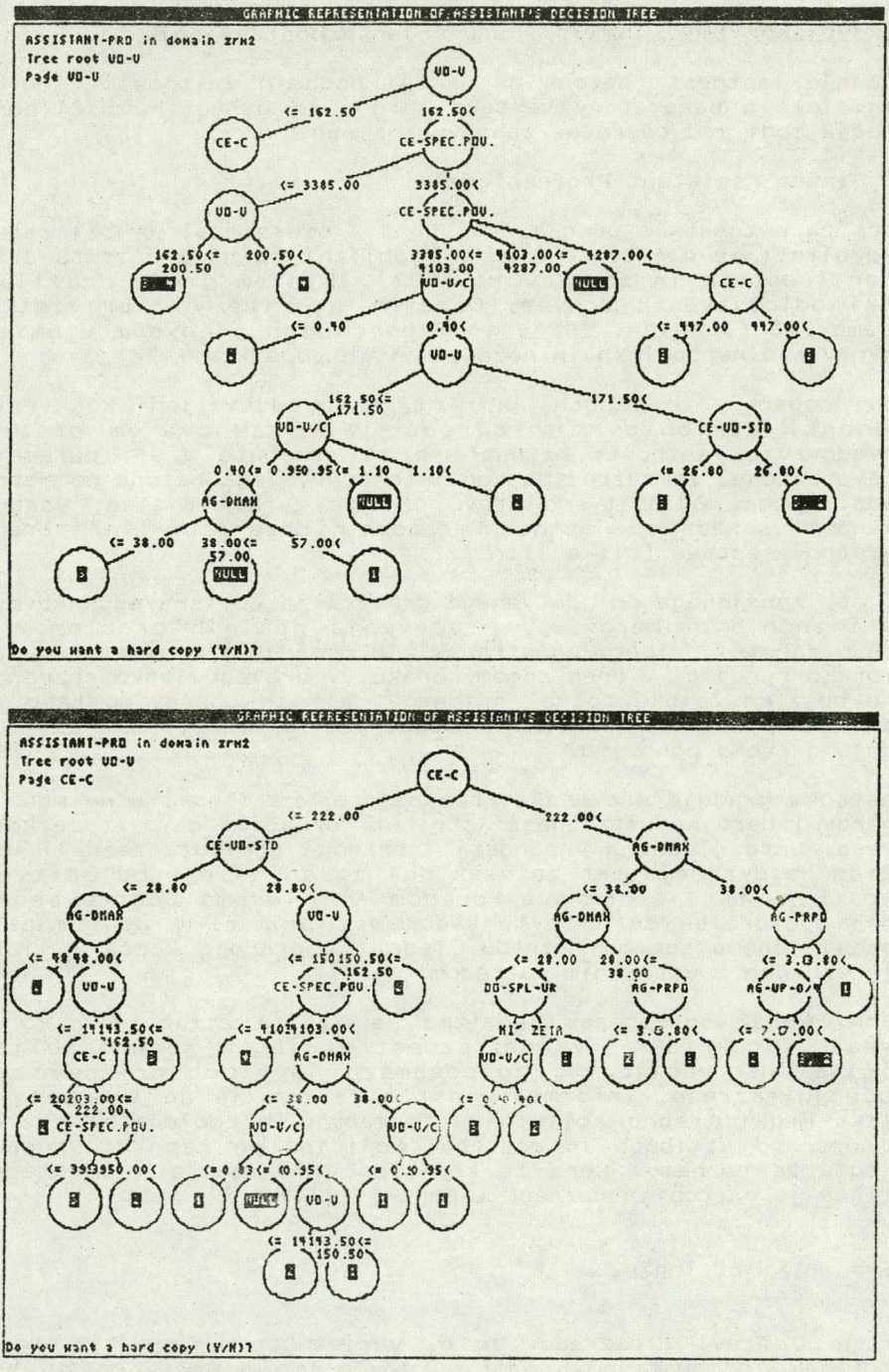
Kakovost zgrajenega odločitvenega drevesa je odvisna od kakovosti zbranih učnih primerov. Pri reševanju realnih problemov so pogosto začetni primeri enostranski in pomanjkljivi, zato drevesa ne moremo zgraditi v enem samem koraku. V drevesu lahko razmeroma hitro opazimo "šibke točke" primerov, ki jih odpravimo tako, da dodamo nove oziroma dopolnimo obstoječe primere, ter postopek gradnje drevesa ponovimo.

V postopku gradnje drevesa sistem najprej na osnovi učne množice primerov izbere najustreznejši atribut, označimo ga z A, za koren drevesa. Nato glede na vrednosti izbranega atributa razdeli učno množico na dva dela ter za vsak del zgradi svoje odločitveno drevo. Rezultat je drevo s korenom A in dvema poddrevesoma. Gradnja poddreves se ustavi, kadar vsi primeri v učni množici pripadajo enemu samemu razredu. Tedaj se gradnja konča v listu, ki je označen z ustreznim razredom.

Ključni korak opisanega algoritma je izbira atributa v korenu drevesa. Kot kriterij za ustreznost atributa je uporabljena količina informacije, ki jo posamezni atribut prispeva pri določanju razreda. Informativnost atributa je definirana kot razlika med potrebno količino informacije za določitev razreda pred uporabo atributa in potrebno količino po tem, ko vrednost atributa že poznamo. Mera za količino informacije v posameznem vozlišču je entropija razreda (Jamnik, 1974):

$$E = -\sum_{i=1}^{C} p_i \log_2 p_i$$

kjer je C število razredov in p_i verjetnost i-tega razreda. S kriterijem informativnosti atributov želimo doseči, da bi bilo zgrajeno odločitveno drevo čim bolj kompaktno in da ne bi vsebovalo neustreznih atributov, ki na opazovano lastnost nimajo vpliva.



Slika 3: Odločitveno drevo za določanje konsistence betona

3.3. Odločitveno drevo za določanje konsistence betona

Celotno področje tehnologije betona je preobsežno, da bi ga obdelali naenkrat. Zato smo se v prvi fazi omejili na določanje lastnosti **svežega betona**. Kot tipično lastnost smo izbrali konsistenco, merjeno po metodi poseda stožca.

Učni primeri so bili opisani z naslednjimi atributi:

cement - proizvajalec, vrsta, količina, specifična površina in voda za standardno konsistenco
agregat - izvor, prodnat/drobljen, velikost največjega zrna, vodna potreba, vodovpojnost
voda - količina, razmerje v/c
dodatki - vrsta, količina
ostalo - projektirana poroznost in prostorninska masa

S sistemom Assistant Professional smo na osnovi ustrezno pripravljenih podatkov zgradili odločitveno drevo, ki je prikazano na sliki 3.

Kot **najinformativnejši atribut**, ki nastopa v korenu drevesa, je izbrana **količina vode**. To pomeni da je količina vode atribut, ki je najbolj odločilen za konsistenco betona. To je v skladu s pričakovanji - čim več je vode v betonu, bolj je konsistenca tekoča. Iz korena drevesa vodita obe glavni veji, na kateri sta priključeni ustrezni poddrevesi. Leva veja (nadaljuje se v drugem delu slike in vsebuje primere s nižjo količino vode) vodi pretežno do razreda z nižjo konsistenco, desna z višjo količino vode pa do bolj tekočih konsistenc.

V desnem poddrevesu je naslednji atribut specifična površina cementa. Betoni, ki vsebujejo veliko količino vode in imajo nizko specifično površino cementa, padejo v razred s plastično ali tekočo konsistenco, ne glede na vse ostale atribute.

V levem poddrevesu je naslednji atribut količina cementa. Tudi ta izbira se zdi smiselna, saj je konsistenca bolj odvisna od količine cementa v povezavi s količino vode kot od same količine cementa.

Na naslednjih dveh nivojih se na več mestih pojavi atribut največje zrno agregata. Tudi to je atribut, ki ima pomemben vpliv na konsistenco in tudi položaj v drevesu, na katerem se pojavi, lahko razložimo: sam podatek o velikosti največje frakcije seveda ne more povedati ničesar o konsistenci, saj lahko z vsako granulacijo dosežemo vse konsistence, ob nekaterih že definiranih pogojih pa je lahko vpliv največjega zrna agregata tisti, ki odloči, ali bo konsistenca v tem ali onem razredu.

Na nižjih nivojih že zelo težko ocenjujemo celotno pot, ki nas privede do nekega lista. Nastopajočih atributov je namreč že preveč, da bi lahko na pamet obvladali skupni vpliv vseh vozlov na tej poti. Gledamo lahko le vpliv posameznega atributa na odločitev v določenem vozlu. Večino teh odločitev lahko ocenimo kot smiselne, ponekod pa so ti vplivi tudi v nasprotju s pričakovanji. To pripisujemo šumu v podatkih.

4. ZAKLJUČEK

Opravljeno delo predstavlja začetni del projekta, v katerem želimo zgraditi pravila za napovedovanje lastnosti in določanje sestave betona. Analizirali smo problemsko področje in ovrednotili pomen posameznih atributov za konsistenco svežega betona. Odločitveno drevo, zgrajeno s sistemom Assisant Professional, predvsem pa pravila, izpeljana iz drevesa, so smiselna in razumljiva.

V nadaljevanju nameravamo izdelati še pravila za napovedovanje lastnosti strjenega betona. Cilj projekta je razviti orodje, s pomočjo katerega bi bilo možno skrčiti sedanje obsežne laboratorijske preiskave na preverjenje računalniško generiranih napovedi. Delo tehnologov za beton bi s tem olajšali in pocenili.

5. LITERATURA

Cestnik, B., Kononenko, I., Bratko, I. (1987): ASSISTANT-86: A Knowledge-Elicitation Tool for Sophisticated Users, Progress in Machine Learning, ured. I. Bratko, N. Lavrač, Sigma Press, Wilmslow.

Clark, P., Cestnik, B., Sammut, C., Stender, J. (1991): Applications of Machine Learning: Notes from the Panel Members, Proc. of EWSL 91, Porto, Portugal, March 6-8, 1991.

Duhovnik, J. (1988): Računalniško integrirana proizvodnja (CIM) v gradbeništvu - možnost ali utopija, Zbornik 4. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, Univerza v Ljubljani, FAGG - IKPIR

Michalski, R.S., Carbonell, J.G., Mitchell, T.M. (uredniki) (1983, Vol.1; 1986, Vol.2): Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach. Palo Alto: Tioga Publishing Company.

Mindess, S. in Shah, S.P. (1987): Bonding in Cementitious Composites, MRS Symposium Proceedings, Volume 114, Boston

Neville, A. (1976): Svojstva betona, Građevinska knjiga, Beograd

Popovics, S. (1974): Proportioning Concrete for a Specified Cement Content and/or a Specified Unit Weight, Proportioning Concrete Mixes, ACI Publication SP-46, American Concrete Institute, Detroit

Quinlan, J.R. (1986): Induction of Decision Trees, Machine Learning, Vol. 1, No. 1, pp. 81-106.

Šušteršič, J., Korla, J., De Costa, A. (1988): Betoni za masivne konstrukcije hidrotehničnih gradenj, Razvojno raziskovalna naloga, ZRMK Ljubljana

Šušteršič, J., Gečev, T. (1986): Postopek projektiranja sestave kompaktnih betonov, Informacije ZRMK 271, Gradbeni vestnik 6-7/86

Turk, S. (1975): Prognoziranje marke i konsistence betona kod poznatog sastava betonske mešavine, na osnovu fizikalno argumentiranih formula, Savez Jugoslovenskih laboratorija za ispitivanje i istraživanje materiala i konstrukcija, XV. kongres, Ohrid

Urbančič, S., Cestnik, B., Urbančič, T., Šušteršič, J. (1990): Napovedovanje konsistence betona s pomočjo metod umetne inteligence, ZRMK - Inštitut za materiale, Ljubljana

Zvonimir Žagar, Davor Delić ***

STROJNA INTELIGENTNA KLASIFIKACIJA DRVETA

Sadržaj: Opisuje se mogućnost strojne klasifikacije drvene građe na osnovu uvjeta vizualne klasifikacije prema postojećem standardu,koristeći se neuralnom mrežom. Opisan je primjer treniranja neuralne Wardove ljuske (NeuroShell) pomoću generiranja opsežnog seta za treniranje. Takodjer su opisani i rezultati klasifikacije.Podrazumjeva se da će se ulazne karakteristike generirati setom senzora, kao i vizualnim opservacijama operatora, koji će nadopunjavati podatke klasične strojne klasifikacije drveta.

Summary: Shown is a possibility to use intelligent mashine timber grading by using the Ward's NeuroShell neural network for visual grading. The inputs are sensorial data and visual observations done by operator. The large training set for the development of the neural network was development by the use of a PASCAL coded program and the few added heuristic rules. It is assumed that the inputs to the NN will be added to the timber mashine grading data. The output is a more balanced timber grade clasification.

1. STROJNA I VIZUALNA KLASIFIKACIJA DRVETA

Strojna klasifikacija drveta je alternativa vizualnoj klasifikaciji i pokušaj objektivizacije klasifikacije drvene građe. Kod nas nema strojne klasifikacije, a i u Evropi je malo zastupljena. Suvremeni standardi predmjevaju i strojnu i vizualnu klasifikaciju drveta. U prijedlogu EUROCODE 5 navedene su vrijednosti obje klasifikacije.

Tablica 1. Čvrstoće drveta prema EUROCODE 5. Izvod iz tablice.
Karakteristične vrijednosti i srednje vrijednosti modula E u Mpa.

	Klase čvrstoća MPa									
Savijanje FJMJK	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Vizualna klasif.	12.	15.	19.	21.5	24.	28.5	38.	48.	60.	75.
Strojna klasif.	11.	13.5	17.	19.5	21.5	23.	34.	43.	54.	68.

* *Prof. Dr., redovni profesor Građevinskoh fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*

** *mlađi istraživač na Odjelu za konstrukcije Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*

Vidljivo je da su klase čvrstoća savijanja za strojnu klasifikaciju manje od onih klasificiranih vizuelno. Strojna klasifikacija je objektivnija i zasniva se na mehaničkom kontinuiranom mjerenju progiba na odredjenoj duljini razmaka valjaka pod odredjenom silom. Da bi se odredila veza izmedju vizuelne i strojne klasifikacije drveta rađeno je mnogo pokusa. U tablici 2 daje se jedna takva poredba.

Tablica 2. Rezultati vizualne i mehaničke klasifikacije drva.

	Mjereno na uzorcima s 18% vlažnost	
klasa	vizualna	mehanička
1	1450	1700
2	1250	1450
3	950	1150

Da bi se postupak klasifikacije objektivizirao potrebno je obje klasifikacije upotpuniti i povezati, a subjektivnost vizuelne klasifikacije ukloniti. Prikazuje se mogućnost objektivizacije vizuelne klasifikacije, kojom se uz ostale nedestruktivne postupke klasifikacije (ultrazvuk) može nadopuniti mehanička klasifikacija.

2. EKSPERTNI SUSTAVI

Objektivizacija vizuelne klasifikacije može se ostvariti delegiranjem pravila klasifikacije ekspertnom sustavu. U osnovi smo razradili dva sustava takve klasifikacije: jedan zasnovan na pravilima (rule based) i drugi zasnovan na run-time verzijom neuralne mreže. Ovdje će se opisati samo ovaj potonji postupak. Kao što će se prikazati, potonji postupak je pogodan za klasifikaciju i pri nepotpunom setu ulaznih podataka, što je uvijek moguće pri otkazivanju pojedinih senzora ili pri kontradiktornim (konfliktnim) podacima, kad su rule-based sustavi nemoćni.

2.1. Neuralne mreže

Neuralne mreže zasnovane su na današnjim pretpostavkama i predodžbama o funkcioniranju rada neurona i mozga. Načelno se ulazne vrijednosti (stimulnsi) ponderiraju s tzv. težinama (weights) da bi se sumarno zajedno s ponderom biasa:

$$W_0 * BIAS + E\ (W_i * INPUT_i)$$

podvrgli kriteriju sigmoidne funkcije

$$F(net) = 1/(1 + exp(net))$$

s izvodom:

$$F'(net) = dF(net) = F(net)*(1-F(net))$$

za taj neuron.

Ukupna greška neuralne mreže je:

$$E = 0.5*E(Cilj_i - Izlaz_i)^2$$

Delta pravilo učenja minimira grešku. U Wardovoj N-ijuski se težine adaptiraju prema:

*nova_promjena_težine = (koef_učenja) * (funkcija_greške) + moment * (posljednja_promjena_težine)*

sa default vrijednostima *koef_učenja = 0.6* i *momentom = 0.9*. Wardova NeuroShell ima jedan skriveni sloj neurona. Za sve elemente skrivenog sloja važi:

$$W_{ij}(net) = W_{ij}(stara) + koef\_ucenja * F'(net_i) * (Edelta_{ih}) * OUT_j$$

gdje su $(Edelta_i * W_{hi})$ greška elemenata skrivenog sloja, sa sumacijom preko svih h a d je greška elementa h koji su vezani, gledajući odozdo prema sljedećem sloju, težinama W_{hi}.

Greška deltai izlaznih elemenata je

$$delta_i = F'(net_i) * (Cilj_i - Izlaz_i).$$

Ova greška izlaznog sloja se propagira unazad (backpropagation). Za proračun novih težina vrijedi:

$Nova\_težina_{ij} = Stara\_težina + Nova\_promjena\_težine_{ij}$

Neuralna mreža omogućuje trenutne odgovore. Prikazuje se simulirani neuron i principijelna neuronska mreža s jednim skrivenim slojem neurona. Mreža može biti binarna ili analogna. Mi smo koristili binarnu mrežu (ulazi su DA ili NE).

3. KLASIFIKACIJA OBLE GRAĐE

Prema JUS-u U.D0.001 tablici 1. sastavljen je opis za upis i aktiviranje/deaktiviranje stimulansa NM. Upisi se aktiviraju sa tipkom ENTER, a što odgovara odgovoru senzora. Takvih mogućnosti ima 33. Ovim podacima će u praksi trebati pridodati stimulanse od stroja za strojnu klasifikaciju i senzora za ultrazvučna mjerenja. U tablici se navodi karakteristike ulaza. Za sada su to tektovi na koje treba ogdovoriti.

Tablica 3. Karakteristike za klasifikaciju građe

trulo drvo i/ili dubinske greške od insekata nema grešaka od insekata greške od insekata samo površinske razmak medju grupama kvrga je veći od 50 cm razmak medju grupama kvrga veći od 30 a manji od 50 cm razmak medju grupama kvrga je manji od 30 cm na duljini od 20 cm,na sektoru 90 deg Epromjera kvrga<.75*d na duljini od 20 cm,na sektoru 90 deg Epromjera kvrga<1.0*d na duljini od 20 cm,na sektoru 90 deg Epromjera kvrga<1.2*d veličina jedne kvrge izvan zone priključka je manja od 0.25*d veličina jedne kvrge izvan zone priključka je manja od 0.33*d veličina jedne kvrge izvan zone priključka je manja od 0.50*d nema natrulih čepova veličina natrulog čepa je manja od 0.25*d na duljini od 2 metra ima najviše 1 čep obzirom na usukanost odstupanje na 100 cm je manje od 8 cm obzirom na usukanost odstupanje na 100 cm je između 8 i 15 cm obzirom na usukanost odstupanje na 100 cm je manje od 22 cm dubina ili suma dubina nasupr.pukotina van zone spajanja<.25*d dubina ili suma dubina nasupr.pukotina van zone spajanja<.33*d dubina ili suma dubina nasupr.pukotina van zone spajanja<.66*d ... i kraća je od 0.33*L (L=10*d ili L=stvarna duljina) ... i kraća je od 0.50*L (L=10*d ili L=stvarna duljina) ... i kraća je od 0.66*L (L=10*d ili L=stvarna duljina) savojni elementi: visina luka nad tetivom 2m na max zakrv<10mm savojni elementi: visina luka nad tetivom 2m na max zakrv<15mm savojni elementi: visina luka nad tetivom 2m na max zakrv<20mm savojni elementi: inicijalna zakrivljenost < L/200 savojni elementi: inicijalna zakrivljenost < L/100 savojni elementi: inicijalna zakrivljenost < L/75 tlačni elementi : inicijalna zakrivljenost < L/300 tlačni elementi : inicijalna zakrivljenost < L/200 tlačni elementi : inicijalna zakrivljenost < L/100
I klasa II klasa III klasa neupotrebljivo drvo

Set za učenje stvarao se u principu opisom (aktiviranjem) niza konstatacija iz gornjeg dijela tablice (ekrana) i odgovarajućim izborom klase drveta. Trening set se stvarao heurističkim pridruživanjem opisa i klase. Formiran je jedan PASCAL program, koji je generirao veliki trening set sa oko 1300 kombinacija, kojima se pridružilo još desetak heurističkih-manuelnih upisa klasifikacije. Na tablici 4. se pokazuje nekoliko slučajeva formiranja seta za treniranje.

Mreža ima 33 ulazna neurona (opisi), 12 skrivenih neurona u jednom skrivenom sloju, i 4 izlazna neurona (klase). Učenje se prati na ekranu učenja (Summary of Learning Error Factors). Učenje je na raznim strojevima od AT286 do 386 trajalo cca 15 sati s tim da se nakon 450555 random kombinacija postigla točnost od 85.8% u granicama od 0.000 do 0.0001, i 14.1% u području točnosti od 0.0001 do 0.0050. To smatramo dobrim, jer su odgovori u skladu s očekivanim odgovorima. Može se reći da je NM CLASS naučila razaznavati klase oble građe, u granicama vizualne klasifikacije prema važećem standardu. Pokazalo se, da

nije dobro mrežu trenirati "do kraja" jer onda NM postaje više-manje "birokratizirana" i nema "maštovitosti" u odlučivanju. Naravno da se vrijeme učenja moglo smanjiti s neurobord-pločom za PC, ali nažalost mi ju nemamo. A i ova ljuska je nabavljena osobnim sredstvima. Mnogo kasnije iz sredstava znanstvenog rada RH na- bavljen je Wardov Neuro-Windows.

Opcijama, izborom grafičkog alata moguće je prikazati graf učenja i naučenog u odnosu na training set. Takodjer se mogu sa Utility opcijom izbora (i izborima alata) odabrati razni drugi prikazi kao i podesiti parametre i načine učenja.

Tablica 4. Dio seta za treniranje

Sample case: 1 nema grešaka od insekata razmak medju grupama kvrga je veći od 50 cm savojni element: visina luka nad tetivom 2m na max zakr. < 10 mm
I klasa
Sample case: 2 nema grešaka od insekata razmak medju grupama kvrga je veći od 50 cm savojni element: inicijalna zakrivljenost <L/200
I klasa
Sample case: 346 nema grešaka od insekata razmak medju grupama kvrga je veći od 50 cm tlačni element: inicijalna zakrivljenost <L/300
I klasa

Nakon faze učenja, aktiviranjem podataka iznad crte, dobije se instantni odgovor klasifikacije gradje s ogdovarajućom vjerojatnosti (pouzdanosti) odgovora. U tablici 5. se prikazuje nekoliko primjera klasifikacije NM. Klasifikacija je trenutačna.

Nakon što se formirala NM CLASS, načinila se run-time (RT) verzija mreže, koja se može koristiti na svakom PC računalu. Run-time verzija može se producirati u velikom izboru raznih jezika, IBM BASIC, GW BASIC, PASCAL, FORTRAN, C i sl. i te su verzije neovisne o Wardovoj NeuroShell ljuski. Te su RT verzije mogu uklopiti u druge programe.

Prikazuje se mali dio ispisa težina (pondera) sinaptičkih veza između neurona u NM CLASS, dobivenim sa alatom NeuroShella (Utility opcije menija). Radi se očito o višedimenzionalnom prostoru, kojeg je vrlo teško (i nemoguće) vizualizirati. Zbog ograničenosti protora ovdje ne prikazujemio dio grafike n-veza.

Tablica 5. Klasifikacija drveta s neuralnom mrežom CLASS

Classsified Case: 1 trulo drvo i/ili dubinske greške od insekata razmak među grupama kvrga je veći od 50 cm na dužini od 20 cm,na sektoru 90 deg Epromjera kvrga<.75*d veličina jedne kvrge izvan zone priključka je manja od 0.25*d nema natrulih čepova obzirom na usukanost odstupanje na 100 cm je manje od 8 cm dubina ili suma dubina nasupr.pukotina van zone spajanja<.25*d ... i kraća je od 0.33*L (L=10*d ili L=stvarna duljina) savojni element: visina luka nad tetivom 2 m na max zakr<10 mm savojni element: inicijalna zakrivljenost < L/200 tlačeni element: inicijalna zakrivljenost < L/300
neupotrebljivo drvo 0.90
Classified Case: 2 nema grešaka od insekata razmak među grupama kvrga je veći od 30, a manji od 50 cm veličina jedne kvrge izvan zone priključka je manja od 0.25*d veličina natrulog čeoa je manja od 0.25*d dubina ili suma dubina nasupr.pukotina van zone spajanja<.25*d ... i kraća je od 0.33*L (L=10*d ili L=stvarna duljina) savojni element: visina luka nad tetivom 2 m na max zakr<10 mm
I klasa 0.89
Classified Case: 3 nema grešaka od insekata razmak medju grupama kvrga je veći od 50 cm na dužini od 20 cm,na sektoru 90 deg E promjera kvrga <.75*d veličina jedne kvrge izvan zone priključka je manja od 0.25*d nema natrulih čepova dubina ili suma dubina nasupr.pukotina van yone spajanja<.33*d ... i kraća je od 0.5*L (L=10*d ili L=stvarna duljina) savojni element: visina luka nad tetivom 2 m na max zakr<10 mm savojni element: inicijalna zakrivljenost < L/200 tlačeni element: inicijalna zakrivljenost < L/300
I klasa 0.90

***

***

Classified Case: 5 nema greške od insekata na dužini od 20 cm,na sektoru 90 deg Epromjera kvrga < 1.0*d dubina ili suma dubina nasupr.pukotina van zone spajanja<.25*d savojni element: visina luka nad tetivom 2 m na max zakr<20 mm tlačeni element: inicijalna zakrivljenost < L/100
III klasa 0.90

...Nastavak tablice 5.

Classified Case: 12 nema grešaka od insekata obzirom na usukanost odstupanje na 100 cm je manje od 8 cm savojni element: visina luka nad tetivom 2 m na max zakr<20 mm savojni element: inicijalna zakrivljenost < L/200 tlačeni element: inicijalna zakrivljenost < L/100
II klasa 0.95 III klasa 0.94 **** itd.

Tablica 9. Dio ispisa težina (weights) sinaptičkih veza u CLASS

trulo drvo i/ili dubinske greške od insekata FROM : -2.66 -0.86 -12.0 -0.86 -3.42 -1.66 -9.83 -8.76 -0.412 -4.35 -7.50 2.08 nema grešaka od insekata FROM : -2.12 0.23 3.34 -1.42 -0.76 -1.21 -0.58 -4.05 1.45 0.14 -2.07 1.12 greške od insekata samo površinske FROM : 2.76 -1.20 -1.90 -1.29 -1.35 1.80 2.86 3.36 -2.37 -1.41 3.70 -1.86 razmak medju grupama kvrga je veći od 50 cm FROM : 1.39 2.35 1.05 -0.64 -0.43 0.32 -0.94 -0.89 -1.32 0.36 -0.45 2.74 itd. tlačeni element: inicijalna zakrivljenost < L/100 FROM : 0.58 -1.82 -6.25 -2.68 -3.32 5.26 4.81 0.27 0.20 -2.67 6.35 -3.21
Hidden node #1 BIAS : -0.85 TO : -2.66 -2.12 2.76 1.39 -0.63 0.66 -2.35 -0.82 0.47 -2.27 -0.79 0.38 -2.69 0.23 0.45 -2.12 -0.72 0.61 -1.31 -0.61 0.25 -1.11 -0.42 0.32 -0.01 -0.50 1.06 -2.16 -0.44 0.95 -2.12 -0.60 0.58 FROM : 1.49 -1.97 -4.33 4.43 Hidden node # 2 BIAS : -2.19 TO : -0.86 0.23 -1.20 2.35 -0.57 -0.79 -3.58 -0.45 -0.14 -3.26 -0.60 itd..... ..... FROM : -1.16 -0.33 0.67 4.39 ..... itd.....

Nastavak tablice 9.

```
I klasa
BIAS : -5.94
TO  : 1.49 -1.16  3.78  2.37 -1.15  4.69 -1.86  0.03
      2.14  0.41 -0.62  3.99

II klasa
BIAS : 1.08
TO  : -1.97 -0.33  1.35  2.26  0.16 -4.24  3.24 -0.21
      -3.54 -2.39 -0.14 -2.30
            ..... itd.....
  .........
  .........
neupotrebljivo drvo
BIAS : 2.15
TO  : 4.43  4.39 -4.22 -0.96  0.94  0.90 -0.78 -4.42
      0.46 -0.56 -4.53  0.38
```

4. BUDUĆNOST

Prikazan je mali korak koji koji pokazuje da je inteligentno vizualno klasificiranje oble građe moguće s run-time opcijama NM. Pretpostavka je da postoje senzori i da ova klasifikacija bude nadopuna neinteligentnoj strojnoj-mehaničkoj klasifikaciji drveta, uz nadopunu klasifikacije ultrazvučnim metodama danas u razvoju. Očito je potreban interdisciplinarni pristup problemu.

5. ISKUSTVA

Naša se iskustva s neuralnim mrežama odnose na dimenzioniranje podrožnica, kao i na područje primjene neuralnih mreža u reguli- ranju unutrašnjih napona i deformacija strukturalnih sustava, koje smo naučili "da misle", prema naučenom obrascu ponašanja, ma kako to čudno izgledalo. Takodjer smo s istom mrežom (Arh. B. Baletić) naučilo NM da daje savjete u a-dizajnu stanova, a kolega D. Kolić ju je koristio za dizajn visokih stupova ab mostova, a i kao savjetodavni sustav za dizajn optimalnih dispozicija mostova prema konfiguracijama terena. Naravno, da se run-time opcijé mogu kao subrutine uklopiti u programe pa koristiti za dimenzioniranje presjeka od drugih materijala.

6. LITERATURA

EUROCODE 5, Common Unified Rules for Timber Structures, EUR 9887 EN Dir. Gen. Intern. Market & Industr. Affairs, 1988.

Z. Žagar, Knowledge Based Systems for Glulam Structure Design, TRADA, 1991 Intern. Timber Eng. Conference London, 2.494-2.501

JUS I.D.0.001 Tehnički Standard, Materijali za izradu drvenih konstrukcija i tehnički uslovi, SZS, Beograd, 1983.

Đ. Butković, Istraživanje povećanja kvalitete piljene građe, Drvna industrija 40 (5-6), 99-101, 1989.

Booth L. G., P. O. Reece, The Structural use of Timber, E.& F. Spoon Ltd. London, 1967.

Keith F. Fahertz, T. G. Williamson, Wood Engineering & Construc- tion Handbook, McGraw-Hill Publ. Co., N.Z., 1989.

NEUROSHELL, Neural Network Shell Programm, Ward System Group Inc., Frederick, Maryland, 1989.

mr sci Miroslav Magerle

KLASIFIKACIJA GRAĐE EKSPERTNIM SUSTAVOM

TIMBER CLASISIFICATION WITH EXPERT SYSTEM

Sažetak

Klasifikacija građe provodi se danas u većini slučajeva na temelju vizuelnog pregleda građe, na temelju čega se svrstava u određene kvalitetne razrede. Da se izbjegne subjektivnost odlučivanja opisan je jedan expertni sustav, koji na temelju unešenih elemenata pravilnosti građe donosi odluku o kvalitetnom razredu. Nije razmatran utjecaj vlažnosti i prostorne mase, jer ti parametri nisu uključeni u važeće standarde. Na istom principu moguće ih je uvesti.

Summary

Timber classification is done today in most casses by visual inspection. To be on the impartial side an rule based expert system for cut timber classification is developed. The ES is based on the still valid JUS timber classification.The moisture content and density of timber is not included, due to the exclusion of those JUS standard. But it is possible to include them using the same principles of rules forming.

mr sci Miroslav Magerle, dipl.ing.građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Fra Kačića Miošića 26

1.Uvod

Pouzdanost i sigurnost konstrukcija, pa tako i drvenih konstrukcija, ovisi i od kvalitete ugrađenog materijala, od kojih pak ovise mehaničke karakteristike. Nadalje, sigurnost i pouzdanost ovisi i od proračunske sheme konstrukcije tj. koje su pretpostavke uvedene prilikom proračuna, te koliko one odstupaju od stvarnog stanja stvari.

Težište ovog rada postavljeno je na pretpostavke kvalitete materijala za izradu drvenih konstrukcija, i kako osigurati te pretpostavke mehaničkih karakteristika.

Za razliku od ostalih osnovnih građevinskih materijala, koji su produkt točno određenih tehnoloških postupaka, drvo je građevinski materijal, koji nastaje u prirodi, dakle "tvornici", za koju slobodno možemo reći da radi svakim danom, ako ne i satom, pod nekim drugim uvjetima i daje konačni proizvod drvo, građevinski materijal za izradu drvenih konstrukcija. Iz tog razloga su i problemi za osiguranje konačnih mehaničkih svojstava, pa tako i kvalitete i sigurnosti konstrukcije potpunoma različite prirode u odnosu na druge građevinske materijale kao što su na pr. beton i čelik.

Mehaničke karakteristike lameliranog lijepljenog drva, ovise prvenstveno od mehaničkih svojstava osnovnog materijala koji je upotrebljen za izradu ljepljenog nosača. Ovdje se predmijeva da je tehnološki postupak lijepljenja pod kontrolom i da nema nekih značajnijih odstupanja, koja bi mogla imati za posljedicu smanjenje mehaničkih svojstava lameliranog lijepljenog nosača, kao cjeline.

Drvena građa klasificira se danas u svijetu prema kvalitetnim razredima. Klasifikacija se provodi u biti na dva različita načina:

- strojna klasifikacija (koja nije uvedena u mnogim zemljama kao oficijelna, ali nije i zabranjena)
- vizuelna klasifikacija drvene građe, koja se provodi na temelju pogrešaka rasta (dakle pogrešaka tehnološkog procesa proizvodnje, a to je priroda).

Prema našim, još do sada važećim standardima provodi se vizuelna klasifikacija drvene građe, gdje postoje različiti kriteriji za oblu i piljenu građu. Kvaliteta klasifikacije ovisi o sposobnosti i obućenosti onoga koji ju provodi. Dakle, drugim riječima prisutna je subjektivnost nad objektivnosti (činjenica čovjek). Da se izbjegne nadređenost subjektivnosti nad objektivnosti, u klasifikaciju drvene građe moguće je uvesti expertne sustave, koji mogu tu problematiku riješiti na najbolji mogući način.

2.Expertni sustavi

Danas je ekspertne sustave moguće podijeliti u dva osnovna tipa:
- sustavi koji su koncipirani na pravilima
- sustavi koji su koncipirani na neuralnim mrežama.

2.1 Expertni sustavi koncipirani na pravilima

Sustave koji su koncipirani na temelju određenih pravila ili saznanja moguće je koncipirati tako da se sačini baza podataka pravila na temelju kojih, ekspertni sustav donosi rješenje problema.

U ovisnosti od prirode problema mogu se ovi expertni sustavi napisati tako da nakon svake konstatacije pravila expertni sustav donese parcijalnu pravovaljanu odluku o problemu sa stanovišta te konstatacije. Na temelju niza tih parcijalnih odluka, kada su ispitane sve mogućnosti, sustav donosi i konačnu odluku o rješenju problema. Ovaj pristup omogućava da se rješenje određenog problema rastavi na nekoliko manjih problema, koji se rješavaju parcijalno, a konačno rješenje problema donosi se na temelju rješenja parcijalnih problema, koji su potpunoma nezavisni.

Mora se odmah naglasiti da svaki problem nije moguće rastaviti tako jednostavno na parcijalne probleme, te da pravila moraju biti konzistentna, jer u suprotnom slučaju mogu se dobiti i iznenađujući rezultati, koji s stvarnim stanjem stvari nemaju nikakove logičke veze.

U nastavku opisat će se princip sastavljanja određenih algoritama pravila, na temelju kojih može biti sačinjen expertni sustav na temelju podataka.

Expertni sustavi temeljeni na pisanju pravila, nakon kojeg se očekuje rješenje određenog problema, sastoji se od niza pravila u obliku:

RULE1: IF A AND B OR C THEN M
RULE2: IF D AND E THEN N
RULE3: IF F OR G THEN O
RULE4: IF M AND K OR G THEN P
RULE5: IF A AND E THEN R itd.

Ovdje se može primjetiti da pri takovom pisanju pravila, rješenje pravila RULE1 (M) ponavlja se u pravilu RULE4, time da zahtijeva i konstataciju u pravilu RULE3 (G). Ovdje su A, B, C itd. neke činjenice, izrazi ili pak algoritmi za određivanje konačne prosudbe rješenja nekog problema.

Za postavljanje ovakovih pravila potrebno je velike umješnosti poznavanja problema, jer se vrlo često može dogoditi da se upišu pravila koja su u svojoj biti kontradiktorna. Nakon tako upisanih pravila zasigurno i expertni sustav donosi krivo rješenje problema.

Kod parcijalnog rješavanja problema, za donošenje konačne odluke pravila se moraju upisivati na nešto drugačiji način, koji je po mom mišljenju pregledniji, a eventualne pogreške, u pravilu je, daleko jednostavnije ispraviti.

Ako se neki problem rastavi na neke parcijalne probleme, a to je umješnost experta, a ne stroja i expertnog sustava, i na temelju tih parcijalnih rješenja donosi odluku, zadani problem može biti daleko jednostavnije riješen.

Pretpostavimo da su od slova A do L neke činjenice, algoritmi, matematičke formulacije itd., od slova M do T parcijalna rješenja problema, a od slova U do Z konačna rješenja problema, tada se pravila za pisanje takovog algoritma mogu svesti na slijedeća moguća rješenja:

Prva grupa pravila, na temelju kojih se određuju parcijalna riješenja problema: (M, N, O, P itd.)

RULE1: IF A OR D AND E THEN M
RULE2: IF B AND F THEN N
RULE3: IF C AND G OR I THEN O itd.

Druga grupa pravila, koja se temelji na činjenicama rezultata parcijalnih riješenja donosi konačno rješenje problema:

RULE4: IF M AND N THEN U
RULE5: IF N OR O THEN V
RULE6: IF O OR P AND M THEN Z itd.

s time, da je u takovim riješenjima postavljena i određena isključivost.

Moguće rješenje, moguće je postići sa pisanjem bezbroj mogućih pravila, koja su teoretski moguća, ali praktički jedno pravilo može isključiti sva ostala pravila u donošenju meritorne odluke.

2.2. Expertni sustavi koncipirani na neuralnim mrežama

Za svaku neuronsku mrežu postoje pravila i priručnici, na koji je način potrebno upisati određena pravila, na temelju kojih je moguće dobiti rješenje određenog problema. Sve te neuronske mreže zahtijevaju upisivanje pravila prema podacima koji su provjereni, dakle da se smatraju apsolutno točnim. Ta pravila sastavljaju experti na temelju svojeg dugogodišnjeg iskustva i saznanja koje je u praksi i provjereno. Ovdje će se ukratko opisati princip sastavljanja pravila prema neuronskoj mreži NeuroShell. Postoje problemi, koji se analiziraju u analognoj ili binarnoj verziji. Svrha ovog članka nije razjašnjavanje problema analogne ili binarne verzije.

Nakon što je neuralna mreža "naučila problem" mogu se zahtijevati od neuralne mreže odgovori na određena pitanja, na temelju znanja koja je ona naučila.

Pravila za postavljanje problema pokazat će se na primjeru "colors" iz Manuala NeuroShell-a. Mješanjem boja crvene, žute i plave u raznim kombinacijama, dobivaju se boje zelena, narančasta i ljubičasta.Boje crvena, žuta i plava su podaci koji se unose kao konstatacije za razrješavanje problema, a zelena, narančasta i ljubičasta boja su rješenja tog problema.

Prvo je potrebno definirati karakteristike (Define the characteristic) :

crvena
žuta ----------> ulazni parametri problema
plava
---
zelena
narančasta -------> mogućearješenja problema
ljubičasta

Nakon definicije karakteristika upisuju se pojedinačna pravila (Enter characteristic for sample cases):

Sample case: 1
crvena ----------> je činjenica
žuta
plava ----------> je činjenica
---
zelena
narančasta
ljubičasta ----------> rezultat

Sample case: 2
crvena ----------> je činjenica
žuta ----------> je činjenica
plava
---
zelena
narančasta ----> rezultat
ljubičasta itd.

Slijedi utvrđivanje da li je neko pravilo dvostruko upisano. Ukoliko se ustanovi da postoje pravila koja su upisana dvostruko ili višestruko, potrebno ih je ukloniti. Sustav tretira sva pravila sa jednakom težinom. Iza toga odabiru se parametri učenja.Pretpostavimo da su ona odabrana korektno u ovisnosti problema koji se razmatra. O odabiru tih parametara detaljno upućuje također priručnik NeuroShell-a. Slijedi učenje neuralne mreže na temelju postavljenih pravila i parametara učenja.Nakon što je neuralna mreža "naučila" problem, može davati odgovore na određene upite. Mora se konstatirati da će ovo rješenje problema dati točan odgovor samo onda kada su u upitu postavljena dva pitanja :

- crvena, žuta ----------> narančasta
- crvena, plava ----------> ljubičasta
- žuta i plava ----------> zelena

Ako se postavi samo jedan upit na pr. crvena, rješenje je disperzirano i na zelenu, narančastu i ljubičastu boju, koje se i po osjećaju laika, ne može prihvatiti. Zato bi u tom konkretnom primjeru za rješenje problema trebale stajati u rješenju i ulazne boje. Na upit problema crveno, žuto i plavo također nema adekvatnog odgovora.

3. Prikaz jednog od rješenja expertnog sustava za klasifikaciju drvene građe

Kao što je gore navedeno, rješenje problema može se postići preko sustava znanja koncipiranih na pravilima ili neuronskim mrežama.Prvi pokušaj bio je sa neuronskom mrežom NeuroShell i to samo za oblu građu. U skladu sa važećim standardom za klasifikaciju oble građe

postoji devet neovisnih elemenata za klasifikaciju. Upis karakteristika za klasifikaciju neuronskom mrežom Neuro- Shell bio je slijedeći:

trulo drvo ili dubinske greške od insekata
nema grešaka od insekata
greške od insekata, samo površinske
razmak među grupama kvrga veći od 50 cm
razmak među grupama kvrga veći od 30, a manji od 50 cm
razmak među grupama kvrgi manji od 30 cm
itd.

I klasa
II klasa
III klasa
neupotrebljivo drvo

Pojedinačna pravila upisivana su na slijedeći način:

Sample case: 1	Sample case:2
trulo drvo ili dubinske greške od insekata	greške od insekata samo površinske
razmak među grupama kvrga veći od 50 cm	raymak među grupama kvrga manji od 30 cm
itd.	itd.
---	---
neupotrebljivo drvo	III klasa itd.

Analizirajući prvi set pravila, odgovor bi morao biti automatski neupotrebljivo drvo, jer obla građa ne zadovoljava kriterij truleži, odnosno insekata, za građevinsko drvo, iako možda zadovoljava sve ostale kriterije. Za generiranje pisanja ovih mogućih pravila sačinjen je poseban program u PASCAL-u, koji je dopunjen još manualnim upisom pravila. Ukupno se tim programom generiralo oko 1320 slučajeva mogućih pravila, time da je oko 30 pravila uneseno manuelnim zapisom. Zasigurno za klasifikaciju piljene građe, greda ili gredica te dasaka ili platica koja poznaje 13 parcijalnih rješenja klasifikacije (obla građa samo 9), da bi taj broj generiranih pravila bio daleko veći. Nadalje treba napomenuti da ne vrijede ista pravila za klasifikaciju oble građe i piljene građe, te greda ili gredica odnosno dasaka ili platica. Kada se počinje razmišljati o jednom zajedničkon sustavu za klasifikaciju oble i piljene građe, bio bi potreban pozamašan broj pravila, koje bi bilo potrebno unijeti, da sustav može meritorno donositi odluke.

To je bio jedan od razloga da se sačini expertni sistem koncipiran na pravilima, ali sa parcijalnim pravovaljanim odlukama. Prva parcijalna odluka je, o kojoj se građi radi. Tim izborom određena su i pravila koja treba primjeniti za klasifikaciju. Blok programa na temelju kojeg se to određuje sačinjen je na slijedeći način:

```
1520 LOCATE 1,10:PRINT A0$
1530 LOCATE 10,10:PRINT"Piljena građa :"
1540 LOCATE 12,10:PRINT"- Grede ili gredice    ... [1]"
1550 LOCATE 13,10:PRINT"- Daske ili platice    ... [2]"
1560 LOCATE 15,10:PRINT"Obla građa ..... [3]"
1570 LOCATE 22,10:PRINTC3$;C2$
1580 LOCATE 21,5:INPUT"===> Odabrati [1], [2] ili [3] ";GD$
1590 IF GD$="1" OR GD$="2" OR GD$="3" THEN 1620 ELSE 1600
1600 GOSUB 1020
1610 GOTO 1570
```

```
1620 IF GD$="1" THEN GD1$="Grede ili gredice"
1640 IF GD$="2" THEN GD1$="Daske ili platice"
1660 IF GD$="3" THEN GD1$="Obla građa"
1680 LOCATE 3,10:PRINT"Klasifikacija se provodi za ";GD1$
1690 GOSUB 840
1700 IF INKEY$="" THEN 1700
```

Izgled ekrana je slijedeći:

Klasifikacija drvene građe - JUS U.D0.001.

Piljena građa :
- Grede ili gredice ...[1]
- Daske ili platice ...[2]
Obla građa ...[3]

===> Odabrati [1], [2] ili [3]

Nakon odabira vrste građe [1], [2] ili [3] točno su određena pravila, koja vrijede za klasifikaciju odabrane građe.

U pogledu truleži, koja se mora konstatirati za svaku građu, pravilo je napisano na slijedeći način:

```
1710 REM ****************** GRESKA - Trulez ************************
1720 GOSUB 870
1730 LOCATE 10,10:PRINT B1$;B2$
1740 LOCATE 12,10:PRINT"-gradja nema truleži ... [1]"
1750 LOCATE 13,10:"PRINT"- gradja ima truleži ... [2]
1760 LOCATE 22,10:PRINT C1$;C2$
1770 LOCATE 21,5:INPUT"===> Odabrati [1] ili [2]";G$(N)
1780 IF G$(N)="1" OR G$(N)="2" THEN 1810 ELSE 1790
1790 GOSUB 950
1800 GOTO 1760
1810 IF G$(N)="1" THEN D$(N)="Građa nema truleži"
1820 IF G$(N)="1" THEN E$(N)=E5$
1830 IF G$(N)="1" THEN D(N)=1
1840 IF G$(N)="2" THEN D$(N)="Građa ima truleži"
1850 IF G$(N)="2" THEN E$(N)=E7$
1860 IF G$(N)="2" THEN D(N)=4
1870 LOCATE 5,10:PRINT D$(N);A3$;E$(N)
1880 GOSUB 840
1890 IF INKEY$="" THEN 1890
1900 IF D(N)=4 THEN 9850 ELSE 1910
```

Izgled ekrana u ovisnosti odabira predhodnog pravila je slijedeći:
Klasifikacija drvene piljene građe - JUS U.D0.001
Grede ili gredice
Greška - Trulež
- građa nema truleži ... [1]
građa ima truleži ... [2]
===> odabrati [1] ili [2]

Ako se odabere [1] sustav dopušta daljnji dijalog upisivanja konstatacija o građi, ali ukoliko se odabere [2] sustav ne dozvoljava daljnje upisivanje konstatacija kvalitete građe, već donosi odluku, da građa ne odgovara građevinskoj klasifikaciji. Ovdje je ugrađena isključivost, jer svi ostali elementi klasifikacije mogu biti zadovoljeni, pa i za III kvalitetni razred, ali jedno od parcijalnih rješenja nije zadovoljeno (da li prvo, drugo ili n-to nije bitno), te prema tom parcijalnom kriteriju, građa ne može odgovarati građevinskoj klasifikaciji. Takova isključivost pravila ugrađena je u svaki parcijalni kriterij za klasifikaciju.

Ukoliko svi parcijalni uvjeti za klasifikaciju zadovoljavaju uvjetima, da građa odgovara građevinskoj klasifikaciji građe, odluka se donosi na temelju najniže klase koja odgovara pojedinom parcijalnom rješenju.

1. uvjet klasifikacije ---> građa I, II ili III kvalitetni razred
2. uvjet klasifikacije ---> građa II ili III kvalitetni razred
3. uvjet klasifikacije ---> građa III kvalitetni razred
4. uvjet klasifikacije ---> građa I, II ili III kvalitetni razred

itd.

N. uvjet klasifikacije ---> građa II ili III kvalitetni razred.

(Pretpostavka: u niti jednom uvjetu nije konstatirano da "građa ne odgovara građevinskoj klasifikaciji")

Rješenje problema vezano je za isključivost rješenja 3. uvjeta klasifikacije, pa građa odgovara III kvalitetnom razredu.

Blok programa koji provodi konačnu odluku o klasifikaciji je slijedeći:

```
9850 REM ************Konacna klasifikacija drvene građe ****************
9860 CLS
9870 N1=N
9880 LOCATE 1,10:PRINT A1$
9890 LOCATE 2,25:PRINT GD1$
9900 LOCATE 3,1:PRINT"GREŠKA"
9910 LOCATE 3,35:PRINT"Odgovara gradj. klasifikaciji gradje"
9920 LOCATE 4,1:PRINT STRING$(80,45)
9930 FOR N=1 TO N1
9940 LOCATE 5+N,1:PRINT USING "##. ";N
9950 LOCATE 5+N,5:PRINT D$(N)
9960 LOCATE 5+N,30:PRINT A3$
9970 LOCATE 5+N,35:PRINT E3$(N)
9980 NEXT N
9990 FOR N=1 TO N1
10000 IF D(N)=1 THEN 10010 ELSE 10040
10010 NEXT N
10020 LOCATE 22,10:PRINT"> GRAĐA ODGOVARA I. KVALITETNOM RAZREDU <"
10030 GOTO 10150
10040 FOR N=1 TO N1
10050 IF D(N)=1 OR D(N)=2 THEN 10060 ELSE 10090
10060 NEXT N
10070 LOCATE 22,10:PRINT"> GRAĐA ODGOVARA II. KVALITETNOM RAYREDU <"
10080 GOTO 10150
10090 FOR N=1 TO N1
10100 IF D(N)=1 OR D(N)=2 OR D(N) OR D(N)=3 THEN 10110 ELSE 10140
10110 NEXT N
```

```
10120 LOCATE 22,10:PRINT"> GRAĐA ODGOVARA III. KVALITETNOM RAZREDU <"
10130 GOTO 10150
10140 LOCATE 22,4:PRINT"> UPOZORENJE!! - GRAĐA NE ODGOVARA GRAĐEVINSKOJ
KLASIFIKACIJI !!"
```

Rješavanje problema sa neuronskom mrežom je u ovom konkretnom slučaju daleko složenije u odnosu na sustav temeljen na pravilima. Ovaj expertni sustav pisan je istina u BASIC-u ,bazičnom jeziku za kompjutere. Određenim softwerskim zahvatima sigurno je moguće poboljšati i ovo riješenje i učiniti ga još efikasnijim.

4. Zaključak

Za iznalaženje adekvatnog expertnog sustava za klasifikaciju drvene građe, potrebno je primjeniti sustav koji će moći u najkraćem mogućem roku davati točne odgovore na temelju svih elemenata koji su potrebni da bi se ustanovio kvalitetni razred. Nedostatak ovog sustava je u tome što ne provjerava prostornu masu drva i vlažnost građe. Za određivanje vlažnosti danas postoje vlagomjeri (analogni i digitalni) koji su uključeni u sam proces proizvodnje, pa tako građa koja ne zadovoljava određene kriterije automatski se isključuje iz procesa proizvodnje. Preko prostorne mase moguće je također kvalitativno odrediti mehanička svojstva. Poznato je naime, da unutar jedne iste botaničke vrste drva, bolja mehanička svojstva ima ona građa, koja ima veću prostornu masu. Prostorna masa može se određivati aparaturom na bazi ultrazvuka.

Prema tome redosljed za klasifikaciju bio bi slijedeći:
- utvrđivanje postotka vlažnosti građe
- utvrđivanje prostorne mase
- utvrđivanje pravilnosti građe.

Ovdje je opisan ovaj potonji kriterij (pravilnost građe), gdje bi unos podataka u sistem za odlučivanje bio ostvaren preko grupe senzora, kako ne bi bio kočnica u tehnološkom procesu.

Utvrđivanje postotka vlažnosti i prostorne mase nije uključeno u razmatranje zato, jer za sada važeći standardi ne predviđaju ove elemente u klasifikaciji.

5. Literatura

Adeli H.: Expert System in Construction and Structural Engineering, Chapman&Hall, London, 1988.

Buchanan B.; Shortiffe E. H.: Rule-Based Expert System, Addison-Wesley Publ. Co, 1984.

*** DIN 4074 Guetebedingungen fuer Bauschnittholz (Nadelholz), Blatt 1

*** DIN 4074 Guetebedingungen fuer Baurundholz (Nadelholz), Blatt 2

*** NeuroShell, Manual, Ward System Group, Inc.,Frederic Mariland, 1990.

Schoneburh E.: Neuronale Netzwerke, Markt&Technik Verlag AG, Haar bei Muenchen, 1990.

*** Standard JUS U.D0.001. Materijali za izradu drvenih konstrukcija i tehnički uslovi, Beograd, 1984.

Žagar Z.: O osnovama ekspertnih sustava u graditeljstvu, VII kongres SDGKJ, Cavtat, T-91, 247-251

Žagar Z.: Expertni sustavi, Simpozij suvremene građevinske konstrukcije, Tema - seminar drvene konstrukcije danas, DGKH, Brijunski otoci, 1987., 411-482.

doc. dr. Bojan Majes in asistent Boštjan Pulko, dipl. gradb. inž.
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

STATIČNA ANALIZA IN DIMENZIONIRANJE PILOTNIH STEN S POMOČJO RAČUNALNIKA

Povzetek

Prikazan je postopek za statično analizo konzolnih, enkrat in večkrat sidranih pilotnih sten. Po postopku je bil pripravljen računalniški program, ki omogoča račun pilotnih sten v večslojnih temeljnih tleh. Program avtomatično izračuna potrebne minimalne globine vpetja, sidrne sile in notranje sile vzdolž konstrukcije za vse gradbene faze.

COMPUTER AIDED STATIC ANALYSYS AND DIMENSIONING OF SHEET PILING

Summary

The method for static analysis for free cantitilever and anchored sheet piling is presented. The computer program has been developed to enable such analysis in multi-layered soil systems. Program calculates the necessary depth of driving of the sheet piling to attain stabilty, tension forces in anchors and internal forces of the sheet piling in each stage of construction.

1.0. UVOD

Pilotne stene so pri varovanju gradbenih jam in pri ščitenju plazovitih pobočij nepogrešljive gradbene konstrukcije. Statična analiza konzolnih ali enkrat sidranih pilotnih sten v enoslojnih tleh je razmeroma preprosta. Analize večkrat sidranih pilotnih sten ali sten, izvedenih v večslojnih tleh, pa so bolj zahtevne in predvsem bolj zamudne. Na katedri smo razvili postopek za statično analizo konzolnih in enkrat ali večkrat sidranih pilotnih sten v večslojnih temeljnih tleh. Prikazali bomo bazične koncepte na katerih temeljijo računski modeli uporabljeni v programu, možnosti, ki jih nudi program in nekaj izkušenj z dosedanjo uporabo.

2.0. TEORETIČNE OSNOVE

2.1. Izbira računskega modela

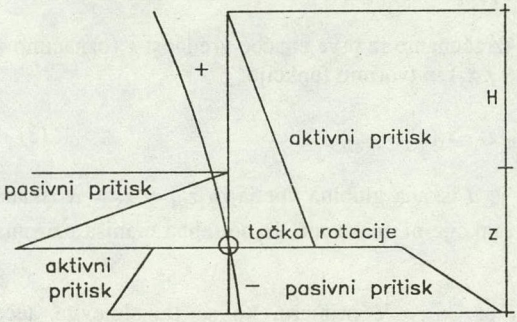
Ker so armiranobetonske pilotne stene razmeroma toge konstrukcije je mogoče že vnaprej predvideti kinematizem konstrukcije. To nam omogoča analizo konstrukcije oziroma določitev bočnih zemeljskih pritiskov osnovano na klasični metodi z zdrsnimi zemeljskimi pritiski. Metoda žal ni splošna, saj ni primerna za račun gibkih pilotnih sten zaradi prevelikega vpliva deformabilnosti konstrukcije na prerazporeditev zemeljskih pritiskov.

Več avtorjev (Clough in Tsui (1974), Murphy (1975), Peck (1974), Broms in Stille (1976)) je podalo priporočila za ustrezno porazdelitev zemeljskih pritiskov na sidrane pilotne stene, vendar se dana priporočila nanašajo na enoslojna temeljna tla. Pri slojevitih tleh pa se uporablja klasična razporeditev napetosti, ki bazira na znanih obrazcih Rankinea ali Coulomba ob upoštevanju ustreznih količnikov varnosti. Takšno razporeditev smo uporabili tudi pri razvoju programa.

Pri določitvi zemeljskih pritiskov in pri izbiri računskega modela so bile odločilne našteta priporočila, relativna togost armiranobetonskih pilotnih sten in možnost predvidevanja deformiranja konstrukcije.

2.2. Nesidrane - konzolne pilotne stene

Konzolne pilotne stene so konstrukcije pri katerih se ravnotežje zagotovi s potrebno globino pilotov. Pri izpeljavi ravnotežnih enačb smo predpostavili kinematizem konstrukcije, ki je razviden s slike 1.



Slika 1

S slike 1 je razvidna tudi splošna porazdelitev aktivnih in pasivnih zemeljskih pritiskov, ki jo upoštevamo pri izpeljavi ravnotežnih enačb za zagotovitev momentnega ravnotežja in ravnotežja sil v horizontalni smeri. Za zagotovitev ravnotežja morajo biti izpolnjeni naslednji ravnotežni pogoji:

- $\Sigma M^T = 0$
- $\Sigma P_H = 0$
- $\Sigma P_V = 0$

Momentna enačba je izpeljana na točko T (slika 2):

$$[2\,(b_1 - b_2)]\,x^3 + [3\,(a_1 - a_2)]\,x^2 + [2b_2]\,z^3 + [3a_2]\,z^2 - 6Re\,hp = 0 \qquad (1)$$

Oznake v enačbah (1) do (7):

- $a_1 = \sigma_{vz} K_{az} - \sigma_{vs} K_{ps} - 2c_{am}\sqrt{K_{az}} - 2c_{pm}\sqrt{K_{ps}} + \sigma_w$
- $a_2 = \sigma_{vz} K_{pz} - \sigma_{vs} K_{as} + 2c_{am}\sqrt{K_{as}} + 2c_{pm}\sqrt{K_{pz}} + \sigma_w$
- $b_1 = \gamma' (K_{az} - K_{ps})$
- $b_2 = \gamma' (K_{pz} - K_{as})$

- γ' ... prostorninska teža zemljine
- K_{as} ... koeficient aktivnega zemeljskega pritiska na strani izkopa
- K_{ps} ... koeficient pasivnega zemeljskega pritiska na strani izkopa
- K_{az} ... koeficient aktivnega zemeljskega pritiska na zaledni strani
- K_{pz} ... koeficient pasivnega zemeljskega pritiska na zaledni strani
- c_{am} ... mobilizirana vrednost kohezije (aktivno stanje)

- c_{pm} ... mobilizirana vrednost kohezije (pasivno stanje)
- σ_{vs} ... vertikalna napetost na vrhu sloja na strani izkopa
- σ_{vz} ... vertikalna napetost na vrhu sloja na zaledni strani
- σ_w ... hidrostatski tlak na vrhu sloja v zaledju

Če izpeljemo ravnotežno enačbo $\Sigma P_H = 0$, dobimo:

$$[(b_1 - b_2)]\,x^2 + [2\,(a_1 - a_2)]\,x + [b_2]\,z^2 + [2a_2]\,z + 2Re = 0 \qquad (2)$$

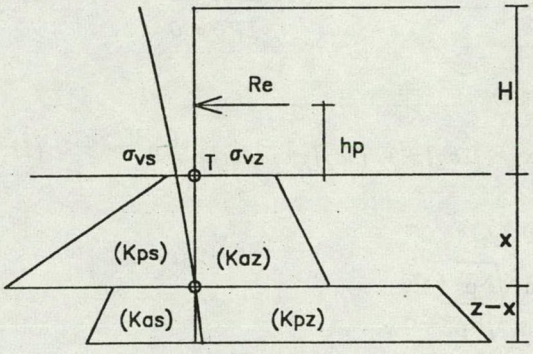
Računska shema in označbe ročic so razvidne s slike 2.

Vidimo, da imamo dve nelinearni enačbi in dve neznanki. To sta potrebna globina vpetja in globina točke rotacije. V programu se problem rešuje numerično. Za neko vrednost z izračunamo neodvisno iz prve in druge enačbe vrednosti x. Izkaže se, da obstaja samo ena vrednost globine z, pri kateri sta ti vrednosti enaki, v splošnem pa sta pri poljubni globini d vrednosti različni.

Za neko predpostavljeno globino pilota z izračunamo iz prve enačbe vrednost x (označimo z x_m) in nato iz druge enačbe vrednost x (označimo z x_s) in tvorimo funkcijo:

$$f(z) = x_m(z) - x_s(z) \qquad (3)$$

Če je vrednost funkcije enaka nič, potem je d iskana globina vpetja in $z_m = x_s = x$ iskana globina točke rotacije. V primeru, da vrednost funkcije ni enaka nič, je potrebna manjša oziroma večja globina d.



Slika 2

V primeru, ko so tla slojevita, teče račun po posameznih slojih. V prvi iteraciji se izračuna rezultanta zemeljskih in hidrostatskih napetosti do globine izkopa in prijemališče te rezultante. Nato preverimo, če leži potrebna globina vpetja v prvem sloju pod nivojem izkopa. To storimo tako, da izračunamo vrednost funkcije $f(z)$ za vrednosti $z=0$ in $z=z_s$ (globina sloja). Če funkcija na tem intervalu menja predznak, potem je potrebna globina vpetja v tem sloju in iščemo ničlo funkcije $f(z)$. V programu je uporabljena sekantna metoda, ki je numerično stabilna. V primeru, da funkcija $f(z)$ na intervalu ne menja predznaka, ponovimo postopek tako, da pri računu rezultante in njenega prijemališča upoštevamo še napetosti iz tega sloja. Postopek nadaljujemo, dokler ne najdemo rešitve.

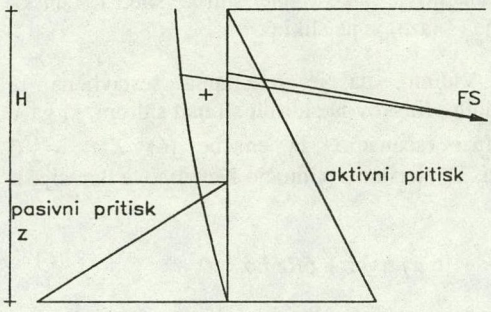
Razdalja z-x ponavadi ni velika, saj imamo na tem intervalu izredno velike pritiske in veliko ročico, vendar se lahko zgodi, če imamo tanke sloje, da pade noga pilota v spodnji sloj, točka rotacije pa v zgornjega. V samem izračunu ta možnost ni predvidena, kar je razvidno iz ravnotežnih enačb. Program nas o tem obvesti z izpisom opozorila v izhodno datoteko. V takšnem primeru je

najboljše, da pomaknemo mejo med slojema v korist sloja s slabšimi strižnimi karakteristikami. Pri takem izračunu smo namreč na varni strani.

2.3. Enkrat sidrane pilotne stene

Predvideni kinematizem konstrukcije in razporeditev zameljskih pritiskov, ki smo jih uporabili pri izpeljavi enačb, je prikazan na sliki 3.

Ravnotežno enačbo $\Sigma M^T = 0$ izpeljemo na točko T, kjer je pritrjeno sidro, in dobimo kubično enačbo (4) za neznano globino vpetja z. Momentno ravnotežno enačbo rešimo z uporabo Newtonove iteracijske metode.



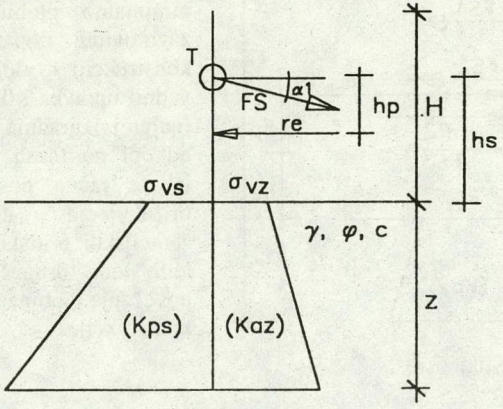
Slika 3

Če imamo več slojev, poteka račun tako, da v prvi iteraciji izračunamo rezultanto zalednih pritiskov do globine izkopa in njeno prijemališče. Sledi račun globine pilotne stene. Če je globina d večja od debeline sloja, potem v naslednji iteraciji upoštevamo še pritiske, ki nastopijo v tem sloju, izračunamo novo rezultanto in ročice ter ponovimo račun v naslednjem sloju. Postopek ponavljamo, dokler ne najdemo rešitve. Iz enačbe $\Sigma P_H = 0$ pa izrazimo še horizontalno komponento sidrne sile (5).

$$[2b_1]\, z^3 + [3\,(b_1\, hs + a_1)]\, z^2 + [6\, a_1\, hs]\, z + 6Re\, hp = 0 \qquad (4)$$

Računska shema in oznake ročic so razvidne iz slike 4.

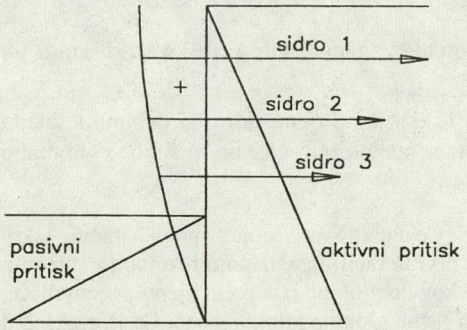
$$F_{SH} = \frac{b_1\, z^2}{2} + a_1\, z + Re \qquad (5)$$



Slika 4

2.4. Večkrat sidrane pilotne stene

Račun večkrat sidranih pilotnih sten je najbolj zahteven, saj gre za statično nedoločen sistem. Pri računu je bil predpostavljen kinematični model na sliki 5.



Slika 5

Celotna analiza zahteva račun za vsako gradbeno fazo posebej. Sidra se v računu upoštevajo kot toge podpore. Vrhunska sila v posameznem sidru nastopi ob instalaciji naslednjega nivoja sider in se v računu nato obravnava kot akcijska sila s konstantno jakostjo in ne kot reakcija. V vsaki gradbeni fazi torej izračunamo le jakost ene sidrne sile. Računska shema (3 faze) je na sliki 6.

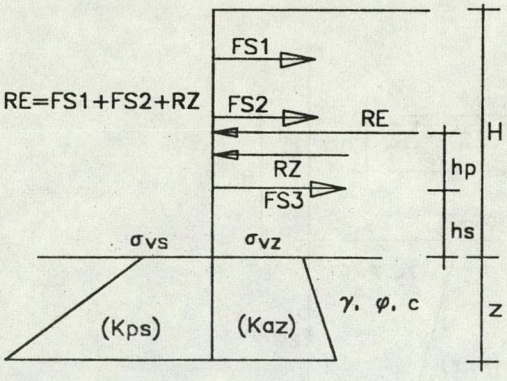
Vidimo, da je rezultanta sestavljena iz zalednih pritiskov in sidrnih sil nad sidrom, ki ga v tej fazi računamo. Iz enačbe (6) $\Sigma M^T = 0$ izračunamo potrebno globino vpetja v posamezni fazi. To storimo s pomočjo Newtonove iteracijske metode.

$$[2b_1]\, z^3 + [3\,(b_1\, hs + a_1)]\, z^2 + [6\, a_1\, hs]\, z + 6Re\, hp = 0 \qquad (6)$$

Iz enačbe $\Sigma P_H = 0$ izračunamo horizontalno komponento sidrne sile:

$$F_{s3_{HOR}} = \frac{b_1\, z^2}{2} + a_1\, z + Re \qquad (7)$$

Izračun poteka v podobno kot pri enkrat sidrani steni. V računu nismo upoštevali vpliva deformabilnosti sider in pilota, zato je potrebno to upoštevati pri dimenzioniranju sider. Z ustreznimi dolžinami sider je namreč mogoče zagotoviti takšno razmerje togosti, da so reakcije enake že izračunanim po opisani metodi.



Slika 6

Program izračuna v vsaki fazi minimalno globino pilota, ki je potrebna za zagotovitev ravnotežja in notranje sile v konstrukciji te dolžine. Ker imamo v naravi vedno opravka s končno maksimalno globino (najprej izgradnja pilotne stene, nato sledijo odkopi po fazah in postavitev sider), ki jo izkaže račun posamezne faze, lahko sicer pričakujemo določeno prerazporeditev zemeljskih pritiskov vzdolž konstrukcije in s tem tudi drugačne notranje sile, vendar povečanje globine pilota ne zmanjšuje varnosti konstrukcije.

3.0. RAČUNALNIŠKI PROGRAM "SAPS"

Računalniški program za statično analizo pilotnih sten "SAPS" je namenjen predvsem statični analizi armiranobetonskih pilotnih sten. Omogoča račun konzolnih, enkrat sidranih in večkrat sidranih pilotnih sten v večslojnih temeljnih tleh. Program za vsako gradbeno fazo izračuna minimalno potrebno globino vpetja, ki še zagotavlja varnost konstrukcije, sidrne sile, zemeljske pritiske in notranje sile vzdolž pilotne stene. Ker program, oziroma računski model ne upošteva vpliva deformabilnosti konstrukcije na prerazporeditev zemeljskih pritiskov, ni primeren za račun gibkih pilotnih sten (npr. jeklenih zagatnic). V programu prav tako ne moremo upoštevati vpliva prednapetja posameznega nivoja sider, kar nekoliko zmanjšuje uporabnost programa v primeru večkrat sidranih konstrukcij. Podani računski model zagotavlja varnost konstrukcije, vendar je bilo na podlagi izračunov in izkušenj ugotovljeno, da v primeru večkrat sidranih pilotnih sten potrebne globine vpetja v celoti zagotavljajo stabilnost konstrukcije, ne dosežemo pa najbolj ugodnega razporeda momentov vzdolž pilotne stene. Razlog je v nezmožnosti upoštevanja prednapetja sider, posledica pa so nekoliko večje globine vpetja in slabša izkoriščenost sider.

4.0. ZAKLJUČEK

Zaradi pogoste rabe pilotnih sten pri varovanju gradbenih jam in pri ščitenju plazovitih pobočij predstavlja program za statično analizo pilotnih sten koristen pripomoček pri projektiranju. Program omogoča hiter izračun takšne konstrukcije in istočasno nudi možnost presoje več variant izvedbe. Uporabnost programa je mogoče v prihodnosti še povečati in tako zagotoviti uporabniku celovito programsko orodje za izračun pilotnih sten.

LITERATURA

1. Alfred R. Jumikis, Mechanics of Soils, D. Van Nostrand Company, Inc., Canada, 1964.

2. Roy E. Hunt, Geotechnical engineering analysis and evaluation, McGraw - Hill Book Company, USA, 1982.

3. 8th Danube - European Conference on Soil - Mechanics and Foundation Engineering, Deutsche Gesselschaft fur Erd und Grundbau, Nurnberg, 1986.

4. Lujo šuklje, Mehanika tal, Univerza v Ljubljani, FAGG, Ljubljana, 1984.

doc.dr. Bojan Majes in asist.mag. Janko Logar
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

AVTOMATIZIRANO DOLOČANJE KRITIČNE KROŽNE DRSINE PRI STABILNOSTNIH ANALIZAH

Povzetek

Pri praktični uporabi postopkov za analize stabilnosti brežin odpade velik del časa na pripravo podatkov, med katere sodijo tudi podatki o potencialnih drsnih ploskvah v tleh. Numerični postopek, ki smo ga vgradili v program *BISHOP*, poišče na podlagi majhnega števila podanih potencialnih drsnih ploskev najneugodnejšo krožno drsino z minimalnim količnikom varnosti za podani geološki profil.

AUTOMATIC DETERMINATION OF THE CRITICAL CIRCULAR SLIP SURFACE IN STABILITY ANALYSES

Summary

In the practical use of proceedures for stability analyses of slopes one of the most important and time consuming step is determination of potential slip surfaces. Numerical proceedure incorporated in *BISHOP* program detects the critical slip surface with minimum factor of safety starting from a small number of user proposed initial slip surfaces.

1.0 UVOD

Stabilnostna presoja stabilnosti pobočij in zemljinskih objektov je ena najpogostejših nalog geotehnične prakse. Pred prodorom računalnikov v inženirsko prakso smo stabilnostne analize izvajali predvsem z zamudnimi grafičnimi postopki in zato preverili le manjše število potencialnih drsnih ploskev. Z računalniki so prišli med geotehnike tudi programi za stabilnostne analize, ki so zaradi svoje osnovne lastnosti - hitrosti - lahko preverili veliko število potencialnih drsin. Vendar je bila izbira potencialnih drsnih ploskev v obravnavanem zemljinskem telesu še vedno prepuščena uporabniku.

V program *BISHOP* (program za analizo stabilnosti pobočij in zemljinskih objektov s krožnimi potencialnimi drsnimi ploskvami po Bishopovi lamelni metodi) smo vgradili postopek, s katerim je avtomatizirano tudi iskanje kritične krožne drsine, to je tiste z minimalnim varnostnim količnikom. Krožna drsina je podana s tremi podatki: x in y koordinato središča krožnice (x_c, y_c) in z njenim radijem. Torej lahko varnostni količnik F zapišemo kot funkcijo teh treh parametrov $F = F(x_c, y_c, R)$. Z ustreznim iteracijskim numeričnim postopkom poiščemo minimum te funkcije.

2.0 STABILNOSTNA ANALIZA PO BISHOPU

Postopki za stabilnostne analize brežin temeljijo na reševanju ravnovesnih enačb ob upoštevanju ustreznih predpostavk in podatkov o geometriji in geološki zgradbi obravnavanega profila, o materialnih lastnostih zemljin ter o izbranih potencialnih drsnih ploskvah. Rezultat analize je varnostni količnik F. Bishopov postopek [1] za analizo stabilnosti brežin s potencialnimi krožnimi drsinami vodi do implicitne enačbe za račun količnika varnosti F:

$$\sum_{1}^{n}(W_i \sin\alpha_i - M_i^*) - \sum_{1}^{n} \frac{c_i b_i + \tan\varphi_i (W_i + P y_i - u_i b_i)}{F \cos\alpha_i + \tan\varphi_i \sin\alpha_i} = 0 \qquad (1)$$

kjer je:

$$M_i^* = \frac{1}{R} \sum_1^n (Py_i x_{Pi} + Px_i y_{Pi}) \tag{2}$$

Oznake v enačbah pomenijo:

n ..... število lamel, na katero razdelimo profil

W_i ..... teža lamele i

α_i ..... naklon drsine v lameli i

c_i, φ_i ..... kohezija in strižni kot vzdolž drsine v lameli i

u_i ..... porni tlak na drsini v lameli i

b_i ..... širina lamele i

R ..... radij krožne drsine

Py_i, Px_i ..... dodatni koncentrirani sili v x in y smeri

x_{Pi}, y_{Pi} ..... ročici sil Py_i in Px_i glede na središče krožne drsine

Enačbo (1) rešujemo z Newmarkovo iteracijo. Problemov s konvergenco ni. Teoretično ima enačba (1) n rešitev, fizikalno sprejemljiva rešitev pa je največja izmed njih (največji količnik varnosti F). Pomembna lastnost postopka za nadgradnjo z algoritmom za avtomatično iskanje kritične drsine je, da med potekom računa ni potrebno sodelovanje uporabnika z vnosom dodatnih predpostavk.

3.0 AVTOMATIČNO ISKANJE KRITIČNE KROŽNE DRSINE

Številni avtorji so reševali ta problem na izvirne načine. V razvoju metod je opazna težnja, da bi s čim bolj preprostim postopkom prišli do kar najučinkovitejše rešitve. Med vsemi poznanimi metodami smo izbrali tisto, ki sta jo predlagala Duncan in Celestino [2] ter kasneje izboljšala Li in White [3]. Količnik varnosti obravnavajo avtorji kot funkcijo parametrov drsine. Pri poligonalni drsini so to koordinate točk, ki določajo drsino, pri krožni drsini pa podatki, ki določajo krožnico: x_c in y_c koordinati središča drsine ter radij krožnice R. Varnostni količnik F lahko torej zapišemo simbolično kot funkcijo, ki je seveda ni mogoče izraziti analitično:

$$F = F(x_c, y_c, R) \tag{3}$$

Li in White sta povzela to osnovno idejo ter zamenjala razmeroma nezanesljiv in neučinkovit postopek določanja minimuma funkcije F ter pripadajočih parametrov, ki sta ga uporabljala Duncan in Celestino, z Zhoujevo metodo racionalne aproksimacije.

3.1 Opis postopka

Za funkcijo količnika varnosti F (enačba (3)) moramo poiskati minimum. Iteracijski postopek poteka na dveh nivojih: 1 - lokalna iteracija in 2 - globalna iteracija.

Lokalno iteracijo imenujemo postopek iskanja minimuma funkcije F glede na samo eno spremenljivko x_c, y_c ali R, ostali dve pa sta "zamrznjeni" na stari vrednosti. Iščemo torej minimum funkcij:

$$F = F(x_c, y_c = y_s, R = R_s) \tag{4}$$

ali $$F = F(x_c = x_s, y_c, R = R_s) \tag{5}$$

ali $$F = F(x_c = x_s, y_c = y_s, R) \tag{6}$$

Globalna iteracija pomeni ponavljanje lokalnih iteracij po primernem zaporedju parametrov x_c, y_c in R, dokler ni izpolnjen izbrani kriterij za zadovoljitev natančnosti.

3.2 Lokalna iteracija - določanje minimuma funkcije ene spremenljivke z metodo racionalne aproksimacije po Zhouju

Podano imamo unimodalno funkcijo $f(x)$ z minimumom f_{min} pri vrednosti parametra x_{min}. Unimodalna funkcija je definirana tako, da ima na obravnavanem intervalu samo en lokalni ekstrem. Zato moramo postopek razdeliti v dva dela: 1 - določitev intervala $[c, d]$, na katerem je funkcija $f(x)$ unimodalna in vsebuje točko x_{min}, in 2 - izračun točke x_{min} znotraj intervala $[c, d]$.

Prvi del naloge je preprost in ga določimo s širjenjem izbranega začetnega intervala okrog začetne vrednosti x_0 v vsako smer tako dolgo, da dobljeni interval zadošča navedenim kriterijem.

Za drugi del naloge pa uporabimo metodo Zhoujeve aproksimacije. Funkcijo $f(x)$ aproksimiramo z verižnim ulomkom oblike:

$$f(x) \approx a_1 + \cfrac{x - x_1}{a_2 + \cfrac{x - x_2}{a_3 + \cfrac{x - x_3}{a_4 + \ddots + \cfrac{x - x_{m-1}}{a_m}}}} \tag{7}$$

Ker je ulomek tvorjen po pravilnem zaporedju, ga lahko simbolično zapišemo tudi kot:

$$\begin{aligned} f(x) &\approx \Phi_1(x) \\ \Phi_i(x) &= a_i + \frac{x - x_i}{\Phi_{i+1}(x)} \\ \Phi_m(x) &= a_m \end{aligned} \tag{8}$$

Funkcijo $f(x)$ lahko tabeliramo za poljubno število točk m. Iz znanih točkovnih vrednosti funkcije $f(x)$ lahko določimo koeficiente a_i po enačbah iz preglednice I. Ob natančnejšem pogledu na to preglednico lahko vidimo, da povečanje stopnje aproksimacije z novo točko x_{m+1} ne vpliva na prvih m že izračunanih koeficientov a_i, ampak moramo določiti le dodatni koeficient a_{m+1}.

Ekstrem funkcije določa nična vrednost njenega odvoda. Zato moramo za aproksimacijo funkcije $\Phi_1(x) \approx f(x)$ izračunati še odvod:

$$\begin{aligned} f'(x) \approx \Phi_1'(x) &= \frac{\Phi_2(x) - (x - x_1)\,\Phi_2'(x)}{\Phi_2^2(x)} \\ \Phi_i'(x) &= \frac{\Phi_{i+1}(x) - (x - x_i)\,\Phi_{i+1}'(x)}{\Phi_{i+1}^2(x)} \\ \Phi_m' &= 0 \end{aligned} \tag{9}$$

Preglednica I

a_1	a_2	a_3	a_4
$a_1 = f_1$			
$a_{21} = f_2$	$a_2 = \dfrac{x_2 - x_1}{a_{21} - a_1}$		
$a_{31} = f_3$	$a_{32} = \dfrac{x_3 - x_1}{a_{31} - a_1}$	$a_3 = \dfrac{x_3 - x_2}{a_{32} - a_2}$	
$a_{41} = f_4$	$a_{42} = \dfrac{x_4 - x_1}{a_{41} - a_1}$	$a_{43} = \dfrac{x_4 - x_2}{a_{42} - a_2}$	$a_4 = \dfrac{x_4 - x_3}{a_{43} - a_3}$

Odvod v točki x_i je podan s skupino enačb (10), pri čemer opozarjamo na lastnost, da je $\Phi_1'(x_i)$ neodvisen od $\Phi_j'(x_i)$ za $j > i$.

$$f_i' \equiv f'(x_i) \approx \Phi_1'(x_i) = \frac{\Phi_2(x_i) - (x_i - x_1)\,\Phi_2'(x_i)}{\Phi_2^2(x_i)}$$

$$\Phi_j'(x_i) = \frac{\Phi_{j+1}(x_i) - (x_i - x_j)\,\Phi_{j+1}'(x_i)}{\Phi_{j+1}^2(x_i)} \qquad j < i \tag{10}$$

$$\Phi_i'(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{če je } i = m \\ \dfrac{1}{\Phi_{i+1}(x_i)} & \text{če je } i \neq m \end{cases}$$

Ker je $f(x)$ unimodalna funkcija, je njen odvod $f'(x)$ monotona funkcija in zanj obstaja inverzna funkcija. Če poznamo m točkovnih vrednosti odvoda $f'(x_i)$, lahko podobno kot funkcijo $f(x)$ aproksimiramo tudi inverzno funkcijo odvoda z verižnim ulomkom:

$$x \approx b_1 + \cfrac{f' - f_1'}{b_2 + \cfrac{f' - f_2'}{b_3 + \cfrac{f' - f_3'}{b_4 + \ddots + \cfrac{f' - f_{m-1}'}{b_m}}}} \tag{11}$$

Koeficiente b_i izračunamo s pomočjo preglednice I, če zamenjamo koeficiente a s koeficienti b, parameter x_i pa s parametrom f_i'.

Rešitev enačbe $f'(x) = 0$ predstavlja lego iskanega ekstrema x_{min}. Aproksimacijo rešitve dobimo, če pogoj $f' = 0$ upoštevamo v enačbi (11):

$$x_{min} \approx b_1 - \cfrac{f_1'}{b_2 - \cfrac{f_2'}{b_3 - \cfrac{f_3'}{b_4 - \ddots - \cfrac{f_{m-1}'}{b_m}}}} \tag{12}$$

Tako izračunana aproksimacija predstavlja novo točko x_{m+1}. Izračunamo pripadajočo vrednost funkcije f_{m+1}. Če rešitev zadovoljuje kriterij natančnosti izračuna, z iteriranjem končamo, sicer pa z novo točko povečamo verižni ulomek in ves račun ponovimo. Iteriranje končamo, ko izpolnimo enega od izbranih kriterijev:

- sprememba x v dveh zaporednih korakih je dovolj majhna,
- sprememba f v dveh zaporednih korakih je dovolj majhna ali
- vrednost odvoda f' je dovolj blizu vrednosti 0.

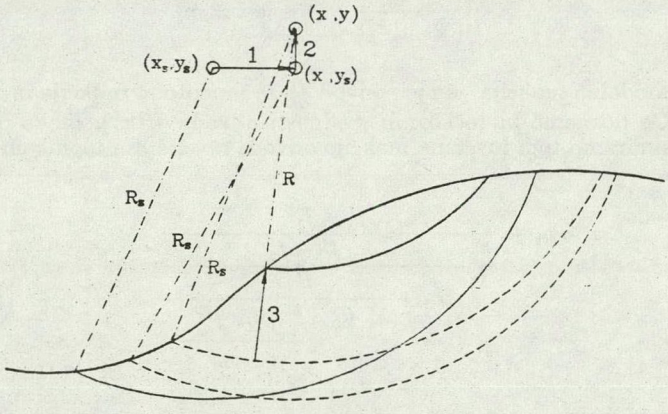
Račun začnemo s štirimi točkami funkcije ($m = 4$). Tri začetne točkovne vrednosti funkcije $f(x)$ že poznamo, saj smo jih izračunali, ko smo iskali interval $[c, d]$. Četrto točko izračunamo s kvadratno interpolacijo:

$$x_4 = \frac{1}{2} \frac{(x_2^2 - x_3^2)g_1 + (x_3^2 - x_1^2)g_2 + (x_1^2 - x_2^2)g_3}{(x_2 - x_3)g_1 + (x_3 - x_1)g_2 + (x_1 - x_2)g_3} \tag{13}$$

Opisani postopek vodi k izračunu minimuma funkcije količnika varnosti $F(z_i)$, pri čemer je z_i ena od spremenljivk x_c, y_c ali R.

3.3 Globalna iteracija

Rekli smo že, da pomeni globalna iteracija ponavljanje lokalnih iteracij po primernem zaporedju parametrov x_c, y_c in R. Izkaže se, da je za najboljšo konvergenco rezultatov najbolj ugodno zaporedje lokalnih iteracij prav zapisano zaporedje, torej lokalna iteracija po x_c ob konstantnih vrednostih y_s in R_s, zatem po y_c ob konstantnih vrednostih x_s in R_s ter končno po R ob konstantnih vrednostih x_s in y_s (Slika 1).



Slika 1

Ciklus lokalnih iteracij ponavljamo, dokler niso izpolnjeni kriteriji:

- razdalja med središčema dveh zaporednih drsin je dovolj majhna,
- sprememba radija R dveh zaporednih drsin je dovolj majhna in
- spremembna količnika varnosti F za dve zaporedni drsini je dovolj majhna.

Pri testiranju programa se je pokazalo, da se v bližini lokalnega minimuma funkcije F vrednost količnika varnosti F zelo malo spreminja, medtem ko sta lahko spremembi radija in središča dveh zaporednih drsin še razmeroma veliki. Z drugimi besedami: dolina funkcije F je plitva in široka. To spoznanje je potrebno upoštevati pri izbiri željene natančnosti računa.

Pogosto naletimo na primere, ko poznamo odlomni ali narivni rob zemeljskega plazu ali pa geološka sestava tal pogojuje drsine, ki se dotikajo enega od slojev zemljine. Tedaj parametri x_c, y_c in R niso medsebojno neodvisni. Če poznamo odlomni ali narivni rob drsine, morajo vse računske drsine potekati skozi poznano točko. Radij takih drsin je zato odvisen od koordinat znane točke in koordinat središča drsine:

$$R = \sqrt{(x_T - x_c)^2 + (y_T - y_c)^2} \tag{14}$$

Druga možnost je, da poznamo skupno tangento vseh možnih drsin v temeljnih tleh. Če je tangenta podana s točkama (x_1, y_1) in (x_2, y_2), je njena enačba:

$$y = k\,x + n \tag{15}$$

pri čemer sta parametra k in n enaka:

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{16}$$

$$n = y_1 - k\,x_1 \tag{17}$$

Radij vseh drsin, ki tangirajo izbrano premico pa je:

$$R = \sqrt{\frac{(y_c - kx_c - n)^2}{1 + k^2}} \tag{18}$$

V takih primerih v globalni iteraciji odpade lokalna iteracija po radiju drsine R.

4.0 PRIMERI

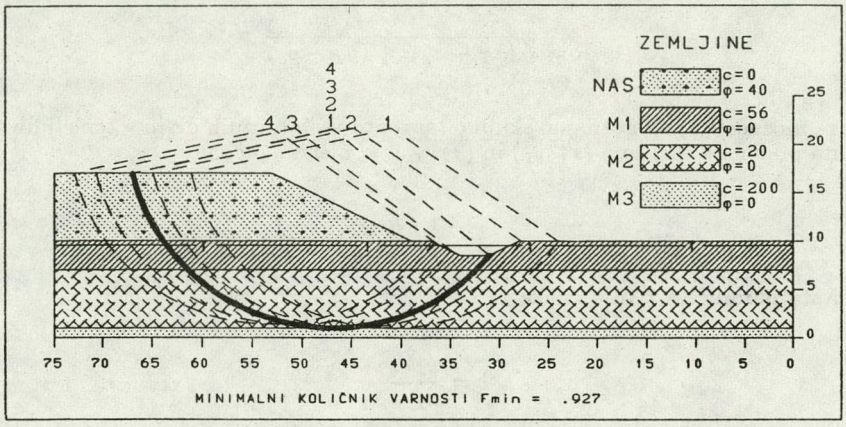
Uporaba izdelanega programa je pokazala, da je uporaba postopkov, ki avtomatizirajo analizo stabilnosti brežin, upravičena. Postopek namreč iz vsake podane drsine vselej konvergira k drsini z manjšim količnikom varnosti. Računi seveda trajajo dlje, saj se lahko zgodi, da program preveri preko 500 drsin, predno iz ene podane drsine najde kritično. Število drsin, ki jih program preveri, je odvisno zlasti od zahtevane natančnosti računa. V splošnem ocenjujemo, da je skupni čas, potreben za analizo enega profila, manjši na račun manjšega števila podanih drsin. Na računalnikih PC 286 je bil potreben računski čas za zahtevnejše primere največ 10 minut. Uporabo programa priporočamo samo na hitrejših računalnikih.

Precej hitreje pridemo do rezultata, če predpostavimo, da potekajo drsine skozi znano točko ali tangirajo predpostavljeno premico.

V največje težave pride program v primeru, da je kritična drsina zelo plitva in vzporedna pobočnici (brežine iz nekoherentnih zemljin). Tedaj se zgodi, da parametri drsine x_c, y_c in R predstavljajo tako krožnico, ki ne seče pobočja. Za take primere smo v program vgradili postopek, ki običajno reši zadrego, lahko pa se zgodi, da do rezultata ne pridemo. Vendar je tudi tak izid računa koristen, saj uporabnika opozori na lokalno nestabilnost pobočja.

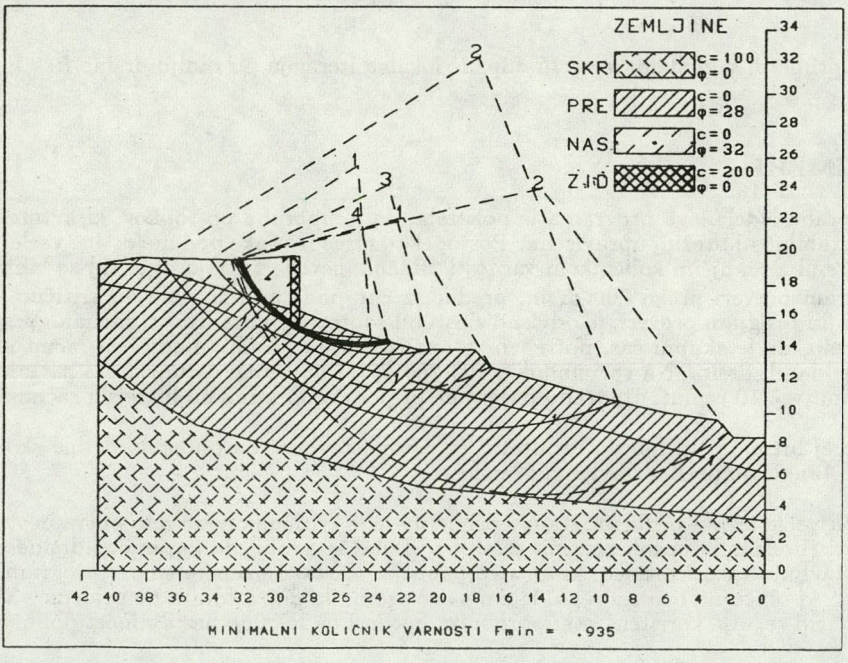
Problemi, ki so lažje rešljivi in jih dosedanje analize, pri katerih smo potencialne drsine izbirali sami, niso poznale, so:

- Drsine sečejo umetno ustvarjen levi ali desni (vertikalni) rob profila. Ukrepamo tako, da podaljšamo profil.
- Drsine potekajo delno pod koto dna najnižjega podanega sloja. V tem primeru smo verjetno zavestno izpustili sloj boljših karakteristik, na katerem ležijo zgornji, slabo nosilni sloji. Problema se znebimo, če ta sloj vnesemo v profil.



Slika 2

Na slikah 2 in 3 sta prikazana dva izračunana primera. Prvi prikazuje analizo nasipa na horizontalno slojevitih tleh. Kljub temu, da smo podali različne začetne drsine (črtkana črta), postopek vodi vedno k isti kritični drsini. Izmed podanih drsin je bil izračunan minimalni količnik varnosti 1.022 (2. drsina), izračunani minimum pa znaša 0.927. Poudarjamo, da ni uporabljen pogoj, da potekajo vse drsine skozi isto točko.



Slika 3

Drugi primer je bolj zahteven. Analizirali smo pobočje okrog podpornega zidu. Štiri podane začetne drsine vodijo k štirim različnim "kritičnim" drsinam. Vsaka od njih predstavlja lokalni minimum funkcije količnika varnosti (enačba (3)). Drsina z najmanjšim količnikom varnosti predstavlja dejansko kritično drsino. Drsini 3 in 4 sta bili že podani v neposredni bližini lokalnega minimuma in se izračunani drsini 3 in 4 od podanih praktično ne razlikujeta. Izmed podanih drsin je bil izračunan minimalni količnik varnosti 0.951, izračunani minimum pa znaša 0.935; obe vrednosti veljata za 4. drsino.

5.0 ZAKLJUČEK

Uporaba pripravljenega programa je pokazala, da v primerih preproste geološke zgradbe obravnavanega profila in preproste pobočnice vsaka podana začetna drsina konvergira k isti kritični drsini. V večini realnih primerov, ki ne sodijo v zgornjo skupino, pa ima funkcija varnostnega količnika več lokalnih minimumov. Zato moramo za analizo podati nekaj (3 do 5) predpostavljenih začetnih drsin, ki konvergirajo k različnim lokalnim minimumom.

Rezultat analize s takim postopkom je bolj zanesljiva napoved količnika varnosti za obravnavan profil. Za uporabnika ne predstavlja nobenega dodatnega dela glede na postopke, ki so bili do sedaj v uporabi, zmanjša le potrebno število predpostavljenih drsin, ki jih mora uporabnik sam podati, in poveča zanesljivost rezultata.

Kljub napredku, ki ga predstavlja izdelan program, postopek še ni zelo učinkovit. Izkušen uporabnik lahko z dobro izbranimi začetnimi drsinami precej pripomore k zmanjšanju računskega časa.

LITERATURA

1 A. W. Bishop, The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, Gèotechnique, Vol. 5, 7-17, 1955.

2 T. B. Celestino, J. M. Duncan, Simplified search for non-circular slip surface, Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Vol. 3, 391-394, 1981.

3 K. S. Li, W. White, Rapid evaluation of the critical slip surface in slope stability problems, Int. J. Num. and Anal. Meth. in Geom., Vol. 11, 449-473, 1987.

4 B. Majes, Program Bishop, FAGG, Univerza v Ljubljani, 1984.

asist. Boštjan Pulko, dig., doc.dr. Bojan Majes in asist. mag. Janko Logar
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

NUMERIČNI RAČUN VELIKOSTI IN RAZPOREDITVE ZEMELJSKIH PRITISKOV V VEČSLOJNIH TLEH

Povzetek

Prikazan je numeričen postopek za račun velikosti in razporeditve aktivnih oziroma pasivnih zemeljskih pritiskov v večslojnih tleh. Po postopku je bil pripravljen računalniški program "ZEMPRI", ki omogoča analizo poljubnega realnega profila. Poleg rezultantne vrednosti zemeljskega pritiska in lege kritične porušnice izračuna program tudi potek zemeljskih pritiskov z globino.

NUMERICAL DETERMINATION OF MAGNITUDE AND DISTRIBUTION OF THE LATERAL EARTH PRESSURES IN MULTI-LAYERED SOIL SYSTEMS

Summary

A numerical method for determination of the magnitude and distribution of the active or passive earth pressures in multi-layered soil systems is presented. Based on this method, the computer program "ZEMPRI" has been developed to enable such analysis. The program calculates the magnitude of the total lateral earth pressure, position of the critical rupture surface and soil stress distribution diagram.

1.0. UVOD

Določitev zemeljskih pritiskov na različne vrste podpornih konstrukcij je zahtevna naloga. Velikost zemeljskih pritiskov je odvisna predvsem od geofizikalnih lastnosti zemljin, stratigrafije zaledja in vrste podporne konstrukcije. Natančnejšo analizo vpliva deformabilnosti podporne konstrukcije in lastnosti zemljin na napetostna in deformacijska stanja sicer omogočajo računske analize po metodi končnih elementov, vendar so za določitev materialnih karakteristik zemljin potrebne drage in dolgotrajne laboratorijske preiskave. V geotehniški praksi so v glavnem vse analize osnovane na metodah, ki upoštevajo zdrsne zemeljske pritiske, vendar je račun zemeljskih pritiskov preprost samo v primeru enoslojnega zaledja podporne konstrukcije. V primeru, ko je zaledje sestavljeno iz več slojev različnih karakteristik, vsebuje različen vodostaj in je pobočnica neka poljubna poligonalna linija, je izračun zemeljskih pritiskov na osnovi znanih enačb Rankinea in Coulomba nenatančen, lahko pa tudi povsem napačen.

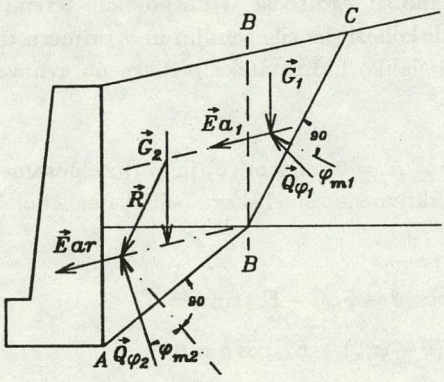
V nadaljevanju bo podan postopek, ki omogoča račun kritične vrednosti zemeljskega pritiska, lege kritične porušnice, izračun delnih rezultant zemeljskih pritiskov za posamezne sloje ter izračun poteka zemeljskih pritiskov z globino za poljuben večslojni profil in ob upoštevanju poljubnega nivoja podtalnice.

2.0 TEORETIČNE OSNOVE ANALIZE ZEMELJSKIH PRITISKOV PO METODI EKSTREMA Z RAVNIMI POTENCIALNIMI PORUŠNICAMI

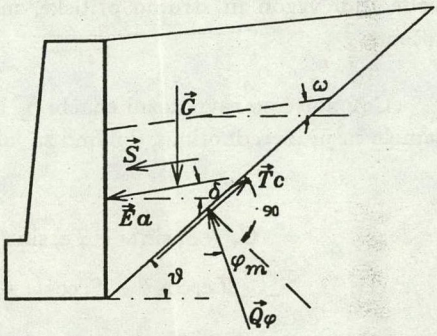
2.1. Aktivni zemeljski pritiski

Analiza zemeljskih pritiskov po metodi ekstrema z ravnimi potencialnimi porušnicami je v bistvu nekakšna kombinacija lamelne in rezultantne metode.

Primer takšne analize na nehomogenem dvoslojnem zaledju vidimo na sliki 1.



Slika 1



Slika 2

Za razumevanje metode bomo obravnavali primer določitve aktivnega zemeljskega pritiska dvoslojnega zaledja na togi podporni zid po sliki 1. Obe zemljini sta nekoherentni ($c = 0$).

Določiti moramo takšno poligonalno porušnico (A-B-C), da bo velikost rezultante aktivnih zemeljskih pritiskov $\vec{E}_{ar}$ maksimalna. Če napišemo ravnotežno enačbo, dobimo:

$$\vec{E}_{ar} = \vec{Q}_{\varphi 2} + \vec{R} \tag{1}$$

V enačbi (1) smo upoštevali naslednje zveze:

$$\vec{E}_{a1} = \vec{G}_1 + \vec{Q}_{\varphi 1} \tag{2}$$

$$\vec{R} = \vec{G}_2 + \vec{E}_{a1} \tag{3}$$

Če upoštevamo še relacijo (4),

$$\vec{E}_{a2} = \vec{G}_2 + \vec{Q}_{\varphi 2} \tag{4}$$

lahko enačbo (1) napišemo v obliki:

$$\vec{E}_{ar} = \vec{E}_{a1} + \vec{E}_{a2} \tag{5}$$

Iz enačbe (5) je razvidno, da morata imeti rezultantni sili $\vec{E}_{a1}$ in $\vec{E}_{a2}$ maksimalno jakost. Zaradi statične nedoločenosti problema moramo v splošnem privzeti vrednost prijemališča in smeri delovanja rezultante $\vec{E}_{ar}$ oziroma sil $\vec{E}_{a1}$ in $\vec{E}_{a2}$. Na velikost sil vpliva le privzeta smer oziroma naklon teh sil, kar je razvidno iz slike 2 in iz enačb (6), (7) in (8), ne pa tudi privzeto prijemališče.

Problem rešujemo tako, da najprej poiščemo takšno potencialno poručnico A - B, pri kateri bo imela sila $\vec{E}_{a2}$ maksimalno jakost. Ko imamo znano lego točke B na kontaktu obeh slojev, nadaljujemo z istim postopkom in poiščemo še lego točke C na površini terena. V splošnem primeru moramo seveda upoštevati tudi kohezijske sile zemljin in v primeru talne vode tudi vzgon in strujno pritiske, medtem ko lahko hidrostatske pritiske obravnavamo ločeno.

Če napišemo ravnotežni enačbi $\sum V = 0$ in $\sum H = 0$ (enačbi (6) in (7)) za posamezno lamelo in ju izvrednotimo, dobimo za jakost sile aktivnega zemeljskega pritiska enačbo:

$$G_i + S_i \sin\omega - Tc_i \sin\vartheta - Q_{\varphi_m} \cos(\vartheta - \varphi_m) - E_{ai} \sin\delta = 0 \tag{6}$$

$$Tc_i \cos\vartheta - S_i \cos\omega - Q_{\varphi_m} \sin(\vartheta - \varphi_m) + E_{ai} \cos\delta = 0 \tag{7}$$

$$E_{ai} = \frac{G_i}{\sin\delta + \dfrac{\cos\vartheta}{\tan(\vartheta - \varphi_m)}} + \frac{S_i(\sin\omega + \dfrac{\cos\omega}{\tan(\vartheta - \varphi)})}{\sin\delta + \dfrac{\cos\delta}{\tan(\vartheta - \varphi)}} + \frac{Tc_i(\sin\vartheta + \dfrac{\cos\vartheta}{\tan(\vartheta - \varphi)})}{\sin\delta + \dfrac{\cos\delta}{\tan(\vartheta - \varphi)}} \tag{8}$$

Pomen oznak v enačbah (6), (7)in (8) je razviden iz slike 2. Vidimo, da je velikost sile zemeljskega pritiska neposredno odvisna od izbranega naklona sile zemeljskega pritiska δ in od naklona potencialne porušnice ϑ. Ves problem se tako prevede na problem iskanja maksimuma funkcije $E_{ai} = f(\vartheta)$ (enačba (6)). Dane funkcije v splošnem ne moremo izraziti eksplicitno, ker je velikost sil G_i, S_i in Tc_i odvisna od geometrije zaledja oziroma slojev in od naklona potencialne porušnice ϑ. Maksimum funkcije moramo določiti numerično. Rezultat

metode je maksimalna jakost E_{aimax} in vrednost kota ϑ, ki določa lego kritične porušnice v i-ti lameli oziroma v i-tem sloju. Presečišče kritične porušnice z naslednjim slojem (n.pr. točka B na sliki 1) določa mejnico naslednje lamele.

V primeru nehomogenega večslojnega zaledja ponavljamo omenjeni postopek skozi vse sloje. Tako dobimo kritično poligonalno porušnico, maksimalne sile aktivnega zemeljskega pritiska E_{aimax} in velikost rezultante $E_{ar} = \sum E_{ai}$.

2.2. Pasivni zemeljski pritiski

Pri določitvi rezultante pasivnih zemeljskih pritiskov gre za podoben problem kot pri določitvi rezultante aktivnih pritiskov. Enačbe (1-5) so analogne, v nadaljevanju pa bomo podali enačbe za določitev velikosti sil $\vec{E}_{pi}$. Bistvena razlika v postopku je, da v primeru določitve rezultant pasivnih zemeljskih pritiskov iščemo minimalno jakost rezultante E_{pr}. Položaj delujočih sil je razviden iz slike 3. Ravnotežni enačbi za posamezno lamelo $\sum V = 0$ in $\sum H = 0$ imata naslednjo obliko:

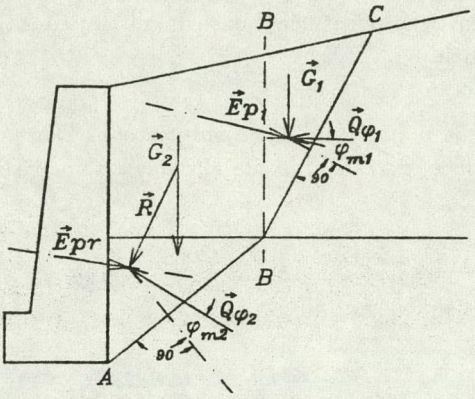
$$G_i - S_i \sin\omega + Tc_i \sin\vartheta - Q_{\varphi_m} \cos(\vartheta + \varphi_m) + E_{pi} \sin\delta = 0 \tag{9}$$

$$-Tc_i \cos\vartheta + S_i \cos\omega - Q_{\varphi_m} \sin(\vartheta + \varphi_m) + E_{pi} \cos\delta = 0 \tag{10}$$

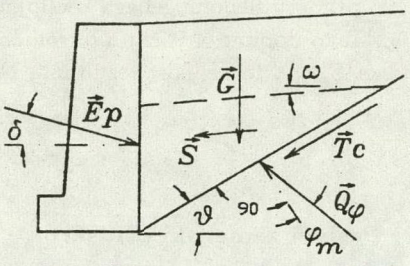
Ob upoštevanju zgornjih dveh enačb dobimo izraz za velikost rezultante pasivnih zemeljskih pritiskov:

$$E_{pi} = \frac{G_i}{\sin\delta - \frac{\cos\delta}{\tan(\vartheta+\varphi_m)}} - \frac{S_i(\sin\omega + \frac{\cos\omega}{\tan(\vartheta+\varphi)})}{\sin\delta - \frac{\cos\delta}{\tan(\vartheta+\varphi)}} - \frac{Tc_i(\sin\vartheta + \frac{\cos\vartheta}{\tan(\vartheta+\varphi)})}{\sin\delta - \frac{\cos\delta}{\tan(\vartheta+\varphi)}} \tag{11}$$

Pomen oznak in pozitivne smeri kotov v enačbah (9), (10) in (11) so razvidne iz slike 4.



Slika 3



Slika 4

Problem je matematično podoben primeru določitve maksimalne jakosti rezultante aktivnih zemeljskih pritiskov, le da sedaj iščemo mimimum funkcije $E_{pi} = f(\vartheta)$.

2.3. Porazdelitev zemeljskih pritiskov

Kot smo že omenili, smo v analizi privzeli smer oziroma naklon medlamelnih sil in rezultant, kar se odraža v velikosti rezultante, medtem ko ostaja vprašanje prijemališča rezultante odprto. Prijemališče rezultante, in s tem tudi razporeditev zemeljskih pritiskov, je odvisna predvsem od pomikov podporne konstrukcije.

V primerih, ko se toga podporna konstrukcija zasuče navzven okrog podnožnega vrtišča (aktivni pritiski), so za nastanek porušnic z izhodišči vzdolž zalednice podani isti kinematski pogoji kot za porušnico, ki izhaja iz vznožja konstrukcije. Analogno lahko ugotovimo, da v primeru pasivnega napetostnega stanja dobimo pri zasuku toge podporne konstrukcije okoli neke podnožne točke proti zaledju podoben zaključek: vsaka točka zalednice je lahko izhodišče porušnice ob enakih kinematskih pogojih, kot veljajo za porušnico, ki izhaja iz vznožja podporne konstrukcije.

Na podlagi podobnosti drsnih klinov, ki jih omejujejo porušnice in podobnosti ravnotežnih poligonov sil, lahko sklepamo, da v primeru homogenega zaledja dobimo trikotno obliko diagramov napetosti. V primeru nehomegenega večslojnega zaledja pa lahko na podlagi zgornjih ugotovitev določimo velikost sil, ki delujejo v posameznem sloju.

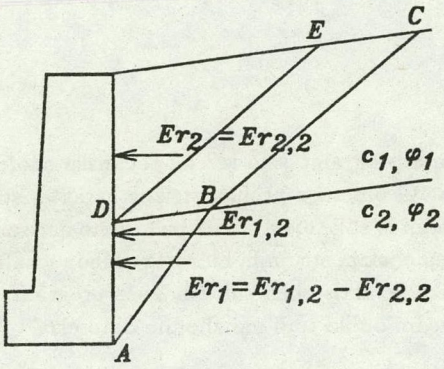
Takšen primer prikazuje slika 5. Najprej določimo kritično porušnico A-B-C in velikost rezultante $E_{r_{1,2}}$, nato določimo kritično porušnico zgornjega sloja D-E in pripadajočo rezultanto $E_{r_{2,2}}$. Ker so v obeh primerih kinematični pogoji enaki, sledi, da v zgornjem sloju deluje sila $E_{r_2} = E_{r_{2,2}}$, v spodnjem sloju pa razlika obeh rezultant $E_{r_1} = E_{r_{1,2}} - E_{r_{2,2}}$. Za poljubno število slojev torej dobimo enačbo:

$$E_{r_i} = E_{r_{i,n}} - E_{r_{i+1,n}} \tag{12}$$

pri čemer je:

i ... številka sloja

n ... število vseh slojev



Slika 5

Izračunane sile, ki predstavljajo rezultante posameznih slojev, razporedimo linearno v sorazmerju z vertikalnimi napetostmi, ki delujejo v sloju, v skladu z znanimi teoretičnimi rešitvami, ki jih uporabljamo pri določanju zemeljskih pritiskov v primeru nehomogenega večslojnega zaledja, sestavljenega iz vzporednih slojev in brez prisotnosti talne vode (enačbi (13) oz. (14)).

$$p_a = \sigma_v K_a - 2c_m \sqrt{K_a} \tag{13}$$

$$p_p = \sigma_v K_p + 2c_m \sqrt{K_p} \tag{14}$$

Če naraščajo zemeljski pritiski v posameznem sloju linearno, lahko zapišemo enačbo:

$$E_{r_i} = d_i \frac{p_{z_{zg}} + p_{z_{sp}}}{2} \tag{15}$$

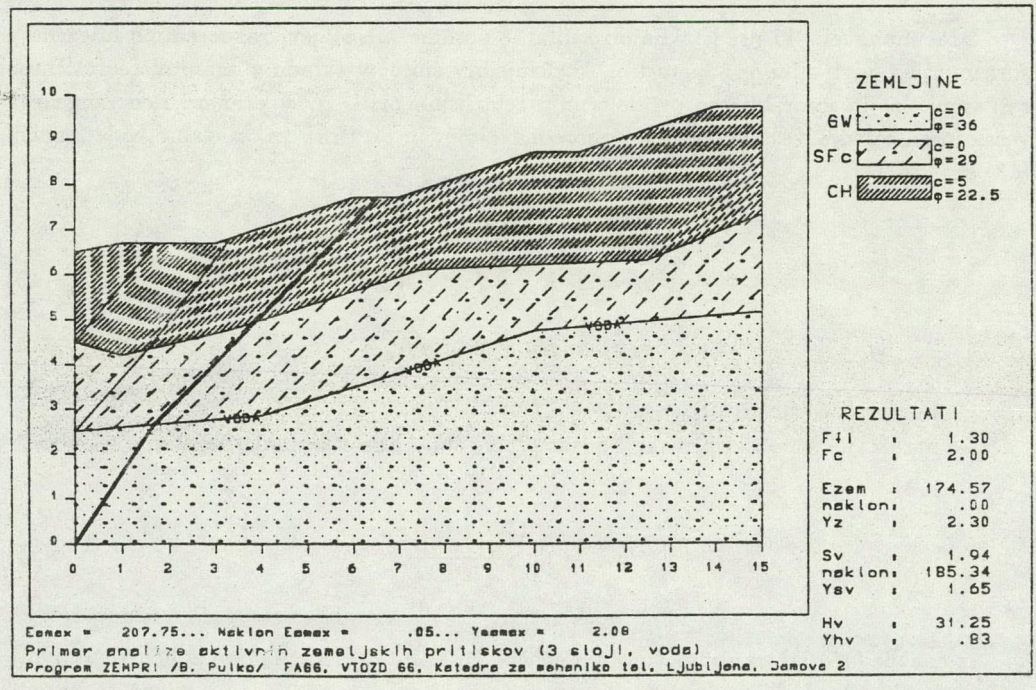
Iz enačbe (15) lahko ob upoštevanju enačbe (14) ali (13) izračunamo količnike aktivnih (ali pasivnih) zemeljskih pritiskov oziroma zemeljske pritiske, če imamo znane rezultante zemeljskih pritiskov v posameznih slojih.

3.0. RAČUNALNIŠKI PROGRAM "ZEMPRI"

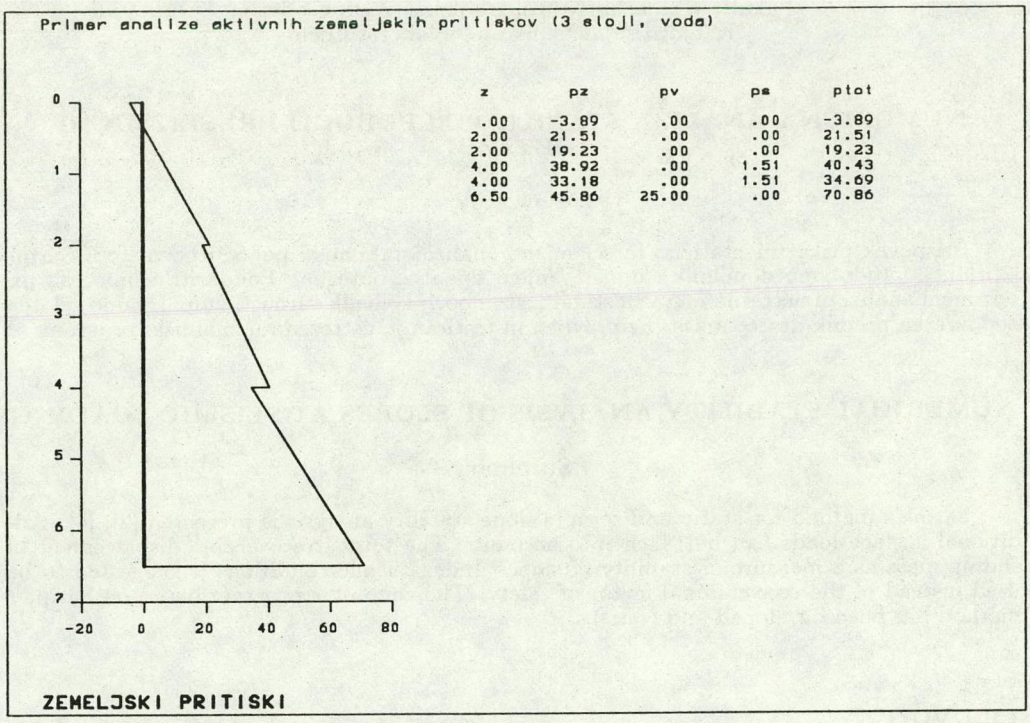
Za analizo zemeljskih pritiskov smo po navedenem postopku razvili računalniški program "ZEMPRI". Program omogoča hitro in natančno analizo zemeljskih pritiskov poljubnega realnega zaledja. Podati je potrebno prostorninsko težo, strižne karakteristike in geometrijo posameznih slojev, nivo talne vode, količnike varnosti in privzeti naklon rezultante. Program izračuna jakost in prijemališče rezultante in delnih rezultant, razporeditev zemeljskih pritiskov vzdolž zaledja podporne konstrukcije in lego kritične porušnice. Program omogoča tudi grafično predstavitev podatkov in rezultatov.

3.1. Računski primer

Za ilustracijo delovanja programa smo izvedli računsko analizo aktivnih zemeljskih pritiskov troslojnega zaledja. Geometrija profila, strižne karakteristike, lege kritičnih porušnic in glavni rezultati so razvidni iz slike 6, na sliki 7 pa vidimo narisane totalne pritiske in tabelo z vrednostmi efektivnih zemeljskih, strujnih, hidrostatskih in totalnih pritiskov, ki delujejo na zaledje podporne konstrukcije. Izris obeh slik omogoča program, poleg tega pa vse podatke in rezultate izpiše v pregledni obliki tudi na izhodno datoteko.



Slika 6



Slika 7

4.0. ZAKLJUČEK

Postopek numerične analize velikosti in razporeditve zemeljskih pritiskov, ki smo ga uporabili v računalniškem programu "ZEMPRI", omogoča izračun aktivnih ali pasivnih zemeljskih pritiskov v poljubnem realnem zaledju podporne konstrukcije. Prednost postopka je v tem, da omogoča natančnejše rezultate kot izračun na osnovi znanih enačb Coulomba, poleg tega pa je rezultat tudi lega kritične poligonalne porušnice, kar je zlasti pomembno v primeru sidranja podporne konstrukcije. Program je koristen in učinkovit pripomoček v procesu projektiranja podpornih zidov, armiranobetonskih pilotnih sten in drugih relativno togih oblik podpornih konstrukcij.

LITERATURA

1. Alfred R. Jumikis, Mechanics of Soils, D. Van Nostrand Company, Inc., Canada, 1964.
2. Lujo Šulje, Mehanika tal, Univerza v Ljubljani, FAGG, Ljubljana, 1984.
3. William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, Wiliam T. Vetterling, Numerical Recipes, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

asist.mag. Janko Logar in doc.dr. Bojan Majes
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

NUMERIČNA ANALIZA STABILNOSTI POBOČIJ PRI SEIZMIČNI OBTEŽBI

Povzetek

Prispevek prikazuje statično in seizmično analizo stabilnosti pobočij po metodi Sarme [2], [4]. Metodo smo dopolnili z upoštevanjem dodatne obtežbe. Poudariti želimo, da pri seizmični analizi ni ustrezna mera za stabilnost pobočij količnik varnosti ampak samo celoten nepovraten premik drseče mase. Pripravljen in testiran je ustrezen računalniški program.

NUMERICAL STABILITY ANALYSIS OF SLOPES AT SEISMIC LOADING

Summary

Sarma's method for static and seismic slope stability analysis is presented [2], [4]. Additional surface loads can be taken into account. The total irrecoverable displacement of sliding mass as a measure of stability of slopes under seismic conditions is suggested to be used instead of the conventional factor of safety. The computer program based on Sarma's method has been developed and tested.

1.0 UVOD

Varnost proti zdrsnitvi pobočij običajno izražamo s količnikom varnosti F, ki predstavlja razmerje med strižno trdnostjo τ_f in doseženo strižno napetostjo τ. Mejno stanje nastopi pri količniku varnosti $F = 1$. Sarma je predlagal alternativno formulacijo stabilnostne analize, kjer kot mero za stabilnost uvaja "koeficient kritičnega pospeška" K_c. Kritični pospešek ($K_c g$ - produkt koeficienta kritičnega pospeška in gravitacijskega pospeška) je definiran kot tisti horizontalni pospešek, ki privede obravnavano zdrsno telo v stanje mejnega ravnovesja. Tako količniku varnosti $F = 1$ ustreza vrednost $K_c = 0.0$, pri $F > 1$ je K_c pozitiven, pri $F < 1$ pa negativen.

Varnost pobočij se pri seizmični obtežbi zmanjša zaradi dveh dejavnikov: 1 - zaradi delovanja seizmičnih sil in 2 - zaradi povečanja pornih tlakov v zemljini. Če v obravnavanem pobočju ni prisotna podtalnica, vplivajo na varnost pobočij med potresom samo vztrajnostne sile. Zato že rezultat omenjene statične stabilnostne analize, izražen s koeficientom kritičnega pospeška, daje možnost, da ocenimo stabilnost pobočja pri seizmični obtežbi: če je pričakovani horizontalni pospešek na področju obravnavanega pobočja manjši od kritičnega pospeška, moremo smatrati, da bo pobočje stabilno tudi med potresom.

Za bolj realno seizmično analizo je sam avtor postopek nadgradil upoštevajoč priporočila Newmarka [1]. Upošteval je spoznanja mnogih avtorjev, da je ustrezna mera za stabilnost pobočij med potresi le celoten nepovraten premik zdrsnega telesa in ne količnik varnosti (F) ali koeficient kritičnega pospeška (K_c). Slednja dva (F in K_c) se namreč med potresom močno spreminjata. Pri računu premika zdrsnega telesa je upošteval poenostavljen model klade na klancu in spreminjanje pornega tlaka glede na napetostno stanje v tleh. Analiza je dinamična.

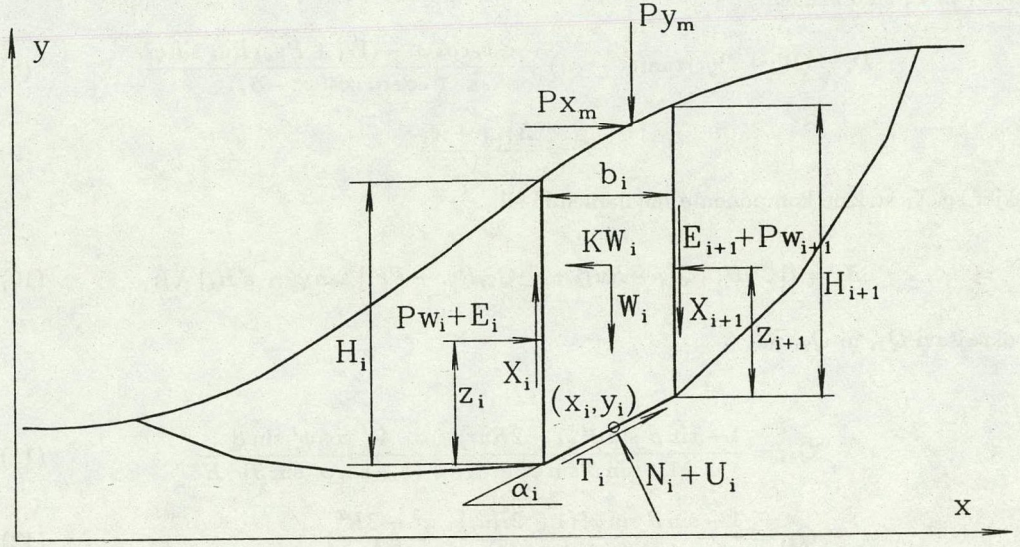
Na katedri smo izdelali program, ki omogoča statično analizo po alternativnem predlogu Sarme in po želji uporabnika tudi zgoraj opisano dinamično analizo.

2.0 STATIČNA ANALIZA

Formulacija problema

Obravnavamo stabilnost pobočja ali zemljinskega objekta v statičnih pogojih. Predpostavimo neko poligonalno drsno ploskev. Drseča masa teže W bo v mejnem ravnovesnem stanju ($F = 1$) takrat, ko bo nanjo delovala horizontalna sila $K_c W$. Večja sila pomeni manjšo varnost ($F < 1$), manjša sila pa večjo varnost ($F > 1$). Tako se sama ponudi ideja, da uporabimo kot količino za mero varnosti pobočja proti zdrsnitvi koeficient kritičnega pospeška K_c.

Teoretične osnove



Slika 1

Metoda Sarme [2] je lamelna metoda za analizo stabilnosti pobočij. Podobno kot metode Janbuja, Morgensterna in Pricea, Spencerja in drugih temelji na ravnovesnih enačbah, manjkajoče enačbe (problem je statično nedoločen) pa nadomesti s primernimi predpostavkami. Originalni rešitvi Sarme smo dodali možnost upoštevanja koncentriranih zunanjih sil. Rešitev enačb je koeficient kritičnega pospeška K_c:

$$K_c = \frac{S_1 + \lambda S_4}{W} \tag{1}$$

Posamezne okrajšave pomenijo:

$$\lambda = \frac{S_2}{S_3} \tag{2}$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^{n} (Px_i - D_i) \tag{3}$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^{n} M_i + \sum_{i=1}^{n} (D_i - Px_i)(y_i - y_g) - \sum_{i=1}^{n} W_i (x_i - x_g) \tag{4}$$

$$S_3 = \sum_{i=1}^{n} F_i \left[(x_i - x_g) - (y_i - y_g)\tan(\varphi' - \alpha_i)\right] \tag{5}$$

$$S_4 = \sum_{i=1}^{n} F_i \tan(\varphi' - \alpha_i) \tag{6}$$

$$W = \sum_{i=1}^{n} W_i \tag{7}$$

z D_i in F_i smo označili:

$$D_i = (W_i + Py_i)\tan(\varphi' - \alpha_i) + \frac{c'\, b_i \cos\varphi' - (W_i + Py_i)\, Ru_i \sin\varphi'}{\cos\alpha_i \cos(\varphi' - \alpha_i)} \tag{8}$$

$$F_i = \frac{X_{i+1} - X_i}{\lambda} \tag{9}$$

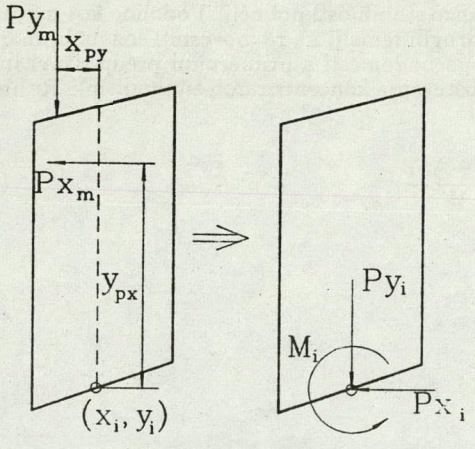
kjer so X_i strižne komponente medlamelnih sil:

$$X_i = \{[\tfrac{1}{2}\gamma H_i^2 (Q_{1i} - Ru_i) + \tfrac{1}{2\pi} Q_{2i} Py_i + Px_i] \tan\varphi' + c' H_i\}\, \lambda\, f_i \tag{10}$$

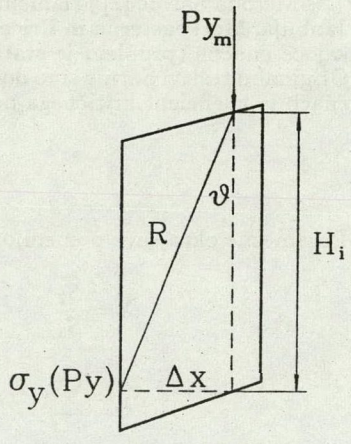
okrajšavi Q_{1i} in Q_{2i} pa:

$$Q_{1i} = \frac{1 - \sin\beta \sin\varphi'(1 - 2Ru_i)}{1 + \sin\beta \sin\varphi'} - \frac{4c' \cos\varphi' \sin\beta}{(1 + \sin\varphi' \sin\beta)\gamma H} \tag{11}$$

$$Q_{2i} = \frac{1 - \sin\beta \sin\varphi'(1 - 2Ru_i)}{1 + \sin\beta \sin\varphi'} \cdot \frac{x^3 - 3R^2}{R^3} \tag{12}$$



Slika 2



Slika 3

V enačbah (2) do (12) pomeni:

n ..... število lamel

Ru_i ..... količnik pornega pritiska ($U_i = Ru_i \frac{W_i}{\cos \alpha_i}$)

M_i ..... moment, ki ga dobimo z redukcijo zunanje obtežbe na središče dna lamele (Slika 2)

c', φ' ..... strižna parametra

x_g, y_g ..... težišče celotne drseče mase

β ..... $\beta = 2\alpha - \varphi'$

Ostale oznake so razvidne s slik 1, 2 in 3.

Predpostavki, ki jih je Sarma uporabil pri svojem računu, sta:

- Prijemališče sile v dnu lamele je v središču lamele
- Predpostavi funkcijo $f(x)$ (Enačba (10)). Ta pove, kako se lokalni faktor varnosti na vertikalni mejnici med dvema lamelama spreminja z x koordinato. Za praktične primere se izkaže izbira $f(x) = 1 = konst$ kot povsem ustrezna.

Rezultat analize so poleg kritičnega pospeška še medlamelne sile in njihova prijemališča ter sile v dnu lamele. Z dodatnim iteracijskim postopkom je možno določiti tudi varnostni količnik F, ki se uporablja v praksi.

Prednosti opisane metode za stabilnostno analizo poligonalnih drsin so predvsem:

- Koeficient kritičnega pospeška K_c je mogoče izraziti eksplicitno in zato izračunati brez iteriranja, kar hkrati pomeni, da bomo vselej prišli do rezultata. Pri iterativnih metodah vedno obstaja možnost, da račun ne konvergira.
- Račun teče avtomatično brez posredovanja uporabnika. Pri metodah Janbuja ali Morgensterna in Pricea je potrebno med računom vnašati predpostavke o legah ali naklonih medlamelnih sil.
- Možno je dodati iterativni postopek za račun klasičnega količnika varnosti F. Konvergenca je dobra. Tudi v primerih, ko račun ne konvergira, še vedno lahko ocenimo velikost količnika varnosti po empirični enačbi:

$$F = 1 + B K_c \qquad (13)$$

kjer za B velja $3.33 < B < 4.5$ [3].

Računalniški program

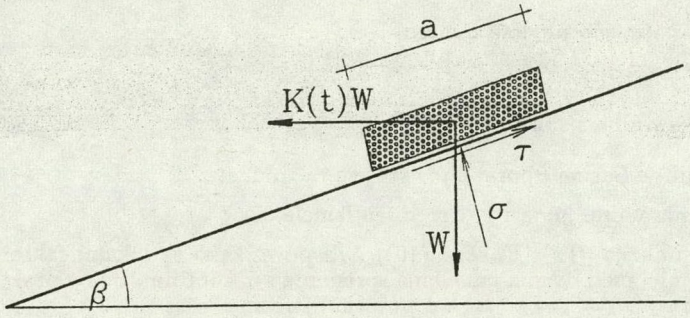
Za analizo stabilnosti po opisani metodi smo izdelali računalniški program *SARMA*. Njegova uporaba je preprosta, podobna uporabi programov *BISHOP* in *JANBU*, ki sta v Sloveniji že precej razširjena. Za račun so potrebni podatki o geometriji in geologiji pobočja, geotehnične karakteristike tal, podatki o vodostaju in predpostavljenih drsinah ter morebitni zunanji obtežbi. Podatki se pripravijo povsem enako kot za program *JANBU*, kar omogoča enostavno analizo stabilnosti pobočja po različnih postopkih.

Program smo testirali sprva na preprostih primerih in rezultate primerjali z rezultati programa *JANBU*. Rešitve se razlikujejo največ za 6%, kar pripisujemo različnim predpostavkam posameznih metod. Sledilo je testiranje delovanja programa v primerih, ko ima Janbujev postopek težave s konvergenco. V vseh primerih je program *SARMA* izračunal koeficient kritičnega pospeška K_c. Konvergenca pri računu količnika varnosti F je praviloma hitrejša kot pri Janbujevem postopku. V nekaterih primerih ni mogoče izračunati količnika varnosti F

niti z Janbujevim postopkom niti po postopku Sarme. V tem primeru se moramo zadovoljiti z rešitvijo za koeficient kritičnega pospeška.

3.0 SEIZMIČNA ANALIZA

Formulacija problema



Slika 4

Newmark predlaga, da bi za seizmično analizo stabilnosti pobočij uporabili model klade na klancu (Slika 4). Klada predstavlja drsečo maso s težo W in površino osnovne ploskve a, nagib klanca β pa določa smer rezultante strižnih napetosti ob drsini. Na kontaktu med klado in ravnim pobočjem je definiran koeficient trenja ($\tan\varphi'$) ter Skemptonova parametra pornega tlaka A in B [6]. Začetni porni tlaki so nični. Na klado delujejo horizontalni pospeški $K(t)g$. Za tako definiran model bomo določili premik drseče mase.

Teoretične osnove

Normalna in strižna napetost pod klado pred delovanjem potresne obtežbe sta:

$$\sigma_0 = \frac{W}{a}\cos\beta \qquad \text{in} \qquad \tau_0 = \frac{W}{a}\sin\beta \tag{14),(15}$$

Varnostni faktor pred delovanjem potresne obtežbe je enak razmerju dopustne in dosežene strižne napetosti:

$$F_0 = \frac{\tau_{f0}}{\tau_0} = \frac{\sigma_0 \tan\varphi'}{\tau_0} = \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta} \tag{16}$$

Normalna in strižna napetost pod klado med delovanjem potresne obtežbe sta:

$$\sigma_d = \frac{W}{a}(\cos\beta - K\sin\beta) \qquad \text{in} \qquad \tau_d = \frac{W}{a}(\sin\beta - K\cos\beta) \tag{17),(18}$$

Del prirastkov totalnih napetosti gre na račun povečanja pornih tlakov Δu, ki ga izrazimo s Skemptonovo empirično enačbo:

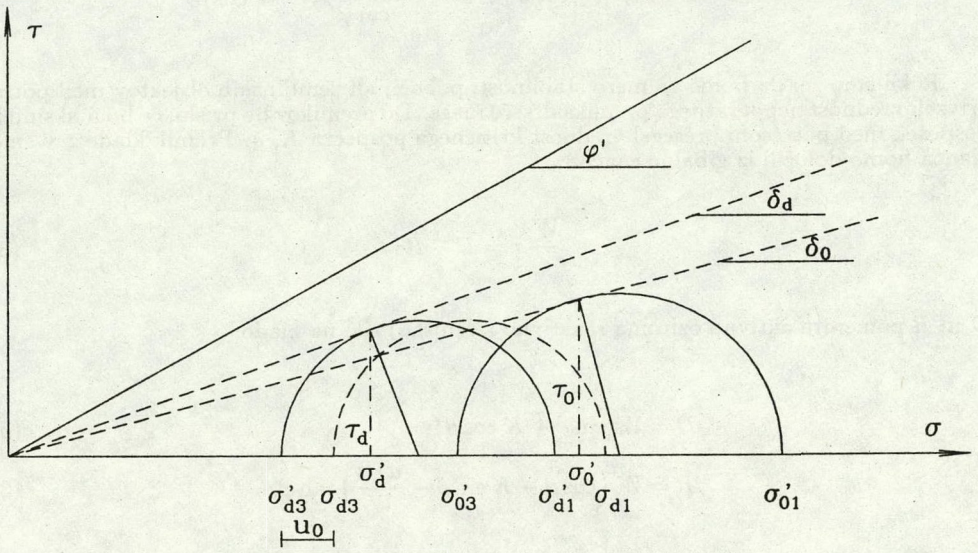
$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \tag{19}$$

Ker so začetni porni tlaki nični ($u_0 = 0$), je porni tlak med potresom $u_d = u_0 + \Delta u = \Delta u$.

Da bi lahko skonstruirali Mohrov napetostni krog, predpostavimo, da se vzdolž celotne drsine (klanca) mobilizira enak delež trenja in sicer F_0 v začetnem stanju in F_d med potresom. Naklona porušitvene ovojnice pred in med potresom sta torej:

$$\tan \delta_0 = \frac{\tan \varphi'}{F_0} \qquad \text{in} \qquad \tan \delta_d = \frac{\tan \varphi'}{F_d} \tag{20),(21}$$

Nadalje vemo, da potekata Mohrova kroga skozi točki (σ_0, τ_0) v začetnem stanju in (σ_d, τ_d) med potresom in se dotikata zgoraj definranih ovojnic. S slike 5 lahko vidimo, da veljajo enačbe:



Slika 5

$$\sigma'_{01} = \sigma'_0 + \tau_0 (\tan \delta_0 + 1/\cos \delta_0) \qquad \text{in} \qquad \sigma'_{03} = \sigma'_0 + \tau_0 (\tan \delta_0 - 1/\cos \delta_0) \tag{22),(23}$$

$$\sigma'_{d1} = \sigma'_d + \tau_d (\tan \delta_d + 1/\cos \delta_d) \qquad \text{in} \qquad \sigma'_{d3} = \sigma'_d + \tau_d (\tan \delta_d - 1/\cos \delta_d) \tag{24),(25}$$

Prirastka napetosti $\Delta\sigma_1$ in $\Delta\sigma_3$, ki ju potrebujemo v Skemptonovi enačbi, sta:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma'_{d1} - \sigma'_{01} \qquad \text{in} \qquad \Delta\sigma_3 = \sigma'_{d3} - \sigma'_{03} \tag{26),(27}$$

Iz navedenih enačb (14) do (27) lahko izrazimo prirastek pornih tlakov Δu in količnik varnosti med potresom F_d (σ'_d je efektivna normalna napetost med potresom):

$$\Delta u = \frac{W}{a} B \left\{ sin\beta \left(\frac{1 - 2A}{\cos \delta_0} - K - \tan \delta_0 \right) + (\sin \beta + K \cos \beta) \left(\tan \delta_d - \frac{1 - 2A}{\cos \delta_d} \right) \right\} \tag{28}$$

$$F_d = \frac{\tau_{fd}}{\tau_d} = \frac{\sigma'_d \tan\varphi'}{\tau_d} \tag{29}$$

Enačba (29) je četrte stopnje in jo je mogoče rešiti numerično. Sprejemljive so pozitivne realne rešitve za F_d, potrebna pa je tudi fizikalna presoja rezultata. Vendar nas bolj kot količnik varnosti zanima koeficient kritičnega pospeška, ki ga na podlagi definicije dobimo iz enačbe (29) ob upoštevanju $F_d = 1$:

$$K_c = \frac{\cos\beta + B\sin\beta\left(\tan\delta_0 - \dfrac{1-2A}{\cos\delta_0}\right) - \left[\cot\varphi' + B\,\dfrac{\sin\varphi' - (1-2A)}{\cos\varphi'}\right]\sin\beta}{(1-B)\sin\beta + \left[\cot\varphi' + B\,\dfrac{\sin\varphi' - (1-2A)}{\cos\varphi'}\right]\cos\beta} \tag{30}$$

Rekli smo že, da bomo za mero stabilnosti pobočij ali zemljinskih objektov med potresi privzeli vrednost nepovratnega premika drseče mase. Do premikov bo prišlo, če bo maksimalni pospešek med potresom presegel vrednost kritičnega pospečka $K_c\,g$. Premik klade x v smeri klanca bomo določili iz gibalne enačbe:

$$\frac{W}{g}\,\ddot{x} = D - R \tag{31}$$

D in R pomenita aktivno oziroma reaktivno (trenjsko) silo na klado:

$$D = W(\sin\beta + K\cos\beta) \tag{32}$$

$$R = W\left(\cos\beta - K\sin\beta - \frac{u_f\,a}{W}\right)\tan\varphi' \tag{33}$$

u_f pomeni porni tlak ob porušitvi. Predpostavka, preverjena z eksperimenti, pravi, da ostane porni tlak vse od porušitve naprej konstanten ($u_f = u_d$). Upoštevajoč enačbe (28), (32) in (33), načelo efektivnih napetosti ($\sigma = \sigma' + \Delta u$) ter navedeno predpostavko o pornih tlakih v enačbi (31) dobimo preprosto diferencialno enačbo za premik klade po klancu:

$$\ddot{x} = \frac{\cos(\beta - \varphi')}{\cos\varphi'}\,[K_c - K(t)]\,g \tag{34}$$

Enačba (34) ima za analitično izražene funkcije $K(t)$ večinoma analitične rešitve ob ustreznih začetnih pogojih. Za poljuben potek pospeškov $g\,K(t)$ pa je potrebna numerična integracija.

Računalniški program

Program *SARMA*, opisan v poglavju 2.0, smo za račun premikov drseče mase ob delovanju potresne obtežbe utrezno dopolnili. Časovni potek premika x dobimo kot rešitev začetnega problema (33) ob upoštevanju začetnih pogojev:

$$x(t = t^*) = 0 \qquad \text{in} \qquad \dot{x}(t = t^*) = 0 \tag{35}$$

t^* je čas, ko $K(t)$ preseže vrednost K_c.

Program smo testirali za primere, ko je mogoča vzporedba z analitičnimi rešitvami (za konstanten, sinusen in trikoten potek pospeškov). Rezultati numeričnega računa se povsem ujemajo z analitičnimi rešitvami.

Tako dopolnjen program *SARMA* predstavlja učinkovito orodje za analizo stabilnosti pobočij pri potresni obtežbi. Rezultati so odvisni od trdnostnih parametrov, pornega tlaka in karakteristik potresne obtežbe ter seveda od geoloških razmer. Določitev vseh parametrov je enostavna, razen Skemptonovih parametrov pornega tlaka A in B. Te je potrebno za uporabo pri seizmični analizi stabilnosti pobočij določiti na vzorcih zemljine v dinamičnih strižnih aparatih, ki pa jih pri nas nimamo. Za aproksimativne analize je možno parametra A in B določiti tudi izkustveno oziroma na podlagi podatkov iz literature (glej n.pr. [4]).

4.0 ZAKLJUČEK

Predstavili smo metodo stabilnostne analize, ki na nekoliko drugačen, a učinkovit način rešuje preblem statične nedoločenosti pri analizi stabilnosti pobočij. Kot rezultat stabilnostne analize avtor metode Sarma predlaga uvedbo koeficienta kritičnega pospeška K_c, ki ga lahko eksplicitno izrazimo in za razliko od varnostnega količnika F izračunamo brez iterativnega postopka.

Izraz kritični pospešek že sam namiguje na uporabo v stabilnostni analizi pri seizmični obtežbi. Z uporabo poenostavljenega modela klade na klancu in upoštevanjem Skemptonove enačbe za izračun prirastkov pornih tlakov zaradi potresne obtežbe je mogoče preprosto izračunati premik drseče mase vzdolž pobočja x.

Izdelan računalniški program je učinkovito orodje tako za alternativno analizo stabilnosti pobočij v statičnih razmerah kot tudi za analizo stabilnosti ob delovanju potresnih sil.

LITERATURA

1 N. M. Newmark, Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Gèotechnique, Vol. 15, No. 2, 139-160, 1965.

2 S. K. Sarma, Stability Analysis of Embankments and Slopes, Gèotechnique, Vol. 23, No. 3, 423-433, 1973.

3 S. K. Sarma, Critical Acceleration Versus Static Factor of Safety in Stability Analysis of Earth Dams and Embankments, Gèotechnique, Vol. 24, No. 4, 661-665, 1974.

4 S. K. Sarma, Seismic Stability of Earth Dams and Embankments, Gèotechnique, Vol. 25, No. 4, 743-761, 1975.

5 H. B. Seed, I. M. Idriss, Ground Motions and Soil Liquefaction during Earthquakes, EERC, Berkeley, 1982.

6 A. W. Skempton, Pore pressure Parameters A and B, Gèotechnique, Vol. 4, No. 4, 1954.

7 Uezawa, H., Nasu, M., Anti-Earthquake Measures for Embankments on a Weak Ground, Proc. 5th World Conference on Earthquake Engenering, proc. paper 40, Rome, 1973.

Doc.dr Janko Conić,dipl.građ.ing.
Asis.Navratil Zoran,dipl.ing.

PROGRAM "SWESTAB" ZA PRORAČUN STABILNOSTI KOSINA

SAŽETAK

Ispitivanje stabilnosti kosina predstavlja neizbežan zadatak svakog inženjera praktičara i projektanta iz oblasti vodoprivrednih objekata i sistema. Računarski program predstavljen u ovom radu omogućava proračun faktora sigurnosti kosine, definisane sa dva karakteristična zemljišna sloja, na koju deluju sile (uticaj leda, pokredtno opterećenje), korisno raspodeljeno opterećenje, pritisak vode, porni pritisak (pri naglom sniženju nivoa vode), kao i kameni nabačaj na nožicu kosine.

Ovaj rad je pokušaj da se na jednostavan način, uz korišćenje računara, dobije uvid i ocena stabilnosti kosina radi iznalaženja optimalnog rešenja.

THE "SWESTAB" COMPUTER PROGRAM FOR SIDE-SLOPE STABILITY COMPUTATONS

SUMMARY

Side-slope stabilty checking is a compulsory task for all engineers and designers in the field of water management. The computer programme described in this paper ensures the side-slope safety factor computation, defined by two typcal soil layers which are affected by the following: concentrated forces (ice, live load), usefully distributed load, water pressure, pore pressure (sudden decrease of water levels) and side-slope riprap.

The paper attempts to provide an insight and estimate of the side-slope stability for fiding the optimum solutions simply, by the use of computers.

1. UVOD

Proračuni stabilnosti kosina imaju za zadatak da pokažu da li opterećenja koja deluju na kosinu mogu izazvati slom ili značajne deformacije kosine. Za potpuno rešenje ovoga zadatka moraju biti ispunjeni sledeći uslovi /1/:

a. u svakoj tački klizne ravni mora biti ispunjen uslov loma materijala

$$\tau = C + \tan(\varphi)$$

b. diferencijalne jednačine ravnoteže:

$$\delta\sigma_v/\delta z - \delta\tau_{vh}/\delta x - \vartheta - \vartheta_{\omega(z)} - \rho a(z) = 0$$

$$\delta\sigma_h/\delta x - \delta\tau_{vh}/\delta z - \vartheta_{\omega(x)} - \rho a(x) = 0$$

c. naponi u kosini moraju biti u ravnoteži sa spoljnim silama koje deluju na kosinu,

d. specifične deformacije moraju biti povezane sa naponima preko odgovarajućeg odnosa,

e. specifična deformacija u svakoj tački mora biti kompatibilna sa deformacijom u okolnim tačkama.

Za proračune stabilnosti kosina razvile su se tri grupe metoda /2/, /3/:

-metode granične ravnoteže: Ova grupa metoda uzima u obzir prvi i treći od navedenih uslova i podrazumeva da je materijal u kosini krut i idealno plastičan. Ovu grupu metoda možemo podeliti prema obliku klizne ravni (kružna, logaritamska spirala), načinu proračuna (grafički, numerički) i tipu klizanja (kroz kosinu, nožično,podnožično). U nju između ostalih spada i Švedska metoda proračuna stabilnosti kosina.

-metode teorije plastičnosti: Ove metode uzimaju u obzir prva tri od navedenih uslova i takođe podrazumevaju da je materijal u kosini krut i idealno plastičan.

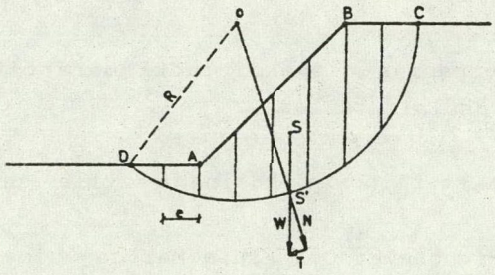
-metoda konačnih elemenataza materijal sa nelinearnim odnosom između napona i deformacija: Ova metoda uzima u obzir sve navedene uslove ali zahteva složene labolatorijske oglede za utvrđivanje konstituivnih odnosa za materijal heterogenog

sastava, od kojih zavise dobijeni rezultati proračuna.

2. ŠVEDSKA METODA PRORAČUNA STABILNOSTI KOSINA

Ova metoda , koja se još naziva i Felleniusova, razvijena je početkom stoleća u Švedskoj za proučavanje brojnih klizanja nastalih na železničkim prugama. Švedska metoda spada u metodu lamela. Uobičajeno je da se usvoji klizna površina u obliku kružnog luka, a za granično stanje ravnoteže kosine usvaja se jednakost momenata spoljnih sila i unutrašnjeg otpora tla. Pod pretpostavkom kružne klizne površine zemljina prizma DABC se u trenutku kada se odvaja od tla i kliza naniže, obrće oko središta O kružnog luka DSC koji se naziva i centar rotacije.

Sam proračun faktora sigurnosti izvodi se na sledeći način (slika 1): zemljana prizma se podeli na 8-12 vertikalnih lamela



sl.1

iste širine e osom poslednje e' i odrede se njihove težine W =γ*A (γ -zapreminska težina, A -površina lamele, za "dužinu" lamela usvaja se 1 m), zatim se usvoji da težina svake lamele deluje u projekciji S' težišta lamele, na kliznu površinu . Težinu W razlažemo na normalnu komponentu N (koja prolazi kroz centar rotacije) i na tangencijalnu komponentu T, koja deluje upravno na N i predstavlja smičuću silu. Otporna sila koja se suprotstavlja tangencijalnoj sili T sastoji se iz otpora trenja N*tan (φ) - gde je φ ugao unutrašnjeg trenja zemljišta, i kohezije c*L - gde je L dužina kružnog luka. Ako posmatramo celu prizmu dobijamo moment spoljnih (smičućih) sila M=r* ΣT (r -

poluprečnik klizne ravni), a za moment unutrašnjeg otpora tla $M = R*(\Sigma N * \tan(\varphi) + c*L)$ iz čega se stabilnost kosina izražava odnosom momenata unutrašnjeg otpora tla i spoljnih sila:

$$F = (\Sigma N * \tan(\varphi) + C*L)/\Sigma T$$

Merodavni-najmanji koeficjent sigurnosti kosine, određuje se višestrukim ponavljnjem proračuna za različite centre klizne ravni i za različite vrednosti poluprečnika r. U radu pod (2) opisana je metoda Fedejeva za određivanje zone centara kliznih ravni.

3. OPIS PROGRAMA I MATEMATIČKOG MODELA - MOGUĆNOSTI

Program je napisan u Bejziku, prvobitno za računar Commodore 64 a kasnije i za IBM PC računare. Upotrebljene su standardne BASIC naredbe te se program može lako prilagoditi bilo kom računaru sa Bejzik interpreterom ili kompajlerom. Program je napisan modularno i orjentisan na interaktivni rad sa korisnikom, ulazni podaci se zadaju sa tastature a rezultati programa se izdaju na monitoru.

Program omogućava proračun faktora sigurnosti kosine pri podnožičnom klizanju za jedan ili više položaja centra klizne ravni. Ukoliko se izabere opcija proračuna za više položaja centra klizne ravni, program samostalno postavlja nove centre u koncentričnim krugovima oko početnog (zadatog) cetra.

4. ULAZNI PODACI PROGRAMA

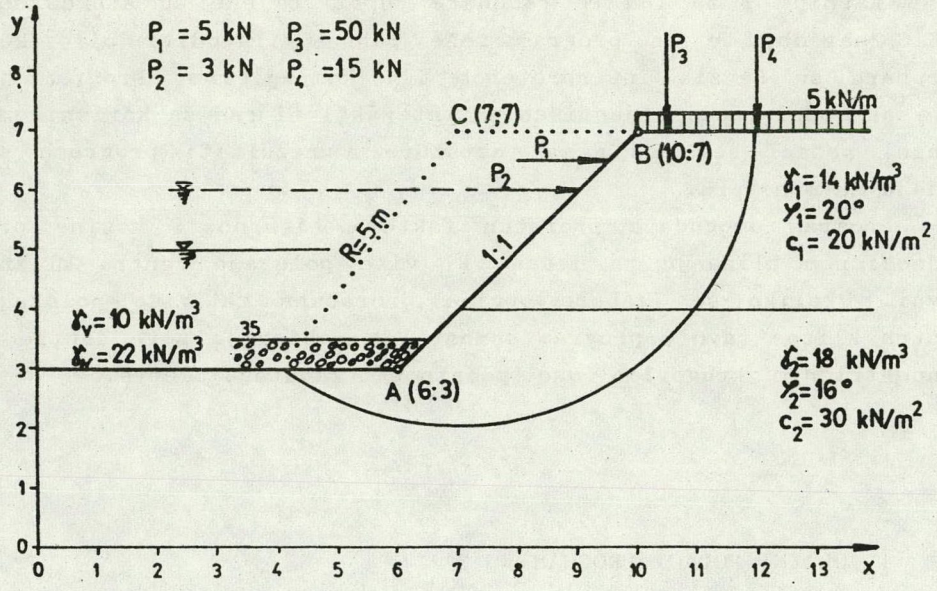
- početni položaj centra klizne ravni i poluprečnik r,
- kontura kosine (zadata koordinatama konturnih tačaka A i B),
- karakteristike zemljišta za dva sloja (ugao unutrašnjeg trenja, kohezija, i zapreminska težina),
- napadne tačke i intenziteti za po dve horizontalne i dve vertikalne sile koje "napadaju" kosinu,

- intenzitet ravnomerno podeljenog opterećenja po kruni kosine,
- nivo vode i spec. težina vode za okvašenu kosinu
- prethodni nivo vode pri ispitivanju uticaja pornog pritiska,
- nivo i spec. težina kamenog nabačaja na na nožicu kosine,
- prirast ugla (u radijanima), odnosno broj lamela po kojima se vrši obrada zemljine prizme.

Kao rezultat obrade izdaju se (na zaslonu monitora) faktori sigurnosti kosina sa odgovarajućim koordinatama centra klizne ravni, sortirani u opadajući niz.

5. PRIMER PRORAČUNA STABILNOSTI KOSINE SA UPOREĐENJEM REZULTATA

Mogućnosti računarskog programa prikazani su na sledećem primeru (slika 2). Kosina nagiba 1:1 je definisana tačkama A i B, u tački C se nalazi centar klizne ravni:



sl.2

A(x) = 6 B(x) = 10 C(x) = 7

A(y) = 3 B(y) = 7 C(y) = 7

r = 5 m - poluprečnik klizne ravni,

granični sloj zemljišta definisan je za y koordinatu 4, a

karakteristike zemljišta su:

$\gamma_1 = 14 kN/m^3$

$\varphi_1 = 20,$

$C_1 = 20 kN/m^2$

iznad koordinate y=4, a ispod koordinate y=4 su:

$\gamma_2 = 18$ kN/m3,

$\varphi_2 = 16,$

$C_2 = 30$ kN/m2

Prikaz mogućnosti programa je dat za pet "slučajeva" opterećenja, a rezultati (koeficjent sigurnosti) su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1

SLUČAJ OPTEREĆENJA	FAKTOR SIGURNOSTI
I	3.62
II	3.92
III	3.36
IV	3.16
V	3.55

6. SLUČAJEVI OPTEREĆENJA

1. Kosina na koju ne deluju nikakve sile, bez uticaja vode,
2. okvašena kosina sa nivoom vode na y koordinati 5,
3. okvašena kosina na koju deluju horizontalne, vertikalne sile i ravnomerno podeljeno opterećenje (sl.2).
4. okvašena kosina pod uticajem sila i delovanjem pornog pritiska nastalog opadanjem nivoa vode sa kote 6 na kotu 5 (y koordinata)
5. okvašena kosina pod uticajem sila pornog pritiska stabilizovana kamenim nabačajem po nožici.

Za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja (slučaj IV), izvršen je proračun za 20 položaja centra klizne ravni, sa početnim položajem centra iz prethodnih primera, i dobijen kao najnepovoljniji položaj centra klizne ravni:

C(x) = 7.01 C(y) = 7.75

sa faktorom sigurnosti

Fs = 2.76

7. LITERATURA

1. Ervin, Noneveiller: KLIŽENJE I STABILIZACIJA KOSINA, Školska knjiga, Zagreb, 1987.2. TEHNIČAR-GRAĐEVINSKI PRIRUČNIK, knjiga
2. Najdanović, N., Obradović, R.: MEHANIKA TLA U INŽENJERSKOJ PRAKSI, drugo dopunjeno i prošireno izdanje, Rudarski institut Beograd, 1981.
3. GRAĐEVINSKI KALENDAR 1982 Petar Anagnosti, Mehanika tla od teorije do prakse.

Red.prof.dr. Ludvik Trauner dipl.ing.gr.
Mag. Zdenko Zorič dipl.ing.gr.
Univerza v Mariboru
Tehniška fakulteta - Gradbeništvo

PRIMER UPORABE VERJETNOSTNEGA RAČUNA V MEHANIKI TAL

POVZETEK

Prispevek prikazuje dopolnitev nekaterih postopkov iz področja mehanike tal na osnovi teorije verjetnosti in matematične statistike. Obdelane so nelinearne in časovno odvisne reološke karakteristike vzorcev mehkih vezanih zemljin. V ta namen je uporabjen dobro znani elasto-viskoplastični model [4] dopolnjen z izbranimi postopki s področja teorije verjetnosti [3] in matematične statistike [2]. Rezultati predhodnjih triosnih laboratorijski preiskav opravljenih na zelo stisljivih glinah so obdelani s pomočjo postopkov "grobe" statistike, konstitutivni in materialni parametri pa so izvrednoteni na osnovi verjetnostnega računa.

A WAY OF USE OF PROBABILITY CALCULUS IN SOIL MECHANICS

ABSTRACT

The paper presents some procedures applied by theory of probability and mathematical statistics in soil mechanics. Nonlinear and time dependant rheological characteristics for soft coherent soil samples are treated. The well known elasto-viscoplastic model is used [4] as well as selected procedures from theory of probability [3] and statistics [2]. The results of a previous three axial laboratory investigations on high compressible clay samples were treated by procedures of "rough" statistics and their constitutive and material parameters were derived on the basis of probability calculus.

1.0 UVOD

Že uveljavljene deterministične metode določevanja konstitutivnih in materialnih parametrov vzorcev zemljin je potrebno obdelati z izbranimi računskimi postopki s področja teorije verjetnosti in matematične statistike. To trditev je možno podpreti z naslednjimi razlogi:

- Obstajajo objektivne omejitve glede kvantitete in kvalitete terenskih preiskav, posledično pa tudi majhno (premajhno) število vzorcev zemljin namenjenih nadaljni obdelavi v geomehanskem laboratoriju.
- Vzorci zemljin se praviloma poškodujejo pri odvzemu, transportu in ne nazadne pri obdelavi v laboratoriju.
- Pogoji v laboratoriju ne odgovarjajo prvotnim naravnim pogojem.
- Reološke karakteristike zemljin so zelo odvisne od njihove obremenitvene zgodovine. Ta je slabo poznana in s tem tudi težko simulirana.
- Simultana soodvisnost med skeletom zgradbe, temeljno konstrukcijo in heterogenimi tlemi zahteva zaradi svoje zamotanosti nekatere poenostavitve, te pa seveda zmanjšujejo zanesljivost dobljenih rezultatov.

Prispevek prikazuje teoretične rešitve za nelinearne, časovno odvisne reološke karakteristike mehkih zemljin, uporabljene metode "grobe" statistike in izbrani približni verjetnostni račun temelječ na Taylorjevem razvoju izbrane funkcije. Izbrane metode niso nove, vendar so zaradi svoje narave na praktičnem pomenu pridobile šele z bliskovitim razvojem računalniške strojne in programske opreme.

2.0 TEORETIČNE OSNOVE

Kot je bilo že omenjeno smo za izhodišče izbrali elasto-viskoplastični model [4]. Podana je analitična interpretacija hkrati upoštevanih odnosov izotropne kompresije $\varepsilon^{(o)}$, dilatacije $\varepsilon^{(d)}$ in sekundarne konsolidacije $\varepsilon^{(v)}$, ki jih na osnovi počasnih, dreniranih in monotono spreminjajočih se obremenilnih triosnih eksperimentalnih preiskusov določimo posebej za volumensko ε_v in osno ε_a deformacijo. Rezultate je možno zapisati v naslednji obliki :

$$\varepsilon_k = \varepsilon_k^{(o)} + \varepsilon_k^{(d)} + \varepsilon_k^{(v)}, \qquad k = v \text{ ali } a \tag{1}$$

kjer simboli (o), (d) in (v) predstavljajo izotropno kompresijo, dilatacijo in sekundarno konsolidacijo in jih je možno izraziti v naslednji obliki :

$$\varepsilon_k^{(o)} = (a_{k1} + a_{k2}(p/p_o)^{m_{k1}})\ln(p/p_o) \tag{2}$$

$$\varepsilon_k^{(d)} = (a_{k3} + a_{k4}(p/p_o)^{m_{k2}})(q/p-\eta_o)^{n_{k2}} \tag{3}$$

$$\varepsilon_k^{(v)} = \alpha_k \ln(t^*/t_o) = -\alpha_k \ln(\dot{\varepsilon}_k/\dot{\varepsilon}_{ko}) \tag{4}$$

$$\alpha_k = a_{k5} + a_{k6}\ln(p/p_o) + a_{k7}(q/p-\eta_o)^{n_{k3}} \tag{5}$$

Izraza p in q sta napetostni invarianti :

$$p = \sigma'_{ii}/3 \ , \ q = \left((3/2)S'_{ij}S'_{ij}\right)^{1/2} \qquad (6),(7)$$

$$S'_{ij} = \sigma'_{ij} - \delta_{ij}\sigma'_{rr} = S_{ij} \qquad (8)$$

kjer pomeni t^* relativni čas ; p_o, q_o in $\eta_o = q_o/p_o$ so vrednosti za p, q in η v času $t^* = t_o$; δ_{ij} je Kronekerjev simbol, σ_{ij} pa so komponente efektivnega napetostnega tenzorja. Deformacije ε_k, v relaciji (1), lahko izrazimo z elastičnimi $\varepsilon_k^{(e)}$ in plastičnimi $\varepsilon_k^{(p)}$ komponentami.

$$\varepsilon_k^{(e)} = (\varepsilon_k^{(o)})^{(e)} + (\varepsilon_k^{(d)})^{(e)} \qquad (9)$$

kjer

$$(\varepsilon_k^{(o)}) = \left(b_{k1} + b_{k2}(p/p_o)^{m_{k1}}\right)\ln(p/p_o) \qquad (10)$$

$$(\varepsilon_k^{(d)}) = \left(b_{k3} + b_{k4}(p/p_o)^{m_{k2}}\right)(q/p-\eta_o)^{n_{k2}} \qquad (11)$$

Če odštejemo izraza (9) in (4) od izraza (1) dobimo plastične komponente specifičnih deformacij $\varepsilon_k^{(p)}$:

$$\varepsilon_k^{(p)} = \varepsilon_k - \varepsilon_k^{(e)} - \varepsilon_k^{(v)} \qquad (12)$$

izražene s komponentami

$$\varepsilon_k^{(p)} = (\varepsilon_k^{(o)})^{(p)} + (\varepsilon_k^{(d)})^{(p)} \qquad (13)$$

Ob upoštevanju predhodnjih izrazov lahko izrazimo kompresijski K in strižni G modul :

$$1/K = (\delta\varepsilon_v/\delta p) \quad ; \quad 1/G = \left(\delta(3\varepsilon_a - \varepsilon_v)/\delta q\right) \qquad (14),(15)$$

in Youngov modul E ter Poissonov koeficient ν :

$$E = \frac{9KG}{3K+G} \ ; \ \nu = \frac{3K-2G}{6K-2G} \qquad (16),(17)$$

Pri statistični obdelavi je uporabljena metoda spusta z uporabo simpleksa in naslednji numerični pokazatelji :

- matematično pričakovanje

$$m = \frac{1}{n} \sum_i a_i \tag{18}$$

- standardna devijacija

$$s = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_i (a_i - m)^2} \tag{19}$$

- koeficient varijacije

$$v = \frac{s}{m} 100\% \tag{20}$$

Iz področja teorije verjetnosti smo izbrali približni izračun matematičnega pričakovanja m_x in standardne devijacije s_x, ki sloni na Taylorjevem razvoju funkcije $f(x_1,x_2,\ldots,x_n)$ v okolici točke $(m_{x_1},m_{x_2},\ldots,m_{x_n})$.

Na ta način dobimo izraz za pričakovanje m_Y :

$$m_Y = f(m_{x_1},m_{x_2},\ldots,m_{x_n}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta^2 f}{\delta x_i^2} s_{x_i}^2 \tag{21}$$

in za standardno devijacijo s_Y:

$$s_Y = \left(\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\delta f}{\delta x_i}\right)^2 s_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\delta f}{\delta x_i}\right)\left(\frac{\delta^2 f}{\delta x_i^2}\right) E((X_i - m_{x_i})^3) \right)^{1/2} \tag{22}$$

3.0 EKSPERIMENTALNI REZULTATI NA VERJETNOSTNI OSNOVI

Podatkovna baza opravljenih triaksialnih preiskav na zelo stisljivih glinah je obdelana na osnovi izvajanj iz predhodnjega poglavja. S tem je izvedeno določevanje konstitutivnih in materialnih parametrov na verjetnostni osnovi. Uporabljena je baza podatkov iz raziskav opravljenih v Laboratoriju za mehaniko tal na Tehniški fakulteti Univerze v Mariboru v letu 1979. Na osnovi rezultatov napetostno-deformacijskih (σ-ε) odnosov za različne vzorce iste zemljine so bili z uporabo metode spusta z uporabo simpleksa določeni konstitutivni parametri. Po obdelavi s statističnimi pokazatelji iz izrazov (18) do (20) so dobljeni rezultati prikazani v Tabeli I.

Tabela I - Reološki parametri

i	a_{vi}/a_{ai}	$s_{a_{vi}}/s_{a_{ai}}$	$v_{a_{vi}}/v_{a_{ai}}$ (%)
1	$5.34\ 10^{-04}/7.10\ 10^{-05}$	$2.68\ 10^{-05}/8.57\ 10^{-06}$	5.02/12.08
2	$3.62\ 10^{-04}/2.02\ 10^{-05}$	$1.35\ 10^{-04}/3.94\ 10^{-07}$	37.22/1.95
3	$1.03\ 10^{-05}/9.18\ 10^{-05}$	$2.58\ 10^{-06}/4.57\ 10^{-06}$	25.05/4.99
4	$7.09\ 10^{-04}/2.31\ 10^{-04}$	$4.83\ 10^{-06}/2.37\ 10^{-06}$	0.68/1.03
5	$2.07\ 10^{-05}/1.13\ 10^{-05}$	$3.28\ 10^{-09}/2.07\ 10^{-09}$	1.59/1.84
6	$5.09\ 10^{-07}/3.87\ 10^{-06}$	$1.29\ 10^{-08}/3.54\ 10^{-09}$	2.53/0.09
7	$2.63\ 10^{-04}/2.49\ 10^{-04}$	$7.83\ 10^{-06}/1.48\ 10^{-05}$	2.98/5.95

i	b_{vi}/b_{ai}	$s_{b_{vi}}/s_{b_{ai}}$	$v_{b_{vi}}/v_{b_{ai}}$ (%)
1	$5.20\ 10^{-04}/3.52\ 10^{-05}$	$1.51\ 10^{-06}/1.43\ 10^{-06}$	0.29/4.08
2	$8.58\ 10^{-10}/1.78\ 10^{-05}$	$9.21\ 10^{-11}/1.61\ 10^{-06}$	10.74/9.08
3	$5.62\ 10^{-06}/2.45\ 10^{-04}$	$8.17\ 10^{-07}/3.73\ 10^{-08}$	14.53/1.52
4	$6.62\ 10^{-04}/7.66\ 10^{-11}$	$1.10\ 10^{-06}/3.29\ 10^{-12}$	0.17/4.30

i	m_{vi}/m_{ai}	s_{vi}/s_{ai}	v_{vi}/v_{ai} (%)
1	$2.07\ 10^{-01}/1.91$	$2.48\ 10^{-02}/2.37\ 10^{-01}$	11.99/12.40
2	$5.01\ 10^{-01}/1.90\ 10^{-01}$	$4.47\ 10^{-02}/2.30\ 10^{-02}$	8.93/12.09
3	1.00/1.00		

i	n_{vi}/n_{ai}	s_{vi}/s_{ai}	v_{vi}/v_{ai} (%)
1	1.00/1.00		
2	$5.57\ 10^{-02}/5.77\ 10^{-01}$	$8.19\ 10^{-04}/3.42\ 10^{-03}$	1.47/0.59
3	2.99/3.55	0.13/0.16	4.33/4.48

Pri določitvi kompresijskega modula K na verjetnostni osnovi upoštevamo izraze (14) do (17) in (20) do (22) in dobimo :

$$m_K = K + 0.5\left(\sum_{i=1}^{4} \frac{\delta^2 K}{\delta a_{ki}^2} s_{a_{ki}}^2 + \sum_{i=1}^{2} \frac{\delta^2 K}{\delta m_{ki}^2} s_{m_{ki}}^2 + \frac{\delta^2 K}{\delta n_{k2}^2} s_{n_{k2}}^2 \right) \tag{23}$$

$$s_K = \Bigg(\sum_{i=1}^{4} \left(\frac{\delta K}{\delta a_{ki}}\right)^2 s_{a_{ki}}^2 + \left(\frac{\delta K}{\delta a_{ki}}\right)\left(\frac{\delta^2 K}{\delta a_{ki}^2}\right) E\left((a_{ki} - m_{a_{ki}})^3\right) +$$

$$\sum_{i=1}^{2} \left(\frac{\delta K}{\delta m_{ki}}\right)^2 s_{m_{ki}}^2 + \left(\frac{\delta K}{\delta m_{ki}}\right)\left(\frac{\delta^2 K}{\delta m_{ki}^2}\right) E\left((m_{ki} - m_{m_{ki}})^3\right) +$$

$$\left(\frac{\delta K}{\delta n_{k2}}\right)^2 s_{n_{k2}}^2 + \left(\frac{\delta K}{\delta n_{k2}}\right)\left(\frac{\delta^2 K}{\delta n_{k2}^2}\right) E\left((n_{k2} - m_{n_{k2}})^3\right)\Bigg)^{1/2} \tag{24}$$

$$v_K = \frac{s_K}{m_\nu} 100 \tag{25}$$

Na podoben način lahko ob upoštevanju istih izrazov dobimo izraze za G, E in ν. V Tabeli II so podani rezultati za izbrana triosna napetostna stanja σ_1/σ_3 ob upoštevanju izrazov (23) do (25).

Tabela II - Materialni parametri

	σ_1/σ_3 (KN/m^2)			
	29/20	41/20	58/40	81/40
m_K/m_G	810.33/155.09	861.12/270.99	1424.23/301.50	1475.17/501.43
s_K/s_G	43.00/3.66	47.42/12.46	107.82/53.34	114.74/94.14
v_K/v_G	5.31/2.36	5.51/4.60	7.57/17.69	7.78/18.77
m_E/m_ν	437.38/0.410	735.78/0.358	844.88/0.401	1351.19/0.347
s_E/s_ν	4.96/0.015	11.31/0.019	14.38/0.024	30.02/0.029
v_E/v_ν	1.13/3.53	1.54/5.30	1.70/5.97	2.22/8.31

	88/60	121/60
m_K/m_G	1947.16/458.88	1997.46/723.90
s_K/s_G	183.33/132.17	190.95/204.74
v_K/v_G	9.42/28.80	9.56/28.28
m_E/m_D	1276.38/0.391	1937.62/0.338
s_E/s_D	29.50/0.033	53.80/0.037
v_E/v_D	2.31/8.50	2.78/11.06

4.0 ZAKLJUČEK

Prikazane rešitve imajo pomembno praktično vrednost. V mnogih praktičnih izračunih morajo biti postopki in sami rezultati izvedeni na osnovi verjetnostnega računa, saj le takšen pristop k tematiki omogoča določitev območja realnih vrednosti znotraj teh v splošnem zelo kompliciranih odnosov v mehaniki tal.

LITERATURA

1 Desai, C.S.,and Siriwandane H.J.,Constitutive Laws for Engineering Materials, Englewood Clifs, N.J.: Prentice Hall Inc., 1984
2 Huber, P.J.,Robust Statistics, New York: Wiley, 1981
3 Oblak, M.,and Butinar, B., Dimenzioniranje Eulerjeve uklonske palice na verjetnostni osnovi, Maribor: VTŠ Maribor, 1982
4 Trauner, L., Rheological Properties of Soft Soils, Tucson Arizona: Proceedings of the Third International Conference on Constitutive Laws for Engineering Materials, 1991

Prof.dr.Ludvik Trauner in v.p.dr.Stanislav Škrabl
Univerza v Mariboru,Tehniška fakulteta,gradbeni oddelek

RAČUNALNIŠKI PROGRAM SPACESOIL

POVZETEK

V prispevku je prikazan računalniški program SPACESOIL, ki smo ga izdelali v Laboratoriju za mehaniko tal na Tehniški fakulteti Univerze v Mariboru.

Program omogoča numerične analize konsolidacije zemljin ter interakcije med objekti in tlemi z upoštevanjem poljubnih napetostnih,deformacijskih in filtracijskih stanj,časovnega poteka obremenjevanja,začetnih konsolidacijskih pogojev in konstitutivnih sovisnosti,ki so izpeljane na osnovi hipoelastične konstitutivne teorije.

COMPUTER PROGRAM SPACESOIL

SUMMARY

The paper present computer program SPACESOIL, which has been developed in the Laboratory for Soil Mechanics at the Faculty of Technical Sciences-University of Maribor.

This program was developed to perform consolidation and interaction analyses in any kind of stress-strain and filtration states considering the preceding natural consolidation and different constitutive relations for soils on the base of the hypoelastical constitutive theory.

1. UVOD

Postopek numerične analize konsolidacije je izdelan na osnovi inkrementalnega reševanja sistema ravnotežnih in kontinuitetnih enačb.Rešitve so z metodo utežnih ostankov po metodi končnih elementov prevedene v sistem linearnih enačb,ki so primerne za numerično analizo.Uporabljena je metoda direktne integracije. Temeljna tla so analizirana kot nelinearni elastoviskoplastični materiali v pogojih poljubnih konsolidacijskih, disipacijskih, stabilnostnih, deformacijskih in napetostnih stanjih.

Za zemljine so upoštevane reološke in konstitutivne sovisnosti med napetostmi, deformacijami in časom. Relacije so podane na osnovi večletnih dreniranih in nedreniranih triosnih, edometerskih in strižnih laboratorijskih preiskav. Ker rezultati laboratorijskih preiskav mehkih zemljin izkazujejo znatne anizotropne lastnosti, standardne triaksialne preiskave pa ne omogočajo izvrednotenje vseh parametrov anizotropnih zemljin, je za konstitutivne sovisnosti uporabljen štiri parametrični hipoviskoelastični model. V posameznih časovnih inkrementih privzamemo linearne sovisnosti med komponentami distorzijskega tenzorja začetnih napetosti in anizotropnimi deleži komponent deformacijskega tenzorja.

Rezultati teoretskih in eksperimentalnih raziskav reoloških in

konstitutivnih sovisnosti so podani v [1] in [2].

Pri analizi konsolidacije je upoštevana rešitev, ki ustreza tudi delno zasičenim zemljinam, kjer še velja predpostavka, da se plinske sestavine kapljevine nahajajo v mehurčkih, ki so v kapljevini enakomerno razporejeni. Podana numerična rešitev konsolidacije omogoča hkratno upoštevanje elastoplastičnih, stabilnostnih, filtracijskih in viskoznih učinkov.

Program omogoča tudi hkratno analizo temeljnih konstrukcij; tj. temeljnih nosilcev in temeljnih plošč (polnih ali votlih), kjer je mogoče upoštevati tudi geometrijske nelinearnosti glede na vertikalne pomike oz. posedke objektov.

Pri temeljnih ploščah je uporabljena Mindlinova teorija s superpozicijo vplivov membranskih deformacijskih in napetostnih učinkov.

Za izvrednotenje nelinearnih sovisnosti med obremenitvami in pomiki temeljne konstrukcije je uporabljena tangentna metoda. Ob izbiri dovolj majhnih časovnih inkrementov ta metoda omogoča dovolj natančno reševanje geometrijsko nelinearnih konstrukcij s postopki, ki veljajo za linearne probleme.

V inkrementalnem postopku numerične analize poteka reševanje sistemov linearnih enačb po frontalni metodi; omogočeno je tudi aproksimativno upoštevanje morebitnih diskontinuitet v kontaktnih ploskvah med temeljnimi konstrukcijami in tlemi.

Na osnovi začetnega stanja v tleh in konstrukciji ter sprememb obremenitev je določeno stanje ob koncu vsakega analiziranega časovnega inkrementa.

Kontrola pogojev kompatibilnosti v kontaktni ploskvi med temeljno konstrukcijo in tlemi se za vsa vozlišča v kontaktni ravnini izvaja v vsakem analiziranem inkrementu.

2. OPIS PROGRAMA

Program **SPCESOIL** za prostorske konsolidacijske in interakcijske analize je izdelan v programskem jeziku fortran ter je inštaliran na računalniškem sistemu VAX 8800 na Tehniški fakulteti v Mariboru. Varianta omenjenega programa **PLAINSOIL**, ki je namenjena analizam v pogojih ravninskih napetostnih in deformacijskih stanj pa je primerna tudi za računalnike manjših zmogljivosti.

Program je sestavljen iz naslednjih podprogramov (modulov):

Modul " *STARTT* ": koordinira delovanje celotnega programa ter upravlja in komunicira s posameznimi enotami računalniškega sistema.

Modul"*STARI*":omogoča vhod podatkov ter izračunava parametre za vodenje interakcijske analize. Modul omogoča hkratno korekcijo koordinat, kadar se odločimo za analizo na deformiranem sistemu.

Modul "*KONTROL*": opravlja funkcijo kontrole vhodnih podatkov, frontne širine, reoloških in konstitutivnih sovisnosti ter rezultatov numerične analize.

Modul"*OPTI*":izvaja optimiranje časovnega poteka numerične analize,

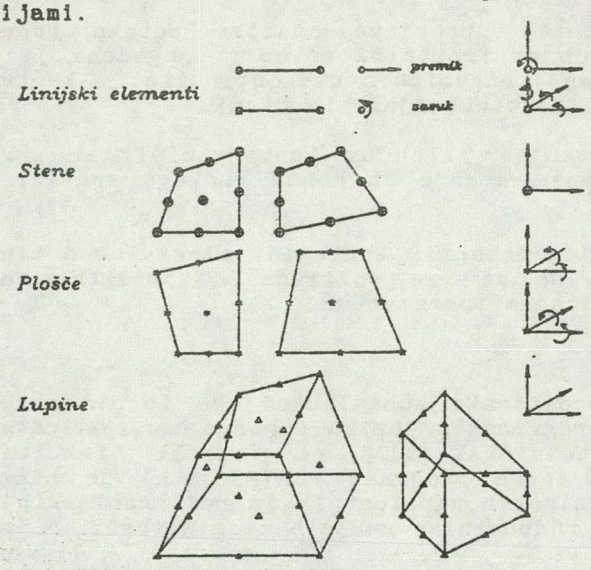
da je frontna širina sistema enačb minimalna.

Modul "MIR":določa začetno deformacijsko in napetostno stanje ter začetne porne pritiske v tleh.

Modul "REOLO":ustvarja bazo podatkov o reoloških sovisnostih za zemljine in ostale materiale,s katerimi razpolagamo.

Modul " KONST ": sestavlja bazo konstitutivnih odnosov.Za zemljine lahko uporabljamo štiri,tri in dvoparametrične hipoviskoelastične konstitutivne modele. Za betonske konstrukcije program omogoča analize v pogojih prostorskih in ravninskih deformacijskih stanj z upoštevanjem izotropnih reoloških in konstitutivnih sovisnosti.

Modul " MODEL ": obsega bazo končnih elementov,ki omogočajo ustrezno modeliranje celotnega sistema objek-temelj-tla.Za modeliranje objektov in temeljnih konstrukcij razpolagamo z linijskimi,ploskovnimi in prostorskimi končnimi elementi,ki so shematično prikazani na sliki 1. Elementi so izdelani na osnovi teorije majhnih deformacij (le pri končnih elementih za plošče so upoštevane velike deformacije).V splošnem lahko uporabljamo poljubne končne elemente s kompatibilnimi interpolacijskimi funkcijami.

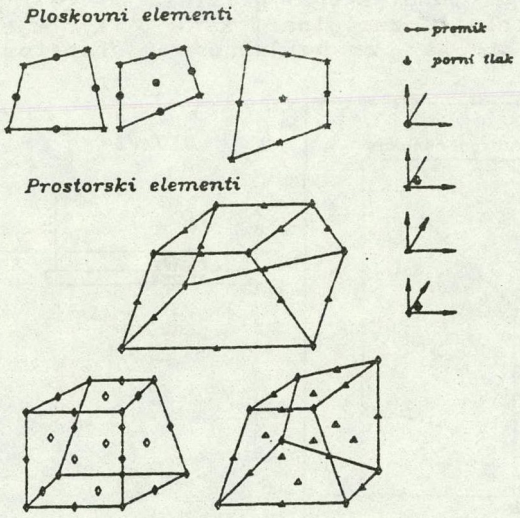


Slika 1: Shema končnih elementov za modeliranje objektov in temeljnih konstrukcij

Za modeliranje temeljnih tal program omogoča uporabo ravninskih in prostorskih konsolidacijskih končnih elementov,ki so prikazani na sliki 2.Z ozirom na opravljene testne analize sklepamo,da dajejo ustrezne rezultate le elementi,katerih interpolacijske funkcije za porne tlake ustrezajo potekom napetosti po poljih končnih elementov.Interpolacijske funkcije so za večino končnih elementov izpeljane na osnovi Lagrange-ovih polinomov. Za nekatere tipe elementov pa so podane le v numerični obliki.

Modul "MAT":osnovna funkcija tega modula je izvrednotenje togostnih in konsolidacijskih matrik objekta,temeljev in temeljnih tal ter

obremenilnega vektorja za analizo konstrukcij oz. tal s hipoviskoelastičnimi konstitutivnimi modeli. Za izvrednotenje vseh matrik in obremenilnih vektorjev za ploskovne in prostorske probleme je uporabljena numerična integracija. Za ravninske analize lahko izbiramo postopke z 9 do 25 oz. za prostorske s 27 do 216 integracijskimi točkami.



Slika 2: Konsolidacijski končni elementi za modeliranje tal

Modul " *FRONT* ": uporabljamo v programu za frontalno reševanje stemov linearnih enačb. Eliminacijo posameznih prostostnih stopenj izvaja po delih, kadar bi frontna širina matrike pri naslednjem elementu presegla širino polja, ki jo definiramo z ozirom na velikost problema in zmogljivost računalnika.

Modul "*REFRONT*": izvrednoti prirastke pomikov in pornih tlakov ob koncu analiziranega časovnega inkrementa.

Modul"*NAPET*":izračunava prirastke napetosti v poljih elementov.

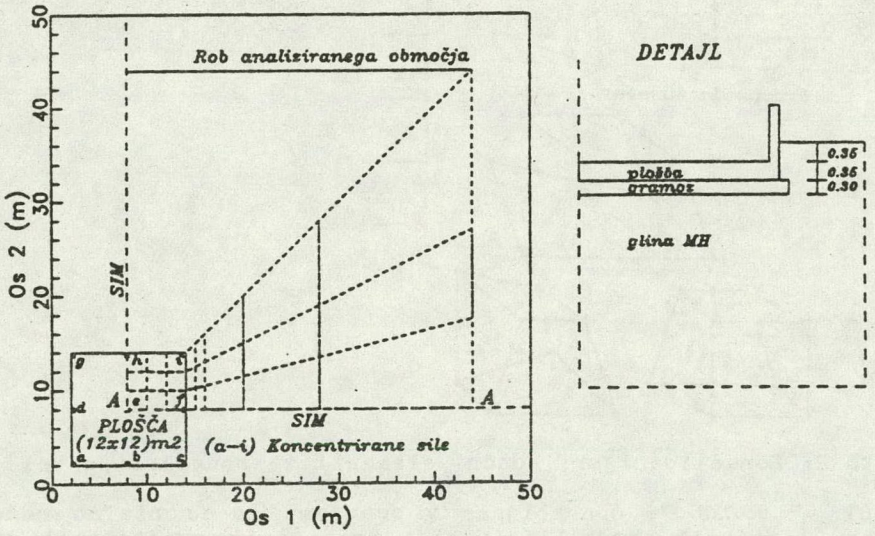
Modul " *IZHOD* " :izvaja zapise rezultatov opravljenih analiz.

3. NUMERIČNI PRIMER

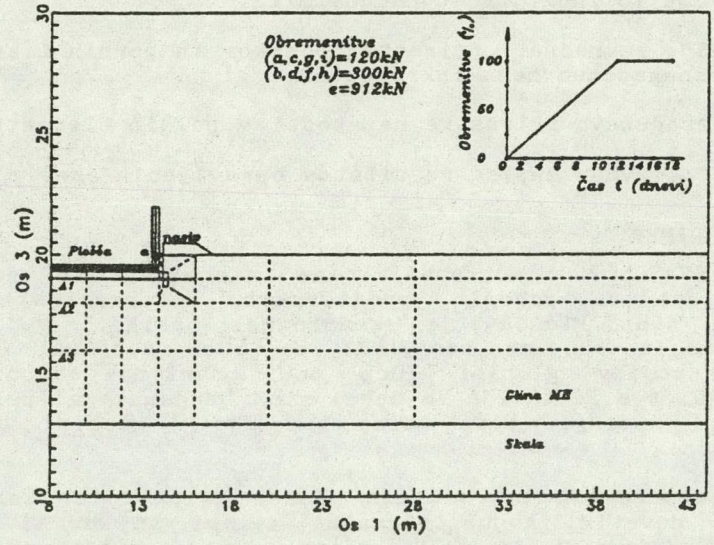
S programom SPACESOIL je analizirana interakcija AB temeljne plošče s tlemi v pogojih prostorskih deformacijskih in disipacijskih stanj. Plošča je kvadratne oblike, velikosti (12x12) m^2, debeline 35 cm ter leži na 30cm debelem sloju gramoznega nasutja, v globini 70cm pod površino obstoječega terena. Temeljna tla sestavlja 7m debel sloj barjanske gline MH, ki leži na skalni podlagi. Nivo talne vode je v globini 1m pod površino.

V analizi je upoštevana lastna teža plošče g=10kPa ter koristna obremenitev z devetimi koncentriranimi silami (a do i), ki so prikazane na slikah 3 in 4. Ob plošči je predviden dodatni zemljinski nasip višine 0.5m s prostorninsko težo γ=20kN/m^3.

Upoštevano je linearno naraščanje obremenitev s koncentriranimi silami prvih 12 dni, z zemljinskim nasipom pa 10 dni po pričetku gradnje objekta.
Geometrijski, stratigrafski in obremenilni podatki temeljne plošče so prikazani na slikah 3 in 4.
Za zemljino MH so upoštevane enake reološke in konstitutivne sovisnosti, ki so podane v [1], začetna sferna deformacijska hitrost $\dot{r}=10^{-11}s^{-1}$, količnik mirnega zemeljskega pritiska $K = 0.67$ ter izotropni tenzor propustnosti zemljine ($k_{ij} = \delta_{ij} k$), kjer je k_0 koeficient propustnosti, ki ga za poljubno napetostno in



Slika 3: Tloris temeljne plošče z geometrijskimi, stratigrafskimi in obremenilnimi podatki



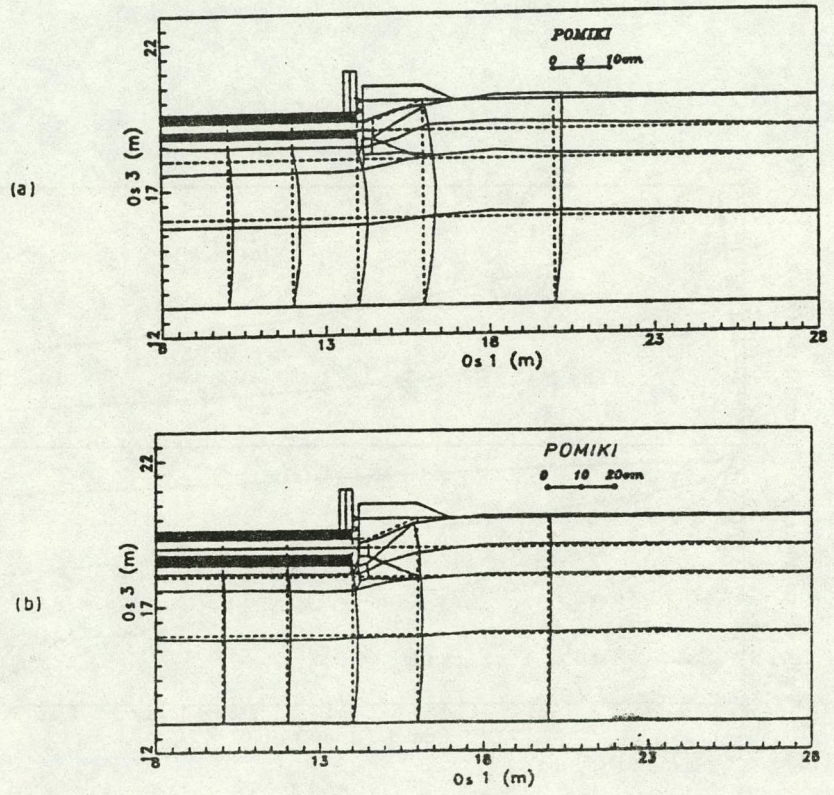
Slika 4: Prerez A-A analiziranega območja

deformacijsko stanje izvrednotimo v odvisnosti od poroznosti z relacijo $k=k_0 \exp(k_1 e)$ (e označuje količnik por, k_0 in k_1 pa sta za izbrano zemljino konstanti). V analizi sta upoštevani vrednosti $k_0=10m/s$ ter $k_1=2.3$.

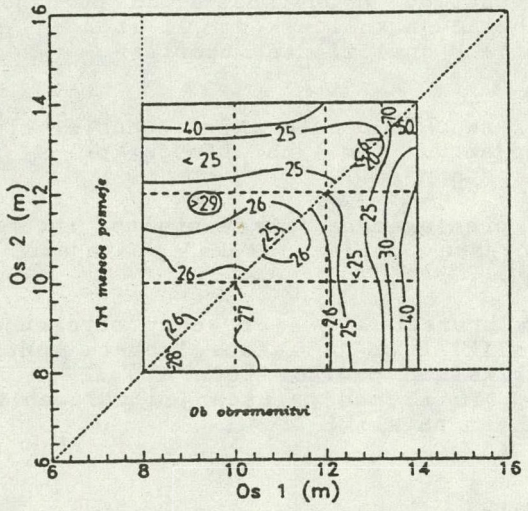
Temeljna tla so diskretizirana z 90 prostorskimi končnimi elementi (z 68 prostostnimi stopnjami), temeljna plošča pa s petimi elementi (s 40 prostostnimi stopnjami).

Za ponazoritev primernosti predlaganega inkrementalno interaktivnega postopka konsolidacijske analize tukaj navajamo nekaj najzanimivejših rezultatov.

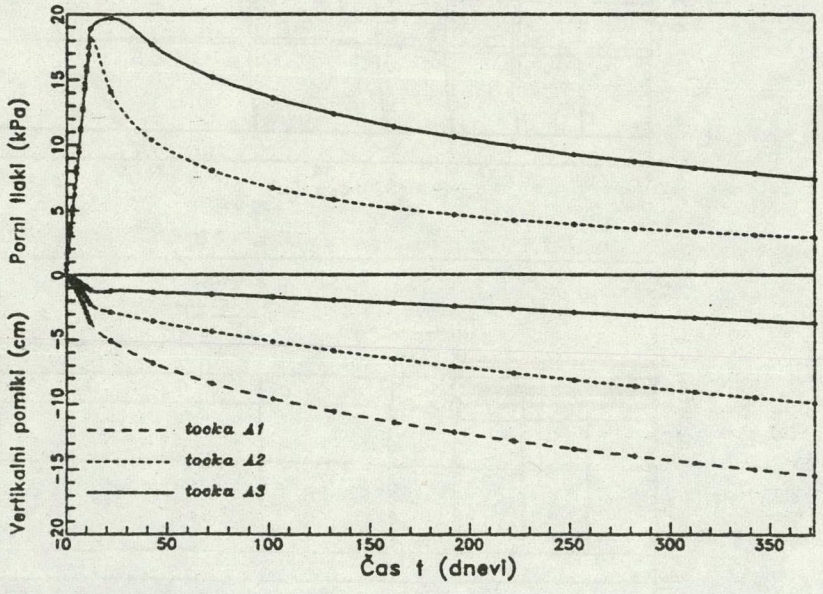
Slika 5 prikazuje pomike v prerezu A - A ob koncu obremenjevanja in tri mesece po njem. Na sliki 6 so prikazane izobare kontaktnih tlakov. Časovni potek vertikalnih pomikov točk A1, A2 in A3 ter pornih tlakov v točkah A2 in A3 med naraščanjem obremenitev in eno leto kasneje je prikazan na sliki 7.



Slika 5: Pomiki v prerezu A-A; (a) ob obremenitvi,
(b) tri mesece pozneje



Slika 6: Izobare kontaktnih tlakov (kPa)



Slika 7: Časovni potek pornih tlakov in vertikalnih pomikov v točkah A1, A2 in A3 (glej sliko 4)

4. ZAKLJUČEK

Ker je bil program SPACESOIL poleg prikazanega zgleda verificiran tudi na drugih primerih, rezultati numeričnih analiz pa se dobro ujemajo z rezultati trenskih meritev, priporočamo uporabo prikazanega programa za natančnejše analize konsolidacije mehkih koherentnih zemljin in interakcije med objekti in tlemi.

Program SPACESOILje zlasti primeren za analize interakcijskih problemov pri kompleksnih gradnjah objektov na slabo nosilnih tleh. Ker se z dobljenimi rešitvami lahko dovolj natančno simulirajo konsolidacijski procesi v naravi, je v veliko pomoč pri projektiranju in izvajanju del v vsakdanji praksi.

LITERATURA

1. S. ŠKRABL, Interakcija členkasto povezanih temeljnih konstrukcij s tlemi, Doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta, 1991.
2. L. TRAUNER and S. ŠKRABL, Soils Consolidation Using FEM, FEMSA 92, Proceedings of the 11th Symposium on Finite Element Methods in South Africa, Cape Town, 1992.
3. L. TRAUNER and S. ŠKRABL, Numerical Solution of Hinge - Tied Foundation Construction and Soils Interaction, BULLETINS FOR APPLIED MATHEMATICS, BAM 703-719/91 (LVII), ISSN 0133 - 3526, Budapest, August, 1991.
4. L. TRAUNER, Computer Aided Design of Time Depending Structure-Soil Interaction, Proc. 10th TCICBRSD - CIB 86 (1), 215 - 222, Washington, 1986.
5. L. TRAUNER, Performance of the Hinge-Tied Plate Foundation, Proc. 12th ICSMFE/CIMSTF 1989 (4), Rio de Janeiro, 1989.

Mag. Bojan Žlender in Dr. Ludvik Trauner
Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru

PROCESNO VODENE LABORATORIJSKE GEOTEHNIČNE PREISKAVE

POVZETEK

Članek podaja izvirne postopke za izvajanje nekonvencionalnih procesno vodenih laboratorijskih preiskav stisljivosti koherentnih zemljin. Laboratorijski aparati, merilna oprema, računalniška strojna in programska oprema tvorijo celoto, imenovano merilni sistem. Merilni sistem je testiran na klasičnih aparatih (edometer, cilindrični triaksialec, strižni aparat), ter prototipih edometra s kontinuirnim obremenjevanjem, "biaksialnega" in "triaksialnega" edometra. Procesno vodene preiskave tečejo avtomatsko po vnaprej izbranih in programiranih postopkih, ob možni sprotni interpretaciji rezultatov. Na osnovi številnih testnih primerov in izpopolnjene teoretične podlage, je razvitih več predlogov za procesno vodene preiskave stisljivosti zemljin kot npr. reducirani konvencionalni testi, hitri testi s kontinuirnim obremenjevanjem in testi s simuliranjem napetostne zgodovine.

PROCESS GUIDED GEOTECHNICAL LABORATORY TESTS

SUMMARY

In this paper we are presenting some original processes for performing nonconventional process guided laboratory tests of coherential soil compressibility. The measuring system consists of laboratory apparatus, measuring equipment, hardware and software. The measuring system has been tested by a classical apparatus (oedometer, cylindrical threeaxial apparatus, shear testing apparatus) and by a prototype continuous loading oedometer and a "biaxial" and "threeaxial" oedometer.The process controlled investigation runs automatically according to the in advance selected programmed procedures, thus enabling an immediate interpretation of results. On the basis of numerous test examples and theoretical finings we have developed several suggestions for process controlled compressibility tests of soils: the reduced conventional tests, the rapid continuous loading test and the stress history simulation test.

1. UVOD

Prispevek podaja kratek povzetek dosedanjega raziskovalnega projekta katerega osnovni namen je bil razviti teoretično podlago, ki bi s primerno laboratorijsko in računalniško opremo omogočala vpeljavo novih metod v geotehničnih preiskavah. Le te bi predvsem racionalizirale potek preiskav, omogočale hitrejše delo in boljše poznavanje reoloških lastnosti zemljin.

Lastnosti zemljin v splošnem proučujemo na treh nivojih:

Na mikro nivoju raziskujemo interakcijo med posameznimi delci zemljine in skupinami delcev ter na podlagi ugotovljenih sprememb strukture in mikro zgradbe podajamo napetostno deformacijske zakonitosti v masi zemljine (kontinuumu). Prav tako na tem nivoju ugotavljamoo vse osnovne in bistvene fizikalne lastnosti zemljine, na podlagi katerih podamo nek fizikalni model.

Makro nivo zajema zemljino kot kontinuum, skladen s konstitutivnimi zakoni. Z ozirom na izbrano (najprimernejšo) konstitutivno teorijo (npr. teorija elastičnosti, hiper., hipoelastičnosti, elastoviskoplastičnosti itd.) podamo konstitutivni model. Konstitutivne enačbe formuliramo na podlagi kombinacij več različnih preprostih testov, s katerimi ugotavljamo posamezne lastnosti zemljine (npr. enoosni test, edometrski, triaksialen test stisljivosti, strižni preiskus itd..)

Mega nivo podaja celotno geotehnično strukturo, vključujoč z okolico. Rešitve robnih problemov dobimo z uporabo makro konstitutivnih enačb (npr. uporaba povratne analize na prototipih).

V članku bomo obravnavali raziskave reoloških lastnosti zemljin na makro nivoju vpeljavo procesno vodenih laboratorijskih preiskav.

2.0 MERILNI SISTEM

Laboratorijski aparati, merilna oprema ter računalniška strojna in programska oprema tvorijo celoto, ki jo bomo imenavali merilni sistem.

2.1 Laboratorijski aparati

V merilni sistem so vezani klasični aparati za izvajanje naslednjih standardnih laboratorijskih geotehničnih preiskav: klasične edometrske preiskave stisljivosti, enoosne preiskave, cilindrične triaksialne preiskave, ter direktne in rotacijske strižne preiskave.

Za izvajanje številnih nekonvencionalnih preiskav smo izdelali prototipne edometrske aparate; edometer s kontinuirnim obremenjevanjem, edometer s triosnim napetostnim stanjem ter edometer za hkratno ugotavljanje anizotropnih lastnosti zemljin.

Prototip (monoksialnega) edometra s kontinuirnim obremenjevanjem

V laboratoriju za mehaniko tal na TF v Mariboru smo v letih 1986 do 1989 razvili, izdelali in sprotno izboljševali oziroma dograjevali prototip edometrskega aparata s kontinuirnim obremenjevanjem, kar predstavlja pionirsko delo na tem področju pri nas. Osnovni namen aparata je hitrejše določevanje nelinearnih časovno odvisnih napetostno deformacijskih sovisnosti za koherentne zemljine.

Edometer se sestoji iz trinožne nosilne konstrukcije v katero se vgradi cilindrični jekleni oklep premera 50 mm in višine 20 mm. Na podložni ploskvi vzorca se nahaja porozni kamen premera 30 mm, skozi katerega lahko izteka voda iz vzorca v iztočno (kapilarno) cev. Porozni kamen s filtrskim papirjem, pritrjenim na vzorec, preprečuje izpiranje finih zrnc iz vzorca. Na kapilarno cev lahko pritrdimo merilec pornih tlakov ter zunanjo kapilarno cev, s pomočjo katere po potrebi dosegamo popolno začetno zasičenost vzorca, ustvarjamo osnovni porni tlak v vzorcu ipd. Enako je s poroznim kamnom zaščitena gornja ploskev vzorca, kjer je omogočeno prosto iztekanje porne vode. Na gornjo ploskev vzorca pritiska bat, ki je preko reduktorja povezan s sinhronim izmeničnim elektromotorjem. Elektromotor z rotacijo preko reduktorja omogoča pomik bata gor ali dol in tako povzroča obremenitve na površino vgrajenega vzorca. Na elektromotor sta vgrajeni sklopki s katerima lahko izbiramo med ročnim in strojno vodenim

preklaplanjem elektro motorja. Elektromotor je s kablom povezan na ADU pretvornik, preko katerega dobiva ukaze za preklop oz. pogon določenega števila vrtljajev. Stikalo za ročno vodenje služi predvsem za pomik bata, kadar vgrajujemo oz. izvzemamo vzorec iz aparata po končani preiskavi.

Prototip "biaksialnega" edometra

. Takoimenovani "biaksialni edometer je v osnovi zasnovan kot monoksialni (klasični edometri), le da nam merilci bočnih napetosti omogočajo ugotavljanje triosnega napetostnega stanja med preiskavo. To nam omogoča interpretacijo elastičnih modulov K in G ali pa E in ν. Merilci pornih tlakov na več nivojih nam omogočajo merjenje funkcije disipacije pornih tlakov ob konsolidaciji. Vodotesna izvedba aparata nam omogoča različne variante preiskav stisljivosti, kot npr.enoosno drenirana preiskava, nedrenirana kompresijska preiskava, razne preiskave propustnosti.

Prototip "triaksialnega" edometra

Takoimenovani "triaksialni" edometer je narejen enako kot biaksialni, le v kvadrični obliki. Omogoča nam enako izvajanje standardnih preiskav stisljivosti kot biaksialni edometer, poleg tega pa še lahko ugotavljamo anizotropne lastnosti zemljine.

2.2 Merilna oprema

Vzporedno z razvojem prototipa monoksialnega edometra s kontinuirnim obremenjevanjem smo razvijali tudi merilno opremo, ki jo tvorijo:

- Merilec obremenitvene napetosti je sestavljen iz merilne sonde, vgrajene v aparat, veznega kabla in ojačevalca s kalibratorjem in indikatorjem napetosti.

- Merilec pomikov sestavljajo merilno tipalo z mikrometrom za direktno odčitavanje pomikov, kabli in ojačevalec z indikatorjem pomikov. Ojačevalec omogoča digitalno odčitavanje pomikov in časa. Prav tako je ojačevalec priključen na ADU pretvornik, tako da je celotni časovni potek pomikov hranjen v računalniškem spominu v obliki električne napetosti U(V). Električna napetost se hkratno preračuna v pomike w(mm) in hitrost pomikov w(mm/s).

- Merilec pornih tlakov tvorijo merilna sonda vgrajena na iztočno cev aparata, kabli in ojačevalec z indikatorjem pornih tlakov. Merilec je izdelek firme Wykeham Farrance in je že tovarniško umerjen tako, da je možno digitalno odčitavanje velikosti pornih tlakov u (kPa). Ojačevalec je kabelsko vezan na ADU pretvornik po enakem principu kot ojačevalec obremenilnih napetosti.

- merilec bočnih napetosti, ki ga sestavljajo membranske merilne sonde na oklepu vzorca, vezani na ojačevalec električne napetosti s kalibratorjem in indikatorjem napetosti.

Uporaba merilnega sistema je bila testirana hkrati s prototipom edometra s kontinuirnim obremenjevanjem, kasneje pa tudi na klasičnih aparatih in biaksialnem in triaksialnem edometrskem aparatu. Testne preiskave so pokazale na precejšnje prednosti, ki jih nudijo procesno vodene preiskave.

Te so predvsem v popolni avtomatiziranosti dela, ki že med preiskavo omogoča določeno interpretacijo rezultatov. Prav tako je bistveno skrajšan čas preiskave. Nadalje nam poljubno izbrane poti obremenjevanja vzorca, deformacij vzorca ali pornih tlakov v vzorcu omogočajo širok spekter preiskav in s tem dober vpogled v fizikalne lastnosti zemljin.

2.3 Računalniška oprema

Strojno opremo tvori mikroračunalnik Hewlett Packard, ki predstavlja osnovo, preko katere s pomočjo procesnega programa vodimo preiskavo. Vezan je na ADU pretvornik, s katerim komunicira na nivoju komand, tovarniško vgrajenih v operacijski sistem pretvornika.

Mikroračunalnik je povezan z računalniškim sistemom, v okviru katerega je grafična oprema z grafičnim terminalom, tiskalnikom in risalnikom.

Programsko opremo tvorijo:

- Osnovni procesni programi zapisani na glavnem mikroračunalniku. Program služi za komuniciranje v merilnem sistemu preko katerega mikroračunalnik daje krmilne komande in prejema željene meritve.

- Programi za grafični prikaz rezultatov meritev, ki so uporabni za časovni prikaz spreminjanja merjenih spremenljivk : obremenilnih napetosti σ_{zz}, bočnih napetosti σ_{rr}, pornih tlakov u, pomikov w_{zz}, količnikov por e in njihovih hitrosti $\dot{\sigma}_{zz}$, $\dot{u}$, $\dot{w}_{zz}$, $\dot{e}$, ter po želji še ostalih spremenljivk.

- Program za grafičen prikaz sovisnosti med posameznimi spremenljivkami, kot npr. napetostno deformacijska sovisnost (σ - ε diagram) ipd.

- Programi za statistično obdelavo podatkov in napoved obnašanja vzorca pod nekimi pogoji.

Z vzporednim razvojem programske opreme je tako omogočena procesno vodena preiskava stisljivosti, ki teče avtomatsko, po naprej krmiljenem postopku. Omogoča tudi sprotno obdelavo in prikaz rezultatov preiskave ter hranjenje celotnega poteka preiskave z merjenimi količinami in ostalimi željenimi parametri v računalniškem spominu.

3.0 EKSPERIMENTALNE ANALIZE

Na podlagi teoretičnega dela in številnih eksperimentalnih raziskav smo razvili tri tipične hitre procesno vodene preiskave stisljivosti zemljin, ki jih lahko izvajamo na omenjenih edometrskih ali triaksialnih aparatih.

3.1 Reducirani konvencionalni test

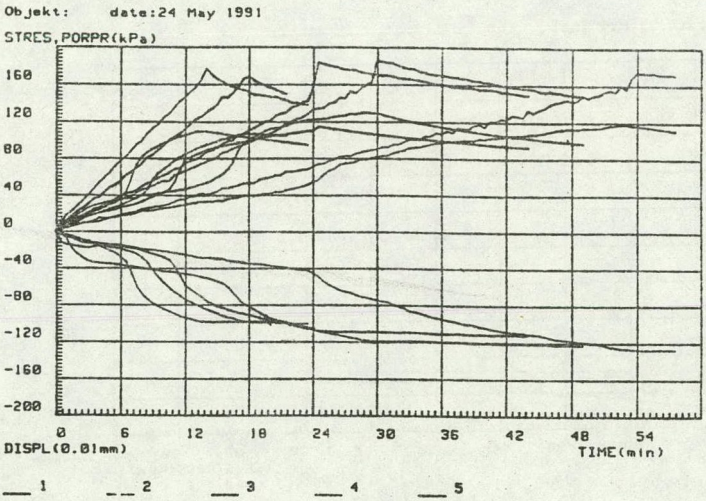
Test izhaja iz konvencionalnih testov stisljivosti. Prav tako lahko predpostavimo, da ima porni tlak po obremenitvi neko tipično časovno krivuljo, iz katere lahko razberemo (ob meji med primarno in sekundarno konsolidacijo) karakteristične čase. Za vsak karakterističen čas lahko izrazimo napetostno deformacijski odnos, izražen z deformacijo kot funkcijo efektivnih napetosti. Za vsak čas je funkcija zvezna. Ob poznavanju sekundarne konsolidacije pri osnovnem in najvišjem obremenilnem stanju izrazimo deformacijsko napetostno funkcijo z dvema točkama, ostale točke lahko predpostavimo iz poznavanja funkcij za prejšnje karakteristične čase, ter na podlagi statistične obdelave podatkov in napovedi obnašanja vzorca. Ves računski proces se izvaja sprotno med preiskavo tako, da je možna sprotna interpretacija rezultatov. Uporabnost testa je potrjena s številnimi vzporedno izvajanimi konvencionalnimi in reduciranimi konvencionalnimi testi identičnih zemljin na edometrskih in triaksialnih aparatih.

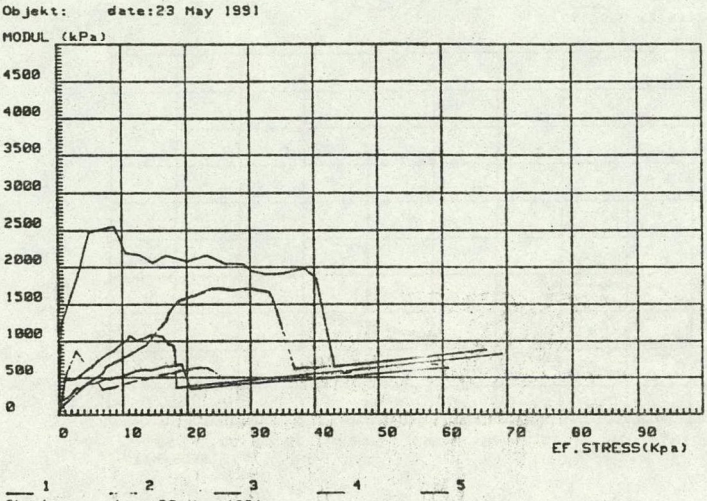
3.2 Hitri test s kontinuirnim obremenjevanjem

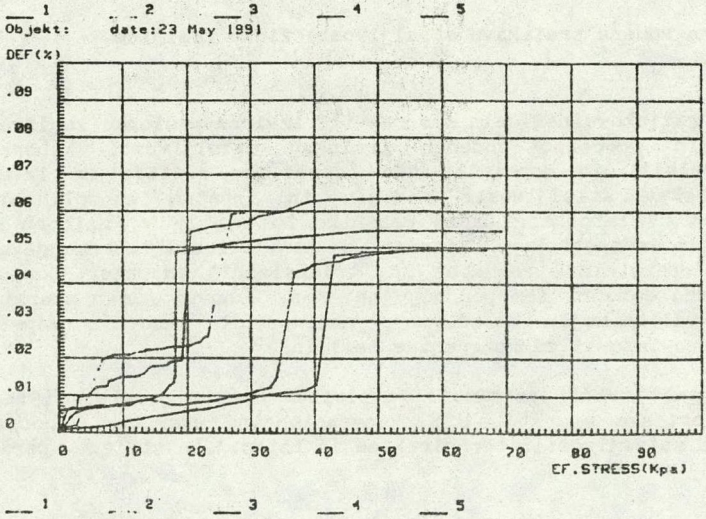
Tako imenovani hitri test s kontinuirnim obremenjevanjem omogoča poljubno izbrane poti obremenjevanja vzorca. Njegova prednost je predvsem v izredno kratkem času preiskave in enostavni formulaciji rezultatov, ki so podani sprotno med izvedbo preiskave. V prispevku so prikazani rezultati testa na "mehki" zemljini ob obremenjevanju z različno izbrano hitrostjo obremenitvenih napetosti. Iz grafično podanih rezultatov so lepo razvidne prekonsolidacijske krivulje, ki nastopijo zaradi predhodnega napetostnega stanja zemljine v naravi in lom strukture, ki se pojavi že pri zelo nizkih napetostnih stanjih.

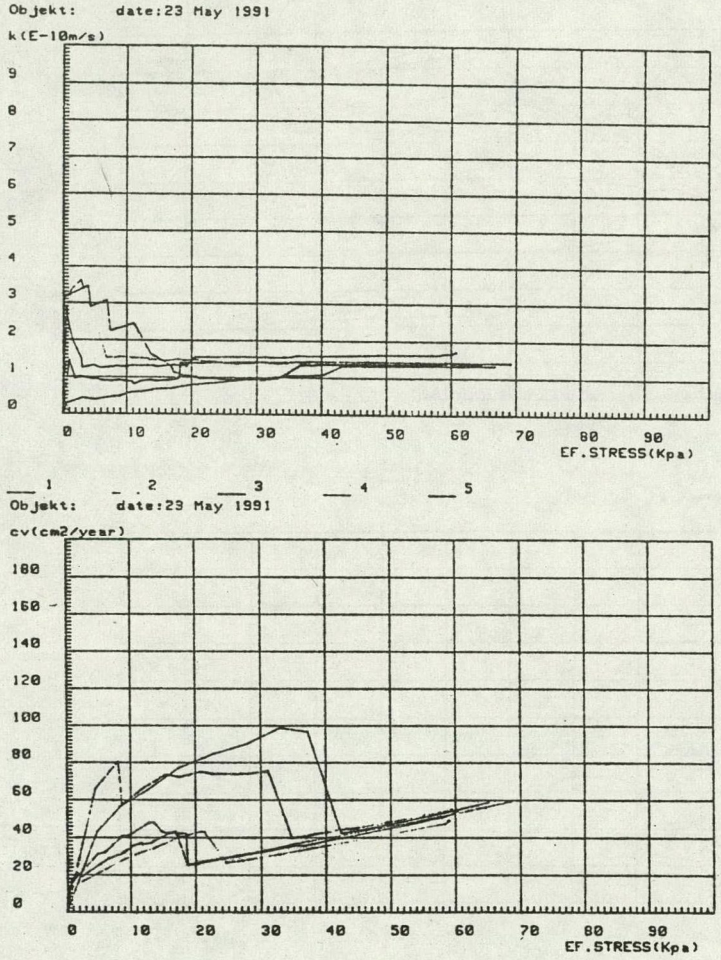
3.3 Test s simuliranjem napetostne zgodovine

Test upošteva stanje zemljine v naravi pred končanim obremenjevanjem (gradnjo), med njim in po njem. Iz predpostavljenega vpliva debeline zemljinskega sloja in filtracijskih poti na konsolidacijski proces, lahko za poznano slojevitost tal in časovni potek obremenjevanja, določimo primerjalne čase za edometrski ali triosni aparat. Tako imamo pri laboratorijski preiskavi tri reducirana obdobja: prvo obdobje zajema preteklost, ko pustimo vzorec konsolidirati pri obremenitvi kot je bila v naravi; drugo obdobje obravnava obremenjevanje, ko skušamo čimbolje simulirati potek gradnje; v tretjem obdobju se vzorec dokončno konsolidira ob novem napetostnem stanju. Tako dobimo napetostno deformacijski odnos, ki dokaj ustreza stanju v naravi.


Objekt: date:24 May 1991
STRES.PORPR(kPa)
160
120
80
40
0
-40
-80
-120
-160
-200
0 6 12 18 24 30 36 42 48 54
DISPL(0.01mm)
TIME(min)
1 2 3 4 5


Objekt: date:23 May 1991
MODUL (kPa)
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
EF.STRESS(Kpa)
1 2 3 4 5


Objekt: date:23 May 1991
DEF(%)
.09
.08
.07
.06
.05
.04
.03
.02
.01
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
EF.STRESS(Kpa)
1 2 3 4 5



Slika 1: Proceno vodena preiskava stisljivosti židke zemljine

4.0 ZAKLJUČEK

V dosedanjem raziskovalnem delu smo razvili izvirne postopke za izvajanje nekonvencionalnih procesno vodenih preiskav stisljivosti koherentnih zemljin. Izpopolnili in dopolnili smo teoretične rešitve za izvajanje poljubnih preiskav stisljivosti zemljin in izračun konsolidacijskih procesov v tleh. V laboratoriju za mehaniko tal na TF v Mariboru smo v razvili prototip edometrskega aparata s kontinuirnim obremenjevanjem, takoimenovani "biaksialni" edometer in "triaksialni" edometer, kar predstavlja pionirsko delo na tem področju pri nas. Osnovni namen aparatov je hitrejše in kvalitetnejše določevanje nelinearnih časovnih napetostno deformacijskih sovisnosti za koherentne zemljine.

V letu 1991 smo izvedli poiskusno razširitev merilnega sistema tudi na ostale laboratorijske aparate, t.j. konvencionalne edometre, enoosne in triosne aparate stisljivosti, ter direktne in rotacijske strižne aparate.

Vzporedno z razvojem laboratorijskih aparatov smo razvili in izpopolnjevali tudi merilno opremo ter računalniško strojno in programsko opremo. Tako tvorjeno celoto aparata, meril in računalniške opreme (imenovano merilni sistem) smo praktično testirali v letih 1988 do 1992.

Testne preiskave so pokazale na precejšnje prednosti, ki jih nudijo procesno vodene preiskave. Te so predvsem v:

- dobro definiranih robnih pogojih,

- natančno kontroliranih pogojih dreniranja porne vode,

- obremenlnih poteh, ki so lahko poljubno izbrane glede napetosti, pornih tlakov, deformacij ali njihovih razmerij,

- deformacijsko polje lahko dobro apliciramo na konstitutivne pogoje,

- popolni avtomatiziranosti dela, ki že med preiskavo omogoča določeno interpretacijo rezultatov in

- času preiskave, ki je bistveno skrajšan, kar nam omogoča tudi večje število preiskav.

Ko smo za neko zemljino razvili konstitutivne odnose konsistentne z njenimi fizikalnimi lastnostmi, lahko podamo in identificiramo vse karakterne parametre, ki definirajo konstitutivne odnose za to zemljino. Pri tem je bistveno izbrati in izvesti primerne laboratorijske (in terenske) testne preiskave s katerimi določimo posamezne parametre. To je izredno pomemben korak, ki se mu v praksi pogosto posveti premalo pozornosti in nas lahko zavede v napačne predstave o lastnosti zemljine. Zato je naša pozornost še posebej usmerjena na ta korak. V ta namen smo v laboratoriju za mehaniko tal razvili klasične in nekonvencionalne prototipne laboratorijske aparate, merilno opremo ter računalniško strojno in programsko opremo, ki tvorijo celoto imenovano merilni sistem. Merilni sistem je narejen tako, da omogoča poljubno izbrane konvencionalne in nekonvencionalne procesno vodene preiskave, tj. enoosne preiskave stisljivosti, direktne in rotacijske strižne preiskave, konvencionalne in nekonvencionalne edometrske preiskave stisljivosti, edometrske preiskave z ugotavljanjem trisonih napetostno deformacijskih odnosov in pogojev anizotropije, ter cilindrične in kvadrične triaksialne preiskave.

L I T E R A T U R A :

1. Ludvik Trauner s sod., "Edometer s kontinuirnim obremenjevanjem" 1. do 4. del, Raziskovalna naloga PORS, 1986 do 1990

2. Bojan Žlender, "Procesno vodena edometrska preiskava" Magistrsko delo, Univerza v Mariboru, 1989

3. Ludvik Trauner, Bojan Žlender, "Procesno vodena edometrska preiskava", 5. seminar Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana, 1990

4. Ludvik Trauner, Bojan Žlender in Stanislav Škrabl, "Proces guided oedometer tests", X. European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Florence, Italija, 1991

dr.Ludvik Trauner, mag.Bojan Žlender in dr. Stanislav Škrabl
Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta-Gradbeništvo

UPORABA RAČUNALNIŠKE OPREME PRI IZVAJANJU TERENSKIH GEOTEHNIČNIH PREISKAV

POVZETEK

V članku je podanih nekaj tipičnih primerov računalniško podprtih terenskih eksperimentalnih preiskav, katerih meritve prikazujejo pomen in uporabnost le teh za analize napetostno - deformacijskih odnosov gradbenih objektov. Meritve na eksperimentalnem modelu temeljne konstrukcije na slabo nosilnih tleh, dajejo pomembne in nenadomestljive podatke o posledicah gradnje na takšnem terenu. Obremenilni modelni preizkus členkasto povezanih temeljnih plošč potrjujejo predvidevanja o prenašanju obremenitev preko členkastih zvez na sosednje elemente. Dokazano je, da so odnosi med napetostmi in deformacijami nelinearni in časovno odvisni. Meritve napetosti in deformacij konstrukcije objekta in tal med samo gradnjo in po izgradnji so služile kot kontrola teoretičnih napovedi podanih v projektu.

USING COMPUTER TECHNOLOGY FOR GEOTECHNICAL FIELD INVESTIGATIONS

SUMMARY

The paper present some typical examples of computer aided field tests. The performance measurements show their importance and applicability for the analysis of stress/strain relationships of buildings. Measurements performed on the experimental foundation model resting on soft soil have yielded important inapplicable information about the consequences of construction on such soils. Model testing of loaded hinge tied foundation plates has confirmed the assumed transfer of loads via hinge ties to the neighbouring plates. It is proved that the stress/strain relationships are nonlinear and time dependent. Measurements of stress and deformations of the structure and the soil during construction and after it served to verify the theoretical assumptions given in the project.

1.0 UVOD

Geotehnične preiskave so v gradbeni praksi tako pomembne, da si brez njih težko predstavljamo sodobno inženirsko delo. Izvajamo jih že v fazi zasnove nekega objekta, v fazi projektiranja in tehnoloških priprav, med samo gradnjo in tudi po končani izgradnji objekta. Gradnja kakršnihkoli zahtevnejših objektov oziroma različni posegi v tla zahtevajo pozorno geotehnično študijo, zasnovano na osnovi skrbno opravljenih terenskih in laboratorijskih preiskav. Pri tem v praksi nastopata dva tipična problema : prvi predstavlja predvsem visoke stroške, ki se pojavijo s preiskavami na terenu; drugi pa vrsta tehničnih in teoretičnih težav, ki nas omejujejo pri izbiri potekov preiskav v laboratoriju. Vsekakor se vseh reoloških odnosov v tleh z običajnim praktičnim pristopom ne da zajeti, lahko pa s sodobnimi postopki raziskav in eksperimentalnih preiskusov ob hkratni uporabi računalniške opreme aproksimativno simuliramo reološko obnašanje tal in podamo dokaj natančno napoved dogajanj v zemeljskem polprostoru.

Eksperimentalno mehaniko tal v splošnem delimo na tri področja:

i. terenske preiskave,

ii. laboratorijski testi vključno z določitvijo fizikalnega modela,

iii. kontrola lastnosti tal s povratnimi analizami ob izbiri primernih prototipnih modelov ali na grajenih oziroma že zgrajenih objektih (Ob kvalitetnih in pravilno izbranih meritvah lahko dobimo koristne povratne informacije o lastnostih tal).

Namen tega članka je prikazati pomen in uporabnost računalniške opreme v tretjem slučaju to je pri terenskih meritvah (preiskavah), za povratne analize napetostno - deformacijskih odnosov na gradbenih konstrukcijah in v temeljnih tleh.

V članku so podani primeri raziskav, ki smo jih izvedli:

- Eksperimentalni preizkus nosilnosti plitvega temeljenja (na modelu je simulirano temeljenje objekta na mehkih tleh in posledice kritičnih obremenitev).

-Modelni preizkus v obliki členkasto povezanih temeljnih plošč.

-Raziskave med gradnjo objekta z meritvami napetostnih sprememb v konstrukciji objekta in v tleh, ter s hkratnim spreminjanjem absolutnih in relativnih posedkov objekta.

-Meritve na že zgrajenem objektu z ugotavljanjem napetostno deformacijskega stanja v tleh in konstrukciji.

2.0 RAČUNALNIŠKA IN MERILNA OPREMA

Preiskave smo izvajali z razpoložljivo opremo, ki jo imamo v Laboratoriju za mehaniko tal na Tehniški fakulteti v Mariboru.

Za meritve normalnih napetosti (kontaktnih napetosti in osnih komponent napetosti v polprostoru smo uporabljali merilno opremo firme GEONOR iz Norveške. Opremo tvorijo merilne sonde (premera ϕ=150 mm in višine d=50 mm) ter mikroračunalnik, ki služi za programiranje in odčitavanje rezultatov. Merilne sonde delujejo na principu frekvence notranje membrane, ki se pod vplivom različnih napetostnih stanj spreminja. Računalnik spremlja frekvenco v sondi in jo sprotno pretvarja v ekvivalentno napetostno stanje. Uporabljali smo tudi merilne sonde za meritev enoosnih in svernih komponent napetosti v merilnem mediju. Sonde delujejo na principu membrane, ki ustvarja notranjo napetost v fluidu, ki se nahaja v sondi. Meritve so lahko ročne ali po potrebi računalniško vodene (predvsem pri dinamičnih preiskavah). Meritve pornih tlakov v tleh smo izvajali z merilci pornih tlakov, ki delujejo na principu odpora membrane na pritisk porne vode. Meritve notranjih napetosti v konstrukcijah smo izvajali s pomočjo el. lističev vezanih na merilno in računalniško opremo.

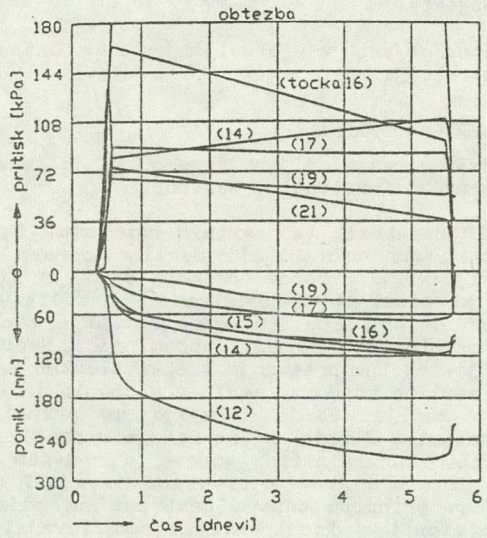
3.0 EKSPERIMENTALNI PREIZKUS NOSILNOSTI PLITVEGA TEMELJNENJA NA MODELU ŽALUZIJSKE TEMELJNE PLOŠČE NA MEHKIH TLEH

V fazi priprave gradnje stanovanjske soseske na Ljubljanskem barju smo izvedli terenski preizkus nosilnosti plitvega temeljenja na mehkih tleh. Preiskus smo izvedli na modelu AB temeljne plošče dimenzij 7.0 m x 2.0 m in debeline 10 cm. Plošča je bila vzdolžno členkasto pripeta na sosednje konstrukcije. Model tako tvori celoto sestavljeno iz plošče in sosednjih objektov, s podajnimi členki. Temeljna konstrukcija je bila zgrajena na izrazito slabo nosilnih barjanskih tleh, katerih gornji sloj tvori cca 6 m debel sloj šotnega šaša, ki z globino prehaja v cca 6m debel sloj lahko gnetne gline in še globje v kvalitetnejše glineno prodne materijale. Tla so 1m pod koto terena prepljavljena s talno vodo z minimalnim pornim nadtlakom. Pred izgradnjo modelne konstrukcije smo v tla vgradili merilne sonde za meritev napetosti in sonde za meritev tlakov porne vode. Konstrukcijo smo opremili z višinskimi reperji za merjenje posedanja ter merilnimi sondami za meritev napetosti za zasledovanje kontaktnih tlakov med tlemi in temeljno ploščo. Tako vgrajena merilna oprema vezana z mikroračunalnikom je tvorila celoto,

ki je hkrati z geodetskimi meritvami omogočala celovit vpogled v časovne napetostno deformacijske spremembe v tleh in konstrukciji.

3.1 Potek preiskave

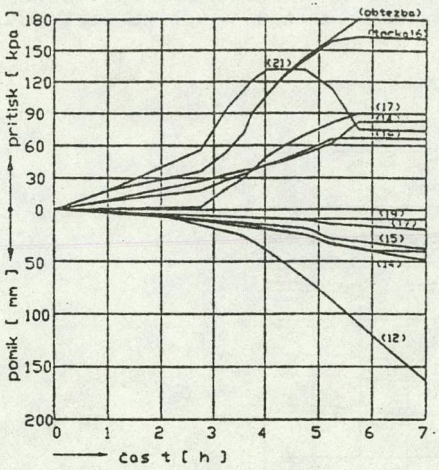
S terenskim eksperimentalnim preizkusom smo časovno simulirali obremenjevanje objekta med gradnjo in zasledovali napetostno - deformacijske odnose v tleh in na kontaktu med tlemi in konstrukcijo, kot posledico obremenitev. Naredili smo dobro primerjavo med teoretičnimi analizami in dejanskim stanjem v naravi. Hkrati nam je model omogočil tudi simuliranje obremenitev, ki povzroče v tleh napetosti na meji porušitve ob velikem popuščanju zemljin, ko se že kažejo lokalni znaki loma tal. Preizkus je obsegal tri faze: fazo obremenjevanja konstrukcije, fazo konstantne obremenitve konstrukcije in fazo razbremenitve na prvotno napetostno stanje.



Slika 1: Potek eksperimentalne preiskave, časovni razvoj kontaktnih tlakov in deformacij tal in konstrukcije

Faza obremenjevanja

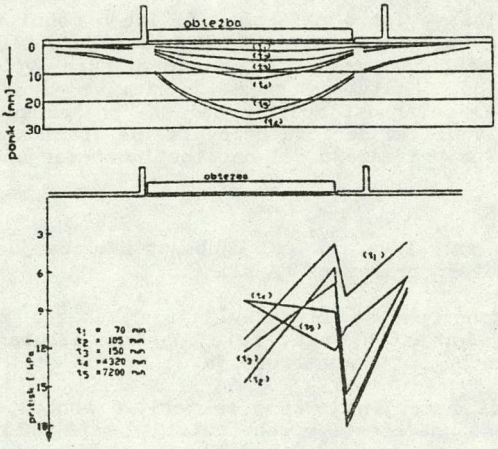
V preizkusu smo temeljno ploščo obremenili s časovno naraščajočo obtežbo, kot je prikazano na sliki 2. Iz vzporedno merjenih kontaktnih napetosti med tlemi in temeljno konstrukcijo in pomikov konstrukcije (glej sliko 2 in sliko 3) vidimo, da na deformiranje tal močno vplivajo deformacijski pogoji konstrukcije. Tako nastopijo v prvotni fazi, kot posledica členkaste vezave na sosednje konstrukcije, izraziti relativni posedki v sredi konstrukcije in ob tem veliki prirastki kontaktnih napetosti. Ti so v sredini konstrukcije večji od obremenitve, medtem ko so na robovih in dilatacijah majhni. Zaradi močnih distorzijskih vplivov in prej omenjenih vplivov se v tleh sredi konstrukcije pojavijo lokalne plastifikacije, ki že prehajajo v lokalni lom tal, kar je lepo razvidno iz izrazito naraščajočih deformacij in lokalnega upadanja kontaktnih tlakov.



Slika 2: Časovni razvoj kontaktnih tlakov in deformacij v fazi obremenjevanja preiskusne plošče

Faza konstantne obremenitve

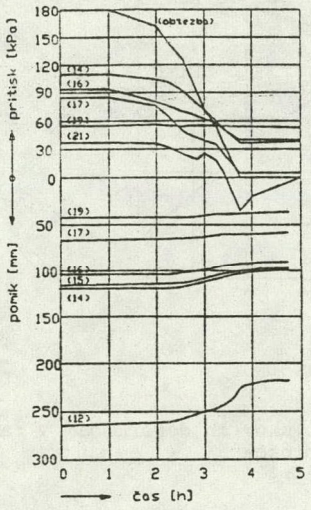
Plastična cona v tleh (glej sliko 3)se je tudi po končanem naraščanju obremenjevanja širila v okolico. Šele po nekaj dneh so se napetosti pregrupirale, tako da smo dobili značilno krivuljo kontaktnih tlakov z manjšimi tlaki v sredini in povečanimi na robovih konstrukcije.



Slika 3: Potek deformacij in kontaktnih tlakov pod temeljno konstrukcijo

Faza razbremenitve

Razbremenilna preiskava (slika 4) kaže tudi na velik delež elastičnih deformacij, ki pa je po našem mnenju v veliki meri posledica povratnih deformacij konstrukcije.



Slika 4: Časovni razvoj kontaktnih tlakov in deformacij v fazi razbremenjevanja preiskusne plošče

3.2 Analiza meritev

Iz rezultatov preiskave lahko sklepamo, da imajo robni pogoji ustvarjeni s konstrukcijo velik vpliv na napetostno deformacijsko stanje v tleh. Prav tako so razvidne neugodne posledice distorzijskih vplivov na robovih temeljne konstrukcije. Kmalu se pojavijo izrivi zemljine izpod roba konstrukcije in s tem nevarnost rušitve tal. Na preizkusnem modelu kjer je lokalna rušitev tal v veliki meri že delovala, se opazi zmožnost tal, da ob stabiliziranju ponovno prevzamejo del napetosti obremenjene konstrukcije.

4.0 MODELNI PREIZKUS

Modelni preizkus smo izvajali na Ljubljanskem barju. Izrazito slabo nosilna tla so shematsko prikazana na sliki 5.

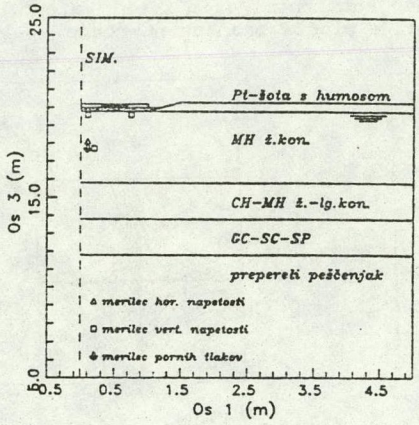
Model temeljne konstrukcije predstavljajo členkasto povezane temeljne plošče, ki zaradi členkastih vezav delujejo kot celota (glej sliko 6), imenovana žaluzijska temeljna konstrukcija.

Model smo opremili z merilno opremo za meritve kontaktnih napetosti med konstrukcijo in tlemi, napetosti v konstrukciji, napetosti in pornih tlakov v tleh in z reperji za merjenje deformacijskih sprememb (posedkov) objekta. Tako nam je oprema omogočala celovit vpogled v napetostno deformacijske sovisnosti v konstrukciji in tleh, vključno s konsolidacijskimi procesi.

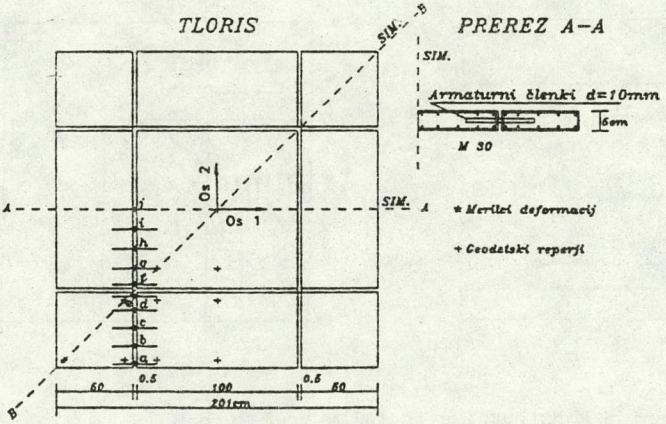
Model smo v nekaj urah postopno obremenjevali do največjih vrednosti tako, da je dosegla obremenitev na srednji plošči 18 kPa, na vseh ostalih ploščah pa 7 kPa.

4.1 Rezultati meritev

Rezultati meritev kažejo, da členkaste zveze bistveno vplivajo na podajnost celotne konstrukcije.



Slika 5: Stratigrafski podatki tal v prerezu A-A (glej sliko 6)



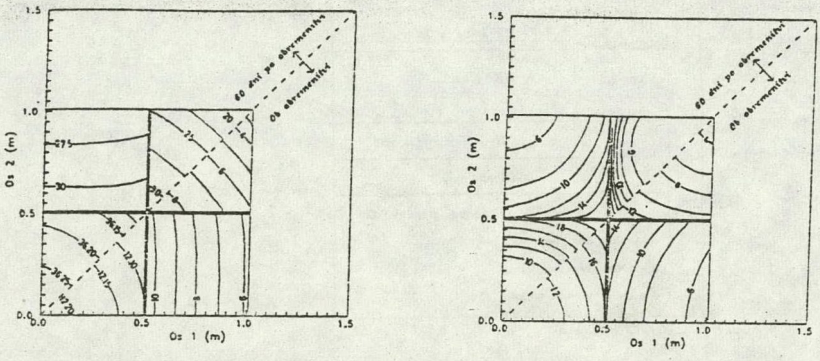
Slika 6: Geometrija modelne konstrukcije:

Strižne napetosti v območju nateznih obremenitev zvez je delno prevzela armatura, delno pa se je strig prenesel s srednje na robne plošče preko plast prodno peščenega nasutja pod ploščami.

Močnejši vpliv členkastih zvez se je pojavil kasneje, ob večjih vertikalnih premikih zaradi konsolidacijskega procesa.

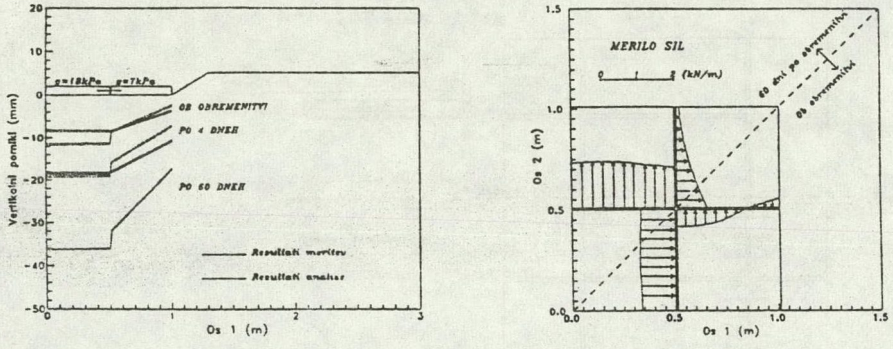
Opazovanje relativnih pomikov vogalnih in njim sosednjih plošč je pokazalo, da so se strižne kontaktne napetosti med ploščami prenašale s trenjem na cca 1m širokem delu prereza med ploščami.

Meritve kontaktnih tlakov med konstrukcijo in tlemi kažejo, da se znatni del (cca 35%) obremenitve srednje plošče prenese na robne.



Slika 7:a) Izolinije vertikalnih premikov, b) Izobare kontaktnih tlakov

Prav tako lahko iz meritev opazimo, da se pomemben vpliv obremenitev pozna do globine cca. dveh širin temeljne konstrukcije. To velja tudi za hitrost viskoznih deformacij, ki so izven tega območja enake hitrostim deformacij poprejšnje konsolidacije.

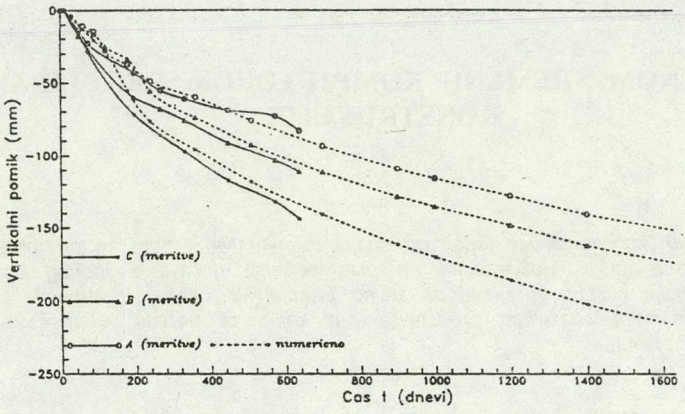


Slika 8:a) Deformacija konstrukcije in tal v prerezu B-B,
b) Strižne sile med ploščami

Z ozirom na rezultate osnih obremenitev plošč (slika8) je razvidno, da je za prevzem nateznih obremenitev, ki so posledica velikih deformacij, najugodnejši položaj členkastih zvez v smeri obeh diagonal modelne temeljne konstrukcije.

4.0 PLITVO TEMELJENJE SOSESKE STANOVANJSKIH HIŠ NA ŽALUZIJSKI TEMELJNI PLOŠČI

Na podlagi skrbno vodenih terenskih in laboratorijskih preiskav ter primerne numerične analize interakcije med tlemi in objekti smo razvili izvirno temeljenje (na medseboj členkasto povezanih rebrastih AB ploščah) za štiri vzorčne hiše Marles in Ingradovo sosesko hiš. Meritve, ki smo jih vršili med gradnjo in kasneje so nam dale koristne in nenadomestljive podatke o nekaterih lastnostih barjanskih tal (zemljin), v splošnem pa so pokazale na primernost teoretičnih rešitev in uporabnost konstrukcijskih rešitev, ki smo jih razvili.



Slika 9: Časovni razvoj merjenih posedkov Ingradovih hiš

6.0 ZAKLJUČEK

Terenski eksperimentalni preizkus z modelom žaluzijske temeljne plošče na mehkih tleh nam je omogočil simuliranje napetostno deformacijskih stanj, ki se vzpostavljajo v naravi. Ker je bil model narejen izključno za eksperimentalne namene smo lahko stopnjevali obremenjevanje konstrukcije do mejnih napetostnih stanj, in proučevali pojav lokalne rušitve tal. Tako smo dobili dober vpogled v dejanske reološke odnose v naravi na območju izrazitih plastifikacij tal. Rezultati obremenilnih preizkusov (vključno z razbremenilnim) nam služijo kot dobra podlaga za preveritev teoretičnih rešitev analize interakcije med tlemi in objektom.

Modelni preizkus je pokazal, da lahko členkaste zveze bistveno vplivajo na odziv konstrukcije kot celote. Meritve in analize so dokazale, da so odnosi med napetostmi in deformacijami nelinearni in časovno odvisni. Primerjava meritev z rezultati numeričnih analiz kaže, da pri večjih relativnih posedkih teorije majne deformacije ne zadošča več.

Spoznanja iz eksperimentalnih preiskav so bila v praksi že uporabljena pri gradnji dveh stanovanjskih sosesk na Ljubljanskem barju. Deformacijska in napetostna stanja v tleh in objektu, ki smo jih spremljali med in po gradnji potrjujejo naša pričakovanja, rezultati meritev pa nas ohrabrujejo za nadaljne delo.

Opisani primeri prav tako potrjujejo široko uporabnost primerno izbrane merilne opreme tako za preiskave, eksperimentalne namene kot meritve na že zgrajenih objektih. Meritve pogosto dajo rezultate, ki so nenadomestljivi samo z analitičnim delom ali laboratorijsko preiskavo.

Z. Žagar *) , *D. Delić* **)

U REALNOM VREMENU KOMPJUTOROM REGULIRANE KONSTRUKCIJE

Sažetak:

Oživljavanje mrtvih konstrukcija je jedan od snova inženjerstva. Mnogi se pri tome mreža u hibridnimmoraju riješiti. Možda smo na putu početka rješavanja jednog osnovnog: inteligentne reakcije sustava problemi na stalno promjenjivo okolje. Izgleda da primjena neuronskih ekspertnim sustavima predstavlja put kojim bi trebalo ići rješavanju tog intrigirajućeg problema.

Summary:

To make a dead structural system to be alive is an old dream of the engineering profession. Many different problems have to be solved, and one most important remains: to make the structure behave intelligently to continuous variations of the ever changing loading environments. There is a possibility to employ neural networks in hybrid expert systems as a vehicle towards this intriguing goal.

1. UVOD

Tradicija graditeljske prakse nas sputava u naporima da primijenimo dostignuća inženjerške prakse i teorije, i prakse informatičkih znanosti u svakodnevnim aplikacijama. Često je tu i inženjerska konstruktorska praksa u pravu, jer se tu radi o nesagledivim rizicima po imovinu i ljudske živote. No to nas ne treba spriječiti u istraživanjima novih područja i "pripremi terena" za primjenu tih novih ideja, kad dođe vrijeme njihove pune i provjerene operabilnosti. Davni je cilj osloboditi konstrukciju od stega koncepcija djelovanja permanentnih iminentnih opterećenja i početnih ulaga energije u gradnju objekata. Novi koncepti graničnih stanja, servisibilnosti konstrukcija i vjerojatnosti pojava opterećenja su na tragu tih spoznaja. Međutim, već je prilično davno rođena ideja o autonomnoj regulaciji naponskih stanja i deformacija konstrukcija pri nastupu različitih opterećenja.

Navesti ćemo samo neke ideje, jer prostor ne dopušta dublju elaboraciju povijesnih činjenica. Relativno rano su W. Zuk, L. Zetlin, Clark (15), Rashe, Sprancy i drugi

---

*) Prof. Dr., dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Zagreb

**) Dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Zagreb

uveli koncept VCD (Variable Controlled Deformation = varijabilne kontrole deformacija) (radovi 1 do 7), (14), (16), (17). Poznat je prijedlog L. Zetlina za VCD strukturu TV tornja u Milwaukeeju (15). Naravno da je u to doba kontrola deformacija uvođenjem energije kad je to za reguliranje stabiliteta i deformacija konstrukcije potrebno, bilo relativno nesigurno. Princip VCD zasnivao se još uvijek na primjeni mehanizma povratne sprege. Također su značajni suvremeniji radovi J. Rodelara, A. H. Barata, (1), (2), (3), J. M. Martin-Sancheza (17), J. N. Yanga, F. Giannopulosa (3),(4), M. Abdel-Rahmana (5), (6), (7), J. Collinsa (9) i drugih istrazivača, koji su se bavili aspektima regulacije strukturalnih sustava (14),(16). Vrlo su značajni radovi M. H. Raiberrta, R. Hecht-Nielsena (13) i B. Widrowa (9),(10), koji se odnose na sasvim drugo, potpuno negrađevinsko područje, ali čiji će radovi imati velikih implikacija na konstruktorsku struku (17), (8), (9).

Ovim radovima svakako treba dodati ideje Frey Otta, R.B. Fullera, Schleicha i drugih istrazivača koji su se bavili prostornim konceptima struktura. Da ideja o VCD ima odraza već sada, svjedoci sinergetska konstrukcija stadiona "Veliko jaje" u Tokyou izvedena 1988., u kojoj elektronski centar autonomno upravlja unutrašnjim nadtlakom u dvorani, kako bi se prostorni membranski sustav kablova krova odupro vanjskom opterećenju okruzja. Informacijski centar je ključni centar regulacije stabilnosti i sigurnosti građevine. Značajni su i radovi grupe oko Prof. Domkea (35),(36), koji su se bavili konkretnim realizacijama uređaja za reguliranje sila u konstrukcijama. Većina tih ideja se ipak zasniva na mehaničkom sustavu reguliranja deformacija sa varijabilnim unosom energije, prema ugrađenim shemama odgovora na predviđena stanja opterećenja. U međuvremenu su se javili ekspertni sustavi zasnovani na pravilima i u novije doba (od 1950-tih) neuralne mreže (10),(11), (12),(13),(18),(28),(29),(33),(34).

2. NEURALNE MREŽE KAO MOGUĆI ODGOVOR INTELIGENTNE KONTROLE U REALNOM VREMENU

Niz senzora različitih namjena obavještava ES koji zatim prema predloženim i predviđenim pravilima reagira na podražaje okolja. To nije nešto novo, no pritome se mora imati spremne odgovore na niz shema opterećenja i događaja koji se mogu desiti s određenom vjerojatnošću događanja. Ovaj set pravila mora biti velik i mora se zasnivati na heurističkim iskustvima, prošlom iskustvu (za koje je sustav treniran), i na ultrabrzim usmjerenim proračunima sustava za još neviđene sheme promjene okružja. Kako god bili brzi kompjutori, teško je zamisliti sustav koji će u potrebnom vremenu reagirati, na primjer na neki potres. Naravno da već danas postoje takve sheme, predikativne kontrole i tzv. kompjutorki sustavi koji reagiraju u realnom vremenu. No to su vrlo zahtijevni sustavi, teško primjenjivi u konstruktorstvu. S druge strane, uvijek postoji velika vjerojatnost da će niz senzora (ili prijenosnih linija) zakazati, pa će ES biti suočen s nekompletnim i/ili distordiranim obavijestima, na osnovu kojih će morati donijeti pravilne odluke o integritetu strukture. To su vrlo veliki zahtjevi koji se postavljaju na eksperni rule-based (RB) sustav. Za ilustraciju se može navesti da se R-Time ES koriste u regulacijskim tehnikama na off-shore platformama, u aeronautičkim svemirskim tehnologijama, kontroli letenja atomskim centralama, transportnim sustavima, financijskom tržištu, kontroli informacijskih sustava, medicini i drugdje, a za islustraciju složenosti problema može se navesti kompleks regulacije svemirskog Hubble teleskopa koji ima više od 6000 senzora koji se moraju motriti u realnom vremenu (ali i sa time-lag-om puta obavijesti). Klasične RB-ES karakterizira činjenica, da korisnik snabdjeva ulaz podacima, koji se ne mijenjaju tokom vremena rješavanja problema: vrijeme responsa je relativno sporo i mjeri se često sekundama, minutama pa i satima, što je u direktnoj suprotnosti sa RT-ES gdje se podaci mijenjaju brzo i gdje se vrijeme responsa često mjeri u milisekundama. RT-ES rade pod opterecenjima (zahtijevi

memorije i brzine) koji ne postoje u konvencionalnim područjima, pa većina poznatih ekspertnih ljuski i oruđa nije kvalificirana za primjenu u realnom vremenu. Iz izvještaja DARPA-e (Defence Research Project Agency) i Međunarodnog udruženja pilota, postojeća oruđa su za oko 100 do 1000 puta (!) prespora u donošenju odluka. Osim svega toga, postojeće ljuske ne mogu efikasno preuzimati podražaje bez ljudske intervencije i većinom nisu građene da rade kontinuirano. U velikoj većini RT sustava, koji moraju reagirati na eksterne obavijesti (podražaje) izvori obavijesti su kontinuirani i nisu podloženi ljudskoj kontroli.

Često su te informacije opterećene šumovima ili su distordirane i nekompletne, pa konvencionalni rule-based sustavi teško s njima manipuliraju, a i nemoguće je unaprijed i predvidjeti sve te poremećaje.

To je navelo inženjere da posebno oblikuju real time ES tako da podijele funkcije na distribuirane procese, kako bi se minimiziralo vrijeme donošenja odluka. Ovakvim sustavima nisu bitni podaci već vrijeme (takav je na primjer Talarian-ov R-Time ES (19). Još 1940-tih su Warren McCulloch i Walter Pitt publicirali svoj rad o matematičkom modeliranju biološkog neurona. Nakon dugog niza godina, niza posrtaja (na pr. XOR problem, koji je riješen pomoću BIAS čvora) i niza uspjeha (uvođenje backpropagation učenja, višeslojnih skrivenih neurona, koncepta slab-ova (31), te neuro-ploča za paralelno učenje i procesiranje na PC računalima), došlo se do današnje razine mogućnosti modeliranja neuronskih mreža, tzv. distribuiranog znanja (11), (12), (18), (27), (28), (29). Pritom podražaji mogu biti distordirani, nekompletni i sasvim novi, dotada NM neviđeni, a da odgovori budu u granicama velike vjerodostojnosti. NM se uči sa setom za vježbanje (tzv. setom za treniranje) i u granicama tog i sličnih setova (a moguće i izvan tih granica) odgovor NM je instantan, s odgovarajućom vjerojatnosti odgovora. Sustavi NM su ES, koji daju instantne odgovore i pri nepotpunim obavijestima, pa su stoga pogodne za svrhu reguliranja deformacija. Njima se može pridružiti i sufiks "inteligentnosti", jer u granicama područja naučenog, odgovori su "inteligentni" (prema definicijama inteligentnih odgovora ljudskih bića). Treba navesti i nekoliko aplikacija, vrlo bliskih području primjene reguliranja stabilnosti građevinskih struktura, a iz veoma dalekih područja u kojima su ostvarene te primjene. Pokusi M. H. Raiberta s jednonogim hopecom (One Legged Hopping Machine) (9) i Hecht-Nielsenovo ostvarenje ideje B. Widrowa o obratnom njihalu, sa vertikalno balansirajućim štapom-metlom (balancing brooomstick), ostvarenoj i u minijaturnoj izvedbi Micro-Device-a za balansiranje vertikalno postavljene olovke, rezultati DARPA-e sa autonomnim vozilom ALVIN (8), te primjene NM kod "pametnih" krstarećih raketa i sličnim područjima, od razaznavanja predočenih matrica uzoraka, do primjena u selekcijama uzoraka (proizvoda, klasifikacije krzna (31), pomoći u borbi protiv krijumčarenja droga, razaznavanja šuma podmornica kao njihovom nedvojbenom identifikacijom (23), primjenom kod planiranja trajektorija kretanja dvonožnog robota (22) i sl.) Vjerojatno je jedna od najznačajnija primjena NM, rad Kazuyoshi Tsutsamija iz Odjela Sistemskih znanosti Univerziteta Rokkadai, Kobe, Japan na neuralnoj kontroli 3D prostorne rešetke, koja može zauzati razne konfiguracije u prostoru, kao prototipa novih sustava kranova i manipulatora (20), (21).

3. NAŠE ISKUSTVO

Nakon što smo koristili Wardovu NeroShell (30), (31) za razne klasifikacije podrožnica, greda, konfiguracije mostovskih sustava (D. Kolić (26)), klasifikacije drvene građe, imali smo dovoljno iskustva koristiti ju i kao sustav za VDC u jednostavnom sustavu mosta sa razuporom (25). Kasnije smo iz literature spoznali da se regulacijom takve konstrukcije, na razini fizičkog modela od armiranog betona bavila grupa oko prof.

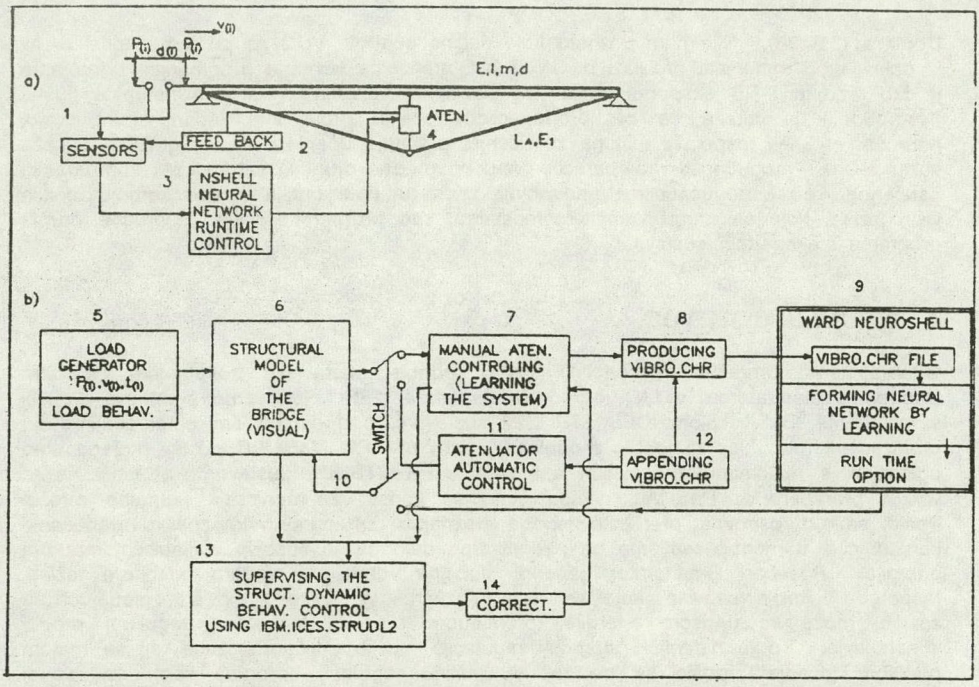
Domkea (35),(36). Nije nam poznato koje načine kontrole VDC se pri tome koristilo, ali iz objavljenog materijala proizlazi da je to bila manuelna kontrola progibanja. Vjerojatno je bio razvijen i RB ekspertni sustav sa povratnim vezama. Wardova neuralna ljuska (NeuroShell) je mreža sa backpropagacijom učenja, koja ima jedan skriveni sloj neurona. NShell raspolaže alatima za učenje, praćenje učenja, ispiše i grafičke prikaže veza težina, mogućnosti komparacije naučenog sa drugim setom za komparaciju naučenog, kao i mogućnostima generiranja tzv. run-time opcija u više kompjutporskih viših jezika, koje se mogu koristiti samostalno, kao programi i/ili kao subrutine drugih programa i ekspertnih sustava.

4. REGULIRANJE VDC

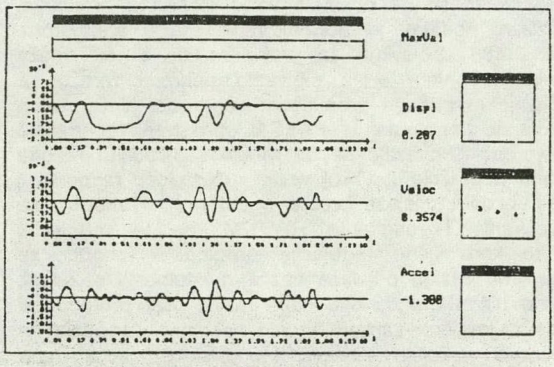
Odabrali smo proračunski modelski sustav jednog mosta (sa trokutastom čeličnom zategom s atenuatorom u L/2), određenih dimenzija (25), kojega smo svestrano proučili s mainframe IBM verzijom ICES STRUDL2 sustavom, pod dinamičkim opterećenjima od prolazećih tereta. Isprva je bio modeliran jedan mali PC MsBASIC sustav, kojega smo uglašavali s rezultatima dinamičkih analiza s ICES STRUDL sustavom. Kasnije je ta verzija prerađena u PASCAL, i njom smo se koristili za treniranje neuralne mreže. Pošlo se od osnovne pretpostavke, da poznajući strukturalno dinamičko ponašanje konstrukcije, u mogućnosti smo da i reguliramo deformacije sustava varijabilnim inputom energije. Poseban R-generator generira slučajna vozila sa random odabirom težina, rasporeda i broja osovina, koja se najavljuju strukturi. Preko slovišta, gledajući na zaslon, može se unosom energije (promjenom sile u atenuatoru) regulirati progib konstrukcije. To je dinamički sustav i regulacija mu je prilično složena, ali sa malom praksom (učenje!!) došlo se do razine vještine regulacije progiba kao i u svakoj kompjutorskojh igri. Ove manuelne regulacije progiba bilježene su u datoteku podataka, koja je služila kao set za treniranje neuralne mreže. Prethodno se vrijednosti ulaza i izlaza NM normaliziralo (30),(18), kako se ne bi imalo veliki raspon u brojčanim vrijednostima. Mreža je analogna. Izlazni podatak je normalizirana sila u atenuatoru. Mrežu se učilo nekoliko sati na 386 i 486 strojevima sa prekidima da bi se mreža "protresla". Nakon nekoliko pokušaja variranjem broja skrivenih neurona mrežu se naučilo da suvislo u granicama očekivanja reagira na paralelnom setu podataka. Zatim je načinjena RT PASCAL verzija, koja je umetnuta u PASCAL program na mjestu prijašnjeg ručnog manipuliranja atenuatorom. Pokazalo se da mreža samostalno reagira na u ulazu primljene random generirane podražaje (tip/broj vozila, učestalost, raspored i opterećenje osovina), pri konstantnoj brzini prijelaza vozila mostom. Također se pokazalo iz usporedbe seta za treniranje i reagiranja RT NM, da je regulacija atenuatora ujednačenija no što je to kod ručne regulacije progiba. Također se pokazalo, da sustav reagira i na promjenu brzine prijelaza vozila mostom. Na žalost, zaokupljeni i drugim problemima, nismo bili u mogućnosti dalje razviti ovaj proračunski model. U planu je daljnji razvoj sustava, implementacijom raznih scenarija događaja na mostu. Po svemu sudeći, treba razviti nekoliko sustava (neuro-slabs), koje treba integrirati u jedinstveni regulacijski ekspertni VCD sustav.

5. ZAKLJUČAK

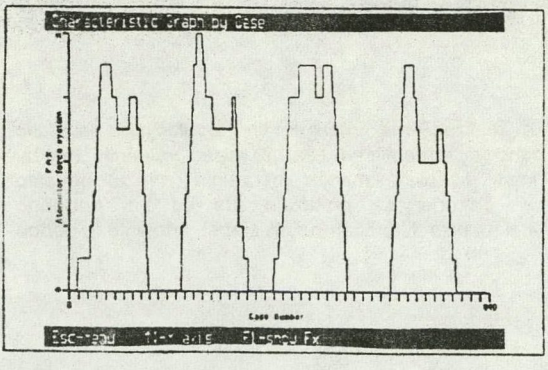
Pokazalo se da možemo razmišljati o realizacijama inteligentnih regulacijskih sustava reguliranih ekspertnim sustavima na osnovu neuralnih mreža, ili niza neuralnih mreža. Pokazalo se da je pritome bolje imati nekoliko manjih neuralnih mreža umjesto gigantskih NM sa tisućama neurona. Također se pokazalo, da će biti potrebno implementirati nekoliko slojeva paralelnih i u nizu N-ploča (neuro-slabs) spojenih u jednu



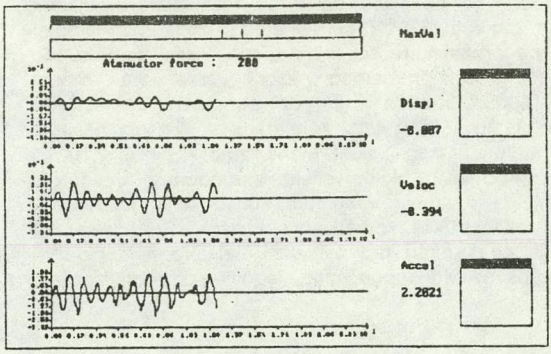
Modeliranje konstrukcije regulirane kompjutorom



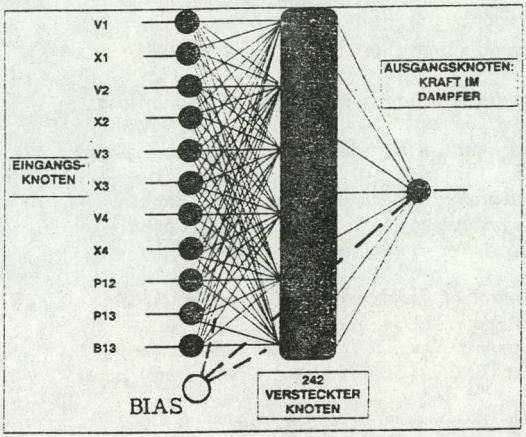
Dinamičko ponašanje konstrukcije u sustavu bez atenuatora.



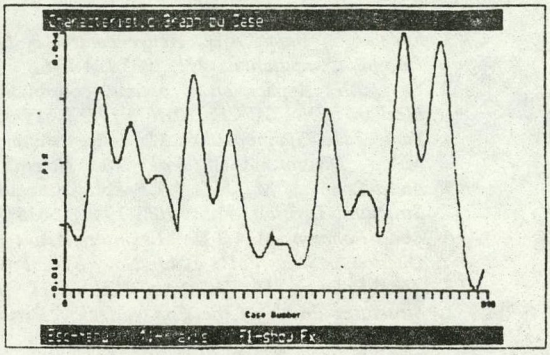
Dio trening seta: prikaz promjene sile u atenuatoru, manuelnom kontrolom unosa energije (VCD).



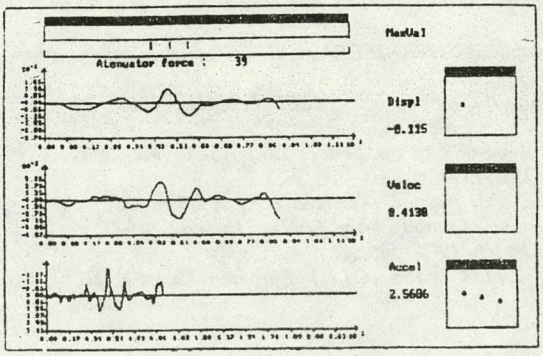
Formiranje seta za treniranje neuralne mreže. Manuelna kontrola atenuatora.



Posljednja verzija neuralne mreže.



Dio seta za treniranje: prikaz progiba.



Odgovor RUN-TIME opcije neuralne mreže: prikazi sile u atenuatoru, brzine i ubrzanje središnje točke praspona.

programsku cjelinu: hibridni ES. Također se pokazalo da treba razmišljati o cijelom VCD sustavu kao o multidisciplinarnom projektu (36) (37), jer treba riješiti niz pitanja: od prepoznavanja vozila (24), njegovih performanci, težine, brzine, rasporeda osovina, do prepoznavanja mogućnosti raznih scenarija prometnog toka vozila na mostu (zaustavljanja, promjene brzine, zastoji, sudari, kvarovi i sl.), do transfera obavijesti do ES, kao i transfera općih obavijesti o stanju i integritetu konstrukcije, sve do rješenja pouzdanog transfera instrukcija ES do atenuatorskog (-skih) mehanizma (-zama). Tu se pretpostavlja masivni paralelizam (kao i kod živih bića), refleks samoobrane integriteta konstrukcije, obavještavanja vlasnika objekta o stanju integriteta konstrukcije, kolovoza i eventualnim potrebama intervencije i rekonstrukcij, održavanja i sl. Pred nas se postavlja intrigantno novo područje, koje će se kad tad ostvariti. Svakako je zanimljivo uklopiti se u taj trend, i ako se danas još ne vidi mogućnost njegove komercijalizacije.

6. LITERATURA

1. *Rodelar, A.H.Barat, J.M.Marin-Sanchez, Predicative Control of Structures, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 113, No.6.,1987. 797-811*
2. *J.Rodelar, J.M.Martin-Sanchez, Predictive Structural Control, in Active control II, 1986, North Holland, New York, N.Y.*
3. *Rodelar, J., Barat, A.H., Active control of building structures under measured seismic loads, Engrg. Computations 2(2),1985,124-134.*
3. *Yang, J.N., Application of optimal control theory to civil engineering structures, Jrnl. Engrg. Mechan. Div., ASCE, 101(6), 1975., 819-838.*
4. *Yang, J.N., Giannopoulos, F., Active tendon control of Structures, Jrnl. of the Engrg. Mech. Division, ASCE, Vol. 104, No.em3, Proc. paper 13836, June, 1978, 551-568.*
5. *Abdel-Rohman, M., H.H. Leipholz, Automatic Active Control of Structures, Jrnl. of Structural Division, Vol. 106, 1980., 663677.*
6. *Abdel-Rohman, M., H.H. Leipholz, Active control of flexible structures, Jrnl. of the Str. Division, ASCE, Vol. 104. No. ST8, Proc. paper 13964, Aug.,1978, 1251-1266.*
7. *Abdel-Rohman, M., Quintana, V.H., H.H. Leipholz, Optimal control of Civil Engineering Structures, Jrnl. of the Eng. Mech. Division, ASCE, Vol. 106, No. EMI, Proc. paper 15192, Febr., 1980, 57-73.*
8. *S.Eberlein, Decision making net for autonomous roving vechicle, INNS, Boston, Massachusetts, 1988.*
9. *J.B. Collins, J.J. Halferty, Adaptive control of one-legged hopping machine, INNS, Boston, Massachusetts, 1988.*
10. *R. Colin Johnson, C. Brown, Cognizers, N.N and Machine that Think, Wiley Science Editions, J. Wiley & Sons, Inc. New York, 1988.*
11. *Lippman R. P., An introduction to computing with Neural Nets, IEEE ASSP Magazine, 1987, 1-21.*
12. *Kohonen, T., State of art in neural computing, 1987., IEEE, Intntl. Conference on Neural Network.*
13. *R. Hecht-Nielsen, Neurocomputing: picking the human brain, IEEE Spectrum, 1988., 36-41.*
14. *Yao, J.T.P., Concept of Structural Control. Jrnl. of the Struc. Div., ASCE, Vol. 98, No. ST7, Proc. paper 9048, July, 1972, 1567-1574.*
15. *Zuk, W., Clark R.H., Kinetic Architecture, Van Nostrad -Reinhold cco., 1970.*
16. *Roorda, J., Tendon Control in Tall Structures, Journal of the Struct. Division, ASCE, Vol. 101, No. ST3, Proc. perer 11168, March 1975, 505-521.*
17. *Martin-Sanchez, J.M., Adaptive-predictive Control System (C.I.P.), European Patent Appl., 1980.*

18. *Schoneburg E., N. Hansen, A. Gawelczyk, Neuronale Netzwerke, Mark & Technik Verlag, Haar/Munchen, 1990.*
19. *Laffey T.J., The Real-Time Expert, Byte, Jan., 1001, 259-264.*
20. *K. Tsutsami, Neural control of 3-Dimensional truss structure, INNS First Anual Meeting, Neural Networks, Boston, Massachusetts, 1988. 364*
21. *K. Tsutsumi, H. Matsumoto, Neural Computation and Learning Strategy for Manioulator Position Control, Proc. od IEEE First Anual ICNN, Vol. Iv, pp. 525-534, 1987.*
22. *S. Kitamura, Y.Kurematsu, Y. Nakai, Application of the neural network for the trajectory planning of biped locomotive robot, INNS, Boston, Massachusetts, 1988., 344.*
23. *Cheng-Yuan Liou, Design of neural networks to classify sonar targets, INNS First Anual Meeting, Neural Networks, Boston, Massachusetts, 1988. 34.*
24 *V. Čuljak, D. Josić, D. Pavuna, PROBAM Autoasocijator za prepoznavanje oblika, 1990, Intern. Conf. NN, Paris.*
25. *Z. Žagar, Delić, D., U realnom vremenu kompjutorom regulirane konstrukcije, CAD Forum '91, Zagreb, 1991., Zbornik radova, 85- 106.*
26. *D. Kolić, Estetika mostova podržana neuralnim mrežama, CAD Forum '91, Zagreb, 1991., Zbornik radova, 107-114.*
27. *Grossberg, S. ed., The Adaptive Brain, I: Cognition, Learning, Reinforcement, and Rhythm. Amsterdam> Elsvier, 1987.*
28. *Minsky, M., S. Papert, Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry. Cambridge: MIT Press (revised 1988).*
29. *Rumelhart, D. E., J.L. McClelland, Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition, Cambridge, MIT Press, 1985.*
30. *NeuroShell & NeuroWindows, Ward System Group, Inc., Frederick, Maryland, 1991.*
31. *NeuroWindows, Ward System Group, Inc., Maryland, 1991.*
32. *Ward System Group News, December, 1991, Vol. 2, No. 2.*
33. *J. A. Anderson, A. Pellionisz, E. Rosenfeld, Neurocomputing 2: Direction for Research, MIT Press, Cambridge, MA, 1990.*
34. *J. A. Anderson, E. Rosenfeld, Neurocomputing: Foundation of Research, MIT Press, Cambridge, MA, 1988.*
35. *H. Domke,Aktive Kontrolle von Tragwerken, Bauingenieur 66 (1991) 205-213.*
36. *H. Domke, Beitraege zum Forschungsgebiet "Aktive Tragwerke", znanstveni projekt, Aachen, 1989., ISSN 0938-5185.*
37. *H. Domke, W. Backe, H. Theissen, H. Meyr, H. Bonten, B. Zack, W. Bush, H. Goffin, Leistungssteigerung von Biegetragwerken durch Aktive Verformungskontrolle, Bauingineur 59, (1984) 1-8.*

Prof.dr. Ante Mihanović and Doc.dr. Pavao Marović
Faculty of Civil Engineering, University of Split
CRO - 58000 SPLIT, V. Masleše b.b., CROATIA

MODELLING OF THE CONTINUOUS MATERIAL AND GEOMETRICAL NONLINEARITY OF FRAMES

ABSTRACT

This paper presents an efficient numerical model for static and stability analysis, considering geometric and material nonlinear behaviour of steel and reinforced concrete frames with continuous plasticity effects. The assumed stress method is used to derive the governing equations. Direct iteration method is used with an explicit form of the polar secant stiffness matrix of the structure which makes the proposed method efficient in nonlinear analysis. In deriving governing equations, each finite element is treated as a beam-column divided into equal number of subelements. A layered model of cross sections is used. The yielding condition of the cross section is taken as a natural bearing capacity diagram. Several numerical examples are given to demonstrate the robustness, accuracy and efficiency of the proposed model.

MODELIRANJE KONTINUIRANE MATERIJALNE I GEOMETRIJSKE NELINEARNOSTI OKVIRA

SAŽETAK

Ovaj rad opisuje jedan praktičan numerički model za statičku analizu i analizu stabilnosti metalnih i armirano betonskih okvirnih konstrukcija s geometrijskom nelinearnosti malih pomaka i kontinuiranom materijalnom nelinearnosti uzduž elemenata okvira. Upotrebljena je metoda direktne iteracije uz eksplicitni oblik polarne matrice sekantne krutosti konstrukcije, koja daje efikasno rješenje promatrane nelinearne zadaće. U ovome modelu svaki konačni element je pretpostavljen kao greda/stup element. Ujedno je diskretiziran s jednakim brojem podelemenata. Poprečni presjek je diskretiziran slojevima. Kao uvjet tečenja presjeka usvojen je njegov prirodni dijagram nosivosti konstruiran na bazi uslojene diskretizacije. U radu je prikazano nekoliko numeričkih primjera iz kojih se može vidjeti točnost, efikasnost te mogućnost datog numeričkoga modela, kao i usporedba sa sličnim modelima drugih autora.

1. INTRODUCTION

The reliable application of the Load and Resistant Factored Design Code in the steel and reinforced concrete structures assumes well-developed appropriate analytical capabilities which can include the most important effects. Accordingly, this paper represents an attempt to improve the analysis of steel and

reinforced concrete frames. The advantages of this model are related to an efficient simulation of continuous nonlinearity and plasticity along the frame elements and along the height of the cross section, which is realized by means of the section layered model and thus makes it possible to have several material types in the cross-section. A great number of the analyzed examples shows a significant influence of nonlinearity upon the behaviour of nonlinearity of reinforced concrete columns and frames with regard to the linear-elastic theory, particularly for the area of the reinforcement in the cross-section.

The analysis of the structure is performed with the following assumptions: (1) the equilibrium is established on the deformed state; (2) the theory of small displacements and strains is employed; (3) the structure and the loading are conservative; (4) the loading is of gravitational type; (5) in parts the members are prismatic, with a constant cross-section and ideally straigth; (6) material is nonlinear; (7) columns are deformed flexurally and axially.

2. BEAM COLUMN ELEMENT AND SUBELEMENTS

The simulation of continuous material nonlinearity and plasticity along the members of the plane frame requires a dense mesh of finite elements (FE). An alternative procedure, used in this paper, is a combination of a standard mesh of beam column elements with a further division of each FE into equal M subelements (SE).

For each SE the flexural EI and axial EA stiffness are assumed to be constant for a given load increment.

The stiffnesses are determined according to the material behaviour in the reference cross-section. The location of that cross-section on SE is given by expression (1) and represented in Figure 1

$$x = l(n-1)/(N-1) \qquad (1)$$

where l=length of FE, n=number of SE, and M=total number of SE. This includes the beginning and ending cross-section of FE.

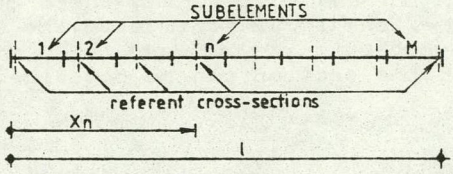


Figure 1. Discretization of FE

The secant stiffness matrices of subelements are given according to [1] by a classical relation

$$k = k_o + k_g \qquad (2)$$

where k_o is basic stiffness matrix, and k_g is geometrical stiffness matrix

$$k_g = \begin{bmatrix} AB \\ BA \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ & 6/5L & 1/10 \\ \text{sym.} & & 2L/10 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -6/5L & 1/10 \\ 0 & -1/10 & -L/10 \end{bmatrix}$$

Local elimination of the displacements of internal nodes of

FE, gives the stiffness matrix k and the load vector f of a given FE. This numerical procedure is sensitive to accuracy [2-4]. Experience resulting from a great number of examples shows that it is necessary to assume that $10 < M < 20$.

Equilibrium of the global sistem is given with

$$K(u)u = F(u) \qquad (3)$$

where $K(u) = \sum k$ and $F(u) = \sum f$.

The loading vector $F(u)$ is nonlinear when the load is applied within the FE.

3. DIRECT ITERATION BY MODIFIED SECANT STIFFNESS METHOD

This model employs the method of direct integration based on modified secant stiffness method. Nonlinear matrix equation (3) is solved using the following procedure

$$u_1 = K(u_o)^{-1}F(u_o)$$
$$u_{j+1} = K(u_j(\alpha))^{-1}F(u_j) \qquad (4)$$

until the difference $e = u_{j+1} - u_j$ is sufficiently small. Parameters α regulate the iterative process and their value depends upon the level of the material nonlinearity.

4. MODELLING OF THE CROSS SECTION

This method prefers the layered model of the cross-section. The modelling assumptions are, as follows: (1) the section is symetrical with regard to the vertical axis; (2) the section is discretized by thin layers. Each of them is defined by the width thickness and type of material (Fig. 2a). The behaviour of the whole layer is defined by the behaviour of the middle point; (3) structure and load are conservative; (4) uniaxial normal stress is considered in the middle point; (5) each material is described by σ-ε diagram, which is given by a finite number of discrete points: one of them is the starting point. In the I. quadrant there can't be more than one local maximum, i.e. one local minimum in the III. quadrant (Fig. 2d); (6) Navier hypothesis of straight section is valid, so that the strain state in the section can be described by parameters u and ϕ (Fig. 2b).

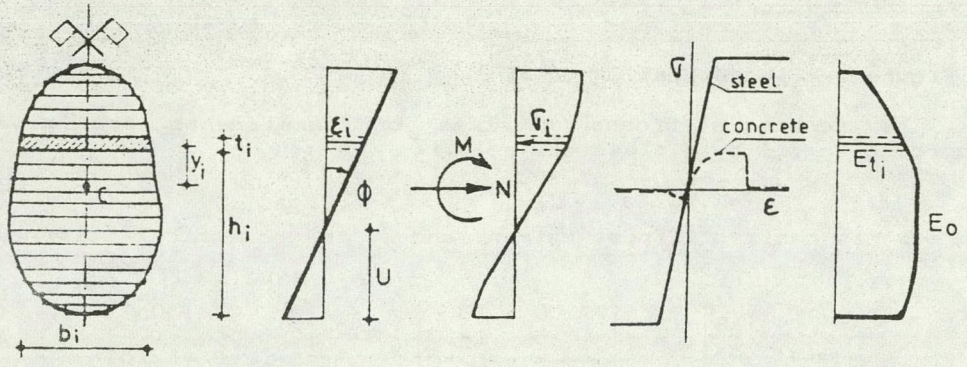


Figure 2. Modelling of the cross-section

4.1 Yielding condition

Yielding condition of the cross section $F(N,M)=1$ is introduced as a natural bearing capacity diagram, which can be determined by a numerical procedure according to layered model. In practice it is sufficient to determine only one point of the bearing capacity diagram, as shown on Figure 3.

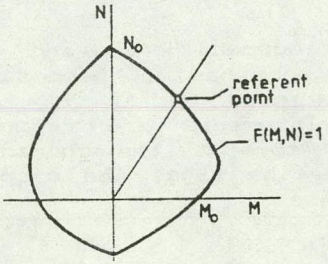


Figure 3. Bearing capacity diagram

4.2 Flow rule

The flow rule is implicitly included into the iterative procedure and it satisfies the expression

$$\frac{\partial F}{\partial N}\,dN + \frac{\partial F}{\partial M}\,dM = 0 \qquad (5)$$

Flexural EI and axial EA stiffness in the plastic area of the cross section are determined by relations

$$EI_{j+1} = EI_j\left(1-\alpha\,\frac{\Delta M}{M}_j\right), \quad EA_{j+1} = EA_j\left(1-\alpha\,\frac{\Delta N}{N}_j\right) \qquad (6)$$

where: j-iterative step , $\alpha \le 1$ parameter which is selected, ΔM_j ΔN_j- increments of momentum and force, and $F(M_j,N_j) > 1$.

5. SOLUTION ALGORITHM

The solution method is incrementally iterative. The value of the load increment depends upon the level of nonlinearity in the relevant cross section.

If nonlinearity is of high level, e.g. for ultimate load for steel or R/C frames, the value of the load increment should be 2-5%.

The accuracy of the procedure is checked according to displacement norm and forces norm. The relative error value of 1% is acceptable.

The solution algorithm is as follows:

i increment step in loading

Load value is $P^i = i\,P_o$, where P_o is starting load.

j iterative step

- Determination of the global stiffness matrix according to the material properties and internal forces obtained for the preceding iterative step

$$K_j^i = \sum_e (K_j^i)^e \quad , e - \text{over each FE}$$

$$(K_j^i)^e = (K_o^i)^e + (K_g^i)^e$$

- Determination of the global load vector, which can be changed during iteration

$$F_j^i = \sum_e (f_j^i)^e$$

- Computation of new displacement

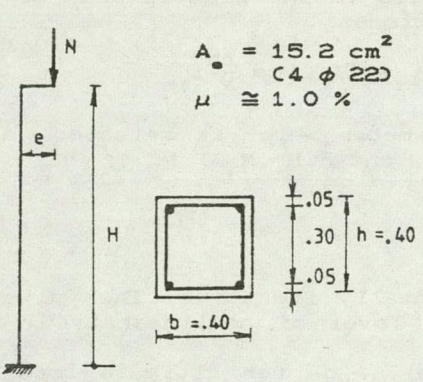
$$u_{j+1}^i = (K_j^i)^{-1} F_j^i$$

- Checking of the displacement norm, and internal forces norm. If the norm has not been satisfied, the procedure is continued.
- Characteristic displacements are recorded. If instability occurs, some of the characteristic displacements change the sign, and displacement norm suddenly increases.

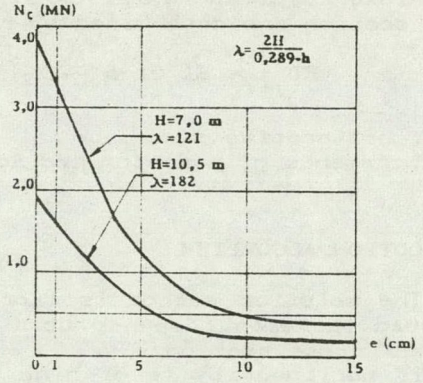
6. EXAMPLES

Example 1

A R/C column shown in Fig. 4(a) loaded with excentrical force is analysed. Using the σ-ε diagram for the reinforcing steel (f_y = 400 MPa) and for the concrete (f_c = 40 MPa) according to Ref. [5], a failure load - excentricity diagram N_c-e is obtained, Fig. 4(b).



(a) R/C column



(b) failure load - excentricity diagram

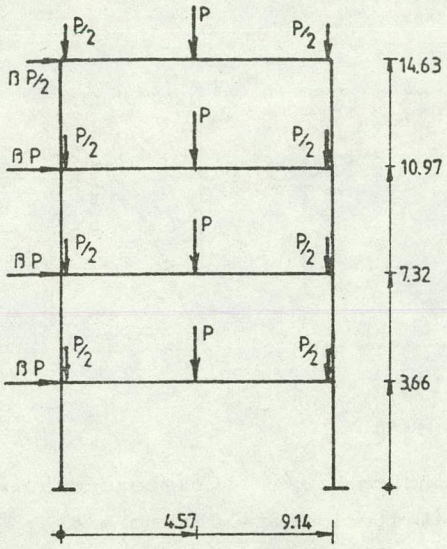
Figure 4. Data and results for Example 1

Example 2

A one-bay, four-storey steel frame with geometrical and external loading conditions is shown in Fig. 5. The same example was analyzed by Haldar & Nee [6] and by Kassimali [7]. A slight difference in solution can be noted from the load- displacement curves plotted in Fig. 6. The proposed method gives smaller failure load and larger displacements with regard to Ref. [6], although defined by small displacements.

Example 3

The same four-storey frame as used in Example 2 is considered here, except that the lateral load scaling factor β is taken to be 0.24. In this example the plastic hinges formation sequence is different with regard to Ref. [6]. The results are shown in Fig. 7.



Column	Size	A cm^2	I dm^4	M$_o$ kNm	N$_o$ MPa	E GPa
Bottom	W12x79	149.7	294.9	468	3.59	0.20
Column	W10x60	114.2	14.28	295	2.74	0.20
Girders	W16x40	76.1	21.72	287	1.83	0.20

Figure 5. Geometry, loading and material properties for Examples 2 and 3

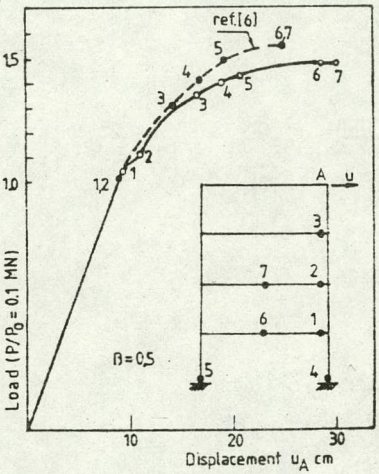


Figure 6. Load-displacement behaviour for Example 2

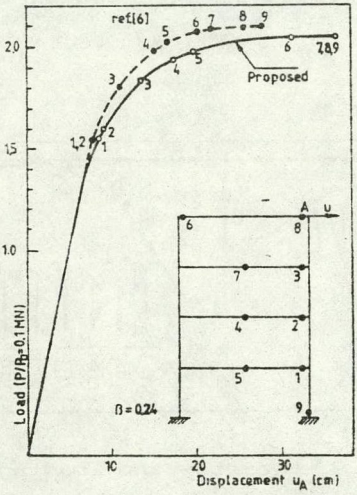
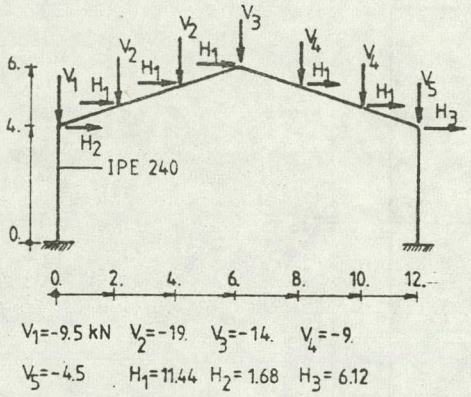
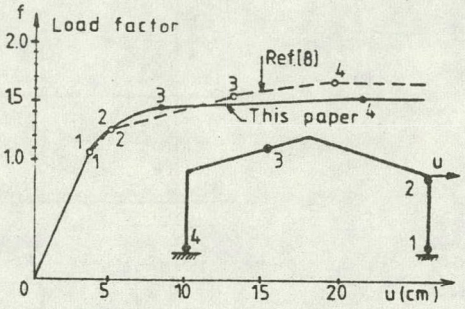


Figure 7. Load-displacement behaviour for Example 3

Example 4

An industrial steel frame [8] shown in Fig. 8(a) is analysed. This example belong to those constructions where the influence of geometrical nonlinearity is so high that can't be neglected. As can be seen from Fig. 8(b) the influence of geometrical nonlinearity on the decrease of failure load is about 10%.





(a) Geometry and loading (b) Load-displacement behaviour

Figure 8. Industrial steel frame (Example 4)

Example 5

Reinforced concrete arch bridge presented in Fig. 9, is subjected to static, linear and non- linear analyses. The σ-ε diagrams for the reinforcing steel (f_y = 400 MPa) and for the concrete (f_c = 40 MPa) are adopted according to [5], without resistant factors. The results of the analysis are given in Fig. 11.

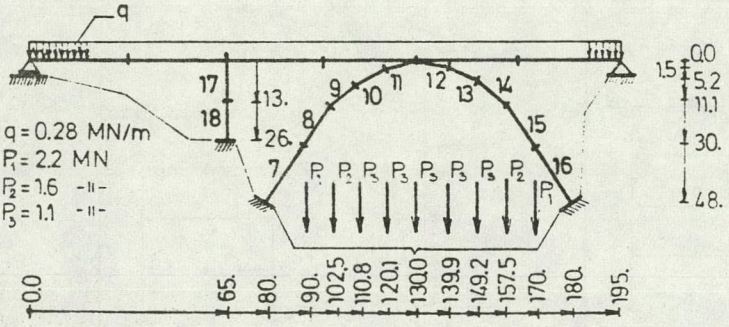


Figure 9. Geometry and loading of the bridge

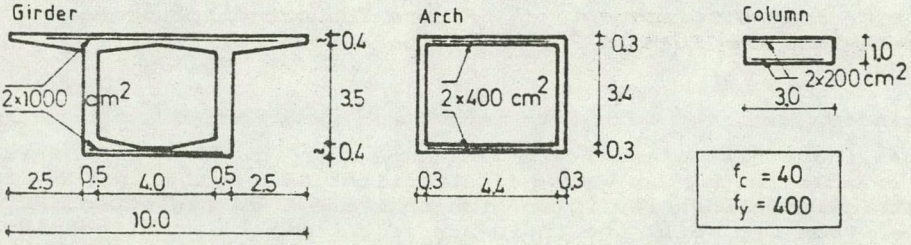


Figure 10. Cross-sections

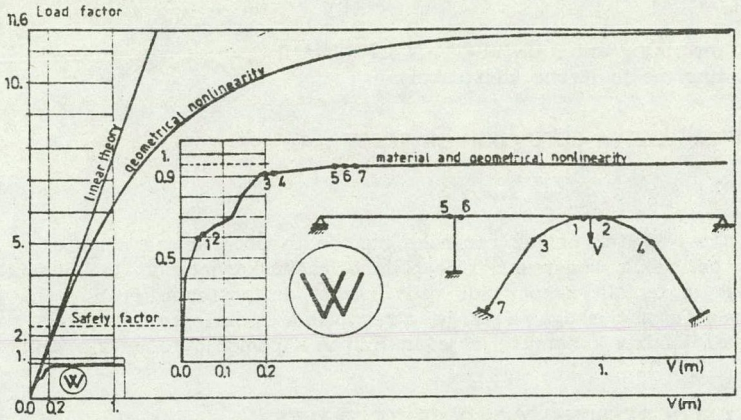


Figure 11. Load-displacement behavior of bridge

7. CONCLUSIONS

As any nonlinear process this method carries many unknowns too with regard to the achived accuracy, especially because of the discretization and load intensity flexible choice. The modelling of the construction and load increment has to be adapted to the real problem so that the convergence could be achived easily.

The duration of the computation depends on many parameters, but it can be estimated on about 100 iterations for a good chosen model. Each iteration takes little more time than a statical calculation for one loading case. The comparison with the known results, based on discrete plastic hinges, shows a relatively smaller bearing capacity of the construction because the plastification of the cross-section is treated continuously on more subelements or finite elements.

8. REFERENCES

[1] Chajes, A. - Principles of Structural Stability Theory. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1974.

[2] Mihanović, A. - RAVNEL, computer program for the computation of plane frames, Građevinar, No. 12, pp. 535-542, 1990.

[3] Mihanović, A., Marović, P. and Peroš, B. - Numerical modelling of the continuous plastification of steel frames, Proc. of the 7th YU Symp. on Plasticity, Pula 1991., DMH, pp. 55-60, 1991.

[4] Mihanović, A. and Marović, P. - Simulation of the continuous material and geometrical nonlinearity of frames, Proc. 4th Int. Conf. on Nonlinear Enginneering Computations, Split/Swansea 1991., Eds.: N.Bićanić, P. Marović, D.R.J. Owen, V. Jović and A. Mihanović, Pineridge Press Ltd., Swansea, pp. 161-170, 1991.

[5] PBAB Yugoslav reinforced concrete code, Sl. list No. 11, Beograd, 1987. (in Croatian)

[6] Haldar, A. and Nee, K.M. - Elasto-plastic Large Deformation Analysis of PR Steel Frames for LRFD. Comp. & Struct., Vol. 5, pp. 811-823, 1989

[7] Kassimali, A. - Large deformation analysis of elastoplastic frames. J. Engng. Struct. Div., ASCE 109, pp. 1869-1885, 1983.

[8] Vukov, A. - Alternating plasticity analysis of an industrial frame under specification repeated loads, Proc. of IABSE Congress, Vancouver 1984., sec. V, paper 104, 1984.

doc.dr.Franc Saje, dipl.inž.gradb., UNIVERZA V LJUBLJANI
FAGG, Katedra za masivne in lesene konstrukcije

ANALIZA VISKOZNEGA ODZIVA BETONSKIH OKVIRJEV

Povzetek

Vsebino prispevka tvori kratek prikaz računske metode in programske opreme za analizo viskoznega odziva betonskih konstrukcij. S podano računsko metodo lahko upoštevamo tako vpliv reologije materiala kakor tudi vpliv razpok in postopne gradnje na časovni potek napetostno-deformacijskega stanja ravninskih okvirjev. Vpliv različnih parametrov na viskozni odziv konstrukcije je analiziran s pomočjo računskih primerov.

ANALYSIS OF VISCOSITY RESPONSE OF CONCRETE FRAMES

Summary

The paper deals with a short presentation of the calculation method and computer program for the analysis of viscosity response of concrete structures. Using this method, both this influence of the rheology of material and the influence of cracks and gradual building on the time course of stress-strain deformational state of concrete frames can be taken into account. The influence of different parameters on the viscosity response of a structure is analysed by the help of the calculation examples.

1. UVOD

Za analizo viskoznega odziva betonskih okvirjev smo uporabili ustrezno dopolnjeno splošno računsko metodo nelinearne analize ravninskih okvirjev in pripadajočo programsko opremo NONFRAN, ki ju je razvil Jure Banovec. Na srečo sta bili tako računska metoda kakor tudi programska oprema zasnovani dovolj fleksibilno, da smo ju lahko brez posebno velikih posegov dogradili z novimi dodatnimi moduli, ki omogočajo tudi upoštevanje vplivov reologije materiala, razpok in postopne gradnje konstrukcije.

2. IZHODIŠČA PRIKAZANE RAČUNSKE METODE IN PROGRAMSKE OPREME

Uporabljena splošna metoda nelinearne analize ravninskih okvirjev omogoča upoštevanje tako geometrijske nelinearnosti konstrukcij kot tudi fizikalne nelinearnosti materiala. Privzeta je veljavnost Bernoulli-Navierove hipoteze, vpliv prečnih sil na pomike konstrukcije pa je zanemarjen. Vpliv reologije oziroma viskoznosti materialov smo upoštevali z ustreznimi konstitutivnimi zakoni betona in ojačilne armature, vpliv razpok na odziv konstrukcije pa z odgovarjajočimi konstitutivnimi enačbami prečnih prerezov elementov konstrukcije. Globino, širino in medsebojno razdaljo razpok izračunamo po zaključku interiranja v vsakem časovnem koraku. Za upoštevanje vpliva postopne gradnje na časovni odziv konstrukcije skrbi poseben programski modul, ki posameznim fazam gradnje priredi odgovarjajočo geometrijo in enačbe konstrukcije.

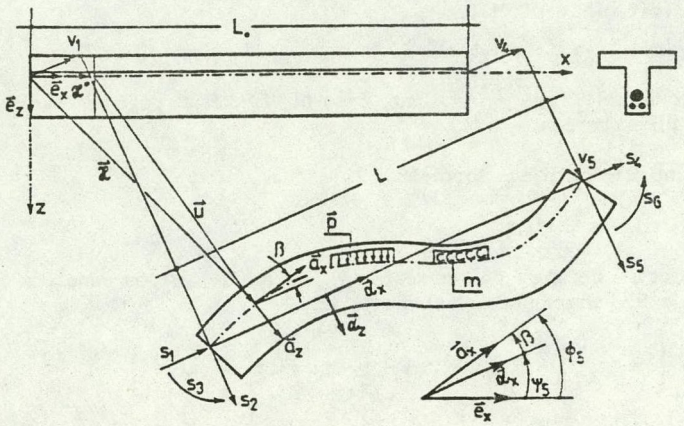
Z upoštevanjem kinematičnih in ravnotežnih enačb elemntov konstrukcije, Bernoullijeve hipoteze, konstitutivnih zakonov uporabljenih materialov in konstitutivnih enačb prečnih prerezov posameznih elemntov konstrukcije vsaki fazi gradnje, ki odgovarja določenemu časovnemu trenutku, formiramo pripadajoči sistem nelinearnih enačb konstrukcije. Sisteme nelinearnih enačb rešujemo numerično sukcesivno po časovnih intervalih.

3. TEORETIČNE OSNOVE RAČUNA NAPETOSTNO-DEFORMACIJSKEGA STANJA KONSTRUKCIJE

Sistem nelinearnih enačb konstrukcije tvorijo kinematične in ravnotežne enačbe posameznih elemntov konstrukcije.

3.1 Kinematične enačbe elemnta konstrukcije

Točke deformirane konstrukcije najlažje opišemo v gibljivem koordinatnem sistemu z bazo ($\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$, $\vec{a}_z$), ki se v začetni točki elementa ujema s fiksnim kartezijevim koordinatnim sistemom (x, y, z), v ostalih točkah težiščne osi elementa pa je glede na fiksni koordinatni sistem x, y z zasukom okrog osi y tako, da se smer baznega vektorja $\vec{a}_x$ ujema s smerjo normale prečnega prereza (slika 1).



Slika 1

Ker sta pri realnih inženirskih konstrukcijah elongacija e_0 in lokalna sprememba smeri osi elementa β v ločnem merilu v primerjavi z "1" količini majhnega reda (1)

$$|\beta| << 1.0 \quad ; \quad |e_0| << 1.0 \tag{1}$$

lahko s pomočjo določenih poenostavitev kinematične zveze med pomiki in deformacijskima količinama (e_0, β), ki veljajo za teorijo velikih pomikov in zmernih deformacij zapišemo z enačbama (2).

$$e_0 = u_{,x} + \cos\psi_S - 1 + 0{,}5\,\beta^2 \quad ; \quad \beta = -w_{,x} - \sin\psi_S \tag{2}$$

3.2 Ravnotežne enačbe elementa konstrukcije

Ravnotežne enačbe elementa konstrukcije določimo iz pogoja stacionarne vrednosti potencialne energije elementa konstrukcije v stabilnem ravnotežju (3).

$$\delta\pi(u,w,v_k) = \int_0^{L_0} (N\delta e_0 + M\delta(\beta,_x)dx - \int_0^{L_0} (\vec{p}\delta\vec{u} + m\delta\beta)dx - \sum_{k=1}^{6} S_k\delta v_k = 0 \tag{3}$$

Pri tem je $\vec{p}$ linijska obtežba, m zvezno razporejeni moment v osi elementa, S_k in v_k pa posplošene robne sile oziroma posplošeni robni pomiki elementa konstrukcije (sl. 1). Če v enačbi (3) upoštevamo kinematične enačbe (2) in kinematične robne pogoje, dobimo enačbe elementa v diferencialni obliki in statične robne pogoje.

3.3 Konstitutivni zakon betona in ojačilne armature

Sovisnost med napetostjo in deformacijo betona ob upoštevanju staranja, krčenja in lezenja betona lahko izrazimo s pomočjo enačbe (4).

$$\sigma(t) = \frac{\varepsilon(t,t_1)}{A_{t,t}} - \frac{1}{A_{t,t}} \left[\sum_{j=1}^{n} B_{j,t}\, \sigma(t_j) + \varepsilon_k(t) \right] \tag{4}$$

Pri tem so koeficienti $A_{t,t}$ in $B_{j,t}$ s pomočjo funkcije lezenja betona $\phi(t,t_j)$ določeni z enačbami (5);

$$\phi(t,t_j) = \frac{1}{E_c(t_j)} + \frac{\varphi(t,t_j)}{E_{c28}}$$

$$A_{t,t} = 0{,}50\ [\phi(t,t_n) + \phi(t,t)]$$
$$B_{j,t} = 0{,}50\ [\phi(t,t_{j-1}) - \phi(t,t_{j+1})] \tag{5}$$

krčenje betona $\varepsilon_k(t)$ pa je enolična časovna funkcija pogojev okolja, sestave svežega betona in oblike prereza.

Če upoštevamo Bernoullijevo hipotezo

$$\varepsilon(t,t_1) = e_o(t,t_1) + z\ \beta,_x(t,t_1)$$

lahko napetosti betona po enačbi (4) izrazimo neposredno z elongacijo e_o in ukrivljenostjo $\beta,_x$ sistemske osi elementa (6).

$$\sigma_c(t) = \frac{1}{A_{t,t}} \left[e_o(t,t_1) + z\ \beta,_x(t,t_1) - \sum_{j=1}^{n} B_{j,t}\, \sigma(t_j) - \varepsilon_k(t) \right] \tag{6}$$

Relaksacijo mehke armature pri redni trajni obtežbi lahko zaradi nizkega nivoja napetosti zanemarimo. Z upoštevanjem bilinearnega konstitutivnega zakona materiala in Bernoullijeve hipoteze lahko napetosti vseh mehkih ojačitev prereza izrazimo z elongacijo sistemske osi e_o in njeno ukrivljenostjo $\beta,_x$ ter napetostjo f_{smy} in deformacijo armature ε_{smy} na meji elastičnosti (7).

$$\sigma_{sm}(\varepsilon_s,t) = \frac{f_{smy}}{2} \left[\left| \frac{e_o(t) + z\ \beta,_x(t)}{|\varepsilon_{smy}|} + 1 \right| - \left| \frac{e_o(t) + z\ \beta,_x(t)}{|\varepsilon_{smy}|} - 1 \right| \right] \tag{7}$$

Pri profiliranem jeklu sovprežnih konstrukcij sovisnost med napetostjo in deformacijskima količinama sistemske osi zapišemo z enačbo (8),

$$\sigma_{sv}(\varepsilon_s,t) = \frac{f_{svy}}{2} \left[\left| \frac{e_o(t) + z\ \beta,_x(t)}{|\varepsilon_{svy}|} + 1 \right| - \left| \frac{e_o(t) + z\ \beta,_x(t)}{|\varepsilon_{svy}|} - 1 \right| \right] \tag{8}$$

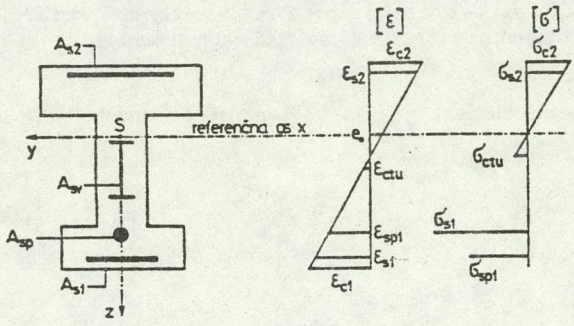
pri visokovredni prednapeti jekleni armaturi pa z enačbo (9),

$$\sigma_{sp}(\varepsilon_{sp},t_j) = \frac{\left\{ \dfrac{10^{-r}\, \dfrac{\varepsilon_{sp}(t_p)}{|\varepsilon_{spy}|}}{\left[1 + \left[\dfrac{|\varepsilon_{sp}(t_p)|}{|\varepsilon_{spy}|} \right]^n \right]^{\frac{1}{n}}} + 0.52 \right\} f_{sp}}{1 + 10^{-r}} + \frac{\partial \sigma_{sp}(t=t_j)}{\partial \varepsilon_{sp}(t=t_j)} \left[e_o(t_j) + z\ \beta,_x(t_j) \right] \tag{9}$$

ki upoštevana tudi relaksacijo armature po Stüssiju. Pri tem je n = log2/log(f_s/f_{sy}), $\varepsilon_{sp}(t_p)$ deformacija prednapete armature ob napenjanju, r pa funkcija relaksacije prednapete armature po Stüssiju, ki je odvisna le od nivoja napetosti armature v času napenjanja $\sigma_{sp}(t_p)$ in od časa t, v katerem iščemo napetost.

3.4 Konstitutivne enačbe ojačanega betonskega prereza

Rezultante normalnih napetosti prereza v poljubnem času t določimo z integracijo napetosti po vseh elementih "l" razpokanega enoosno simetričnega prečnega prereza, ki sestoji iz natezne in tlačne cone betona ter mehke in prednapete armature oziroma eventuelnih jeklenih profilov, če gre za sovprežno konstrukcijo.



Slika 2

$$N_x(t) = \sum_{l=1}^{l=p} \int_{A_l} \sigma(t)\,dA$$

$$M_y(t) = \sum_{l=1}^{l=p} \int_{A_l} z\sigma(t)\,dA \qquad (10)$$

Če v enačbah (10) časovni potek napetosti betona in ojačilne armature s pomočjo enačb(6), (7), (8) in (9) izrazimo z elongacijo e_o in ukrivljenostjo β,x sistemske osi elementa konstrukcije, dobimo konstitutivni enačbi prereza (11) in (12).

$$N_x(t) = \int_{A_c} \sigma_c(E_c,\varphi,e_o,\beta,x,t)\,dA + \int_{A_{sm}} \sigma_{sm}(e_o,\beta,x,f_{smy},\varepsilon_{smy})\,dA +$$

$$+ \int_{A_{sv}} \sigma_{sv}(e_o,\beta,x,f_{svy},\varepsilon_{svy})\,dA + \int_{A_{sp}} \sigma_{sp}(e_o,\beta,x,f_{sp},\varepsilon_{spy},\varepsilon_{sp},\frac{\sigma_{sp}}{f_{sy}},t)\,dA \qquad (11)$$

$$M_y(t) = \int_{A_c} z\sigma_c(E_c,\varphi,e_o,\beta,x,t)\,dA + \int_{A_{sm}} z\sigma_{sm}(e_o,\beta,x,f_{smy},\varepsilon_{smy})\,dA +$$

$$+ \int_{A_{sv}} z\sigma_{sv}(e_o,\beta,x,f_{svy},\varepsilon_{svy})\,dA + \int_{A_{sp}} z\sigma_{sp}(e_o,\beta,x,f_{sp},\varepsilon_{spy},\varepsilon_{sp},\frac{\sigma_{sp}}{f_{sy}},t)\,dA \qquad (12)$$

Prirastke notranjih sil prereza $\Delta N_x(\Delta t_1)$ in $\Delta M_y(\Delta t_1)$, ki v časovnem intervalu Δt_1 nastopijo zaradi reologije materiala ali pa zaradi spremembe zunanje obtežbe oziroma zaradi obeh vplivov, lahko s pomočjo matrike tangentnih togosti prereza v predhodnem časovnem intervalu izrazimo s prirastki elongacije Δe_o in ukrivljenosti $\Delta\beta,x$ sistemske osi elementa (13).

$$\begin{Bmatrix} \Delta N_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} K_{12} \\ K_{21} K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta e_o \\ \Delta\beta,x \end{Bmatrix} \qquad (13)$$

3.5 Računski postopek analize konstrukcije

Analizo konstrukcije izvedemo z uporabo metode končnih elementov. Ravnotežje elementa oziroma konstrukcije definiramo s stacionarno vrednostjo funkcionala potencialne energije sistema.
Ob upoštevanju kinematičnih pogojev in ravnotežja stičnih vozlišč okvirja formiramo enačbe okvirne konstrukcije, ki jih rešujemo sukcesivno po časovnih korakih.

$$[\,\bar{K}\,]_{(s)} \left\{ \Delta v_r \right\}_{(s+1)} = \left\{ F \right\} - \left\{ \bar{s}_r \right\}_{(s)} \qquad (14)$$

Pri tem je (s) oznaka iteracije, $\{F\}$ {vektor podane vozliščne obtežbe, $\{\bar{s}_r\}_{(s)}$ vektor kondenziranih robnih sil v iteraciji (s), $\{\Delta v_r\}_{(s+1)}$ popravek vektorja vozliščnih pomikov v iteraciji (s+1), in $[\bar{K}]_{(s)}$ tangentna togostna matrika konstrukcije v (s)-ti iteraciji.

Znotraj vsake iteracije moramo za vsak element za j>6 zadovoljiti še enačbe (15) in (16).

$$S_j(s+1) = S_j(s) + \Delta S_j(s+1) = 0 \qquad (15)$$

$$R_D(s+1) = R_D(s) + \Delta R_D(s+1) = 0 \qquad (16)$$

4.POTEK RAČUNA

Za analizo napetostno-deformacijskega stanja konstrukcije uporabimo metodo končnih elementov. Zaradi upoštevanja reologije materiala najprej za celotno obravnavano časovno območje izračunamo funkcijo lezenja $\phi(t_j)$ in deformacijo krčenja betona $\varepsilon_k(t_j)$. V primeru postopne gradnje moramo za vsak del konstrukcije, ki je zgrajen v drugem času, izračunati svojo funkcijo lezenja $\phi(t_j)$ in deformacijo krčenja $\varepsilon_k(t_j)$. Pri računu funkcije lezenja upoštevamo implicitno tudi staranje betona. Relaksacijo prednapete armature upoštevamo pri računu vsakokratnih rezultant napetosti oziroma konstitutivnih zvez prereza.

Po izračunu funkcije lezenja $\phi(t_j)$ in krčenja betona $\varepsilon_k(t_j)$ za vse podane čase pričnemo z analizo napetostno-deformacijskega stanja konstrukcije. Ker so enačbe konstrukcije nelinearne, jih po posameznih časovnih intervalih rešujemo iterativno z Newton-Raphsonovo metodo. Pri tem najprej določimo napetostno - deformacijsko stanje konstrukcije na koncu prvega časovnega intervala. Upoštevana zunanja obtežba se pri tem lahko s časom tudi spreminja. Notranje sile, pomike in deformacije konstrukcije iz prvega časovnega koraka t_1, služijo kot začetno stanje drugega časovnega koraka.

Na ta način nadaljujemo toliko časa, da določimo notranje sile in pomike konstrukcije v vseh časovnih korakih do željenega časa t. Za referenčno stanje konstrukcije v trenutnem koraku upoštevamo deformirano konstrukcijo in tangentne togosti prerezov iz predhodnega koraka.

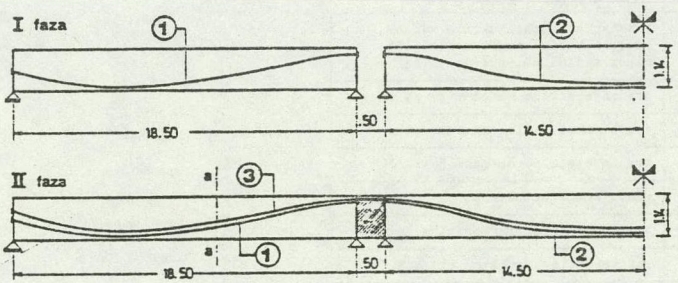
5.PROGRAMSKA OPREMA

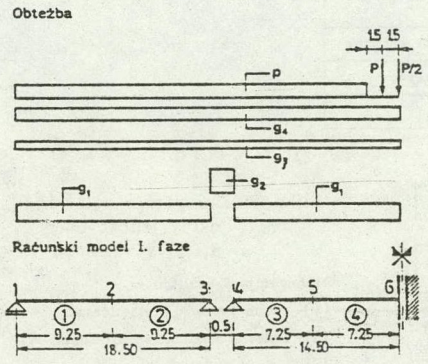
Osnovno različico računalniškega programa NONFRAN, ki ga je izdelal Jure Banovec smo le toliko spremenili, da smo mu lahko dodali nove module za račun reoloških vplivov materiala, konstitutivnih zvez razpokanih ojačanih betonskih prerezov, račun razpok in podprogram za simuliranje postopne gradnje konstrukcije na nivoju elementov. Možnost upoštevanja postopnosti gradnje konstrukcije na nivoju prečnih prerezov zaenkrat v programsko opremo še ni ugrajena.

Znotraj časovnih intervalov se obtežba konstrukcije s časom lahko linearno spreminja. Elementi obravnavane konstrukcije so lahko armirani in prednapeti betonski ter sovprežni. Vpliv zaporednega prednapenjanja na padec sile prednapetja predhodno napetih kablov je v računu avtomatično zajet.

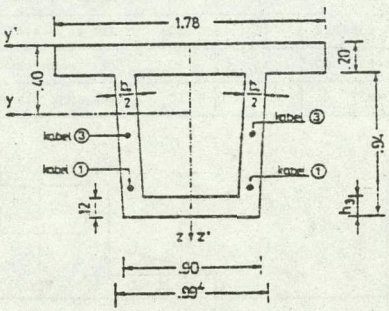
6. RAČUNSKI PRIMER

Prednapeti mostni nosilec sestavimo iz treh prostoležečih prednapetih nosilcev z lastno težo (g_1). Potem zabetoniramo del vozišče plošče med nosilci s težo (g_3) in prostor med konci montiranih prostoležečih nosilcev (g_2). Ko na gradbišču zabetonirani deli dosežejo zadostno trdnost, prednapnemo kable II.faze in prvotne prostoležeče nosilce povežemo v en neprekinjen nosilec preko treh polj (sl.3). Pozneje nosilec obtežimo s težo izolacije in obrabnega sloja (g_4) in koristno obtežbo (p in P).





prerez a-a



Mehka vzdolžna armatura

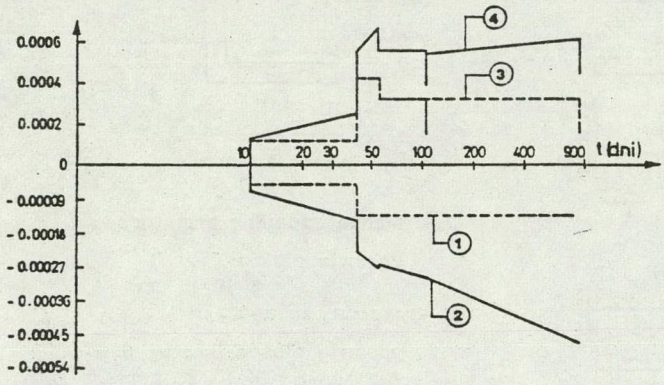
zgornja plošča:
$A_{s1} = A_{s2} = \phi$ 10/15 cm
(spodaj in zgoraj)

spodnja plošča in stojini:
$A_{s1} = A_{s2} = \phi$ 10/20 cm
(obojestransko)

g_1 = 18.50 kN/m ... lastna teža elementov 1-4
g_2 = 31.15 kN/m ... lastna teža elementa 5
g_3 = 1.47 kN/m ... teža zalivnega betona
g_4 = 7.79 kN/m ... teža krova
p = 6.91 kN/m ... koristna obtežba
P = 138.20 kN ... koristna obtežba

Slika 3

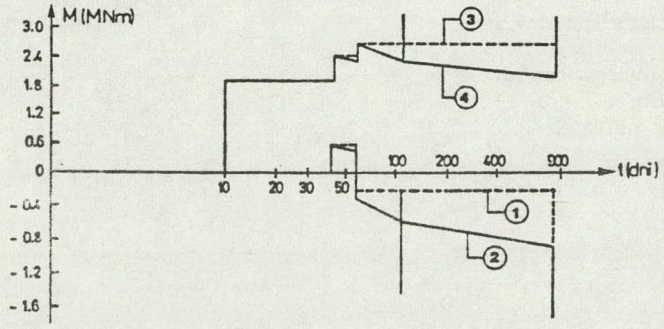
POGOJI VISKOZNEGA ODZIVA KONSTRUKCIJE			
časovni interval v dnevih	Pogoj okolja: temperat. zr. [°C]	Pogoj okolja: rel. vlaga zraka (%)	ukrep na konstrukciji
0	15	50	betoniranje
0-9.999	15	50	vezanje betona, krčenje, odležavanje
9.999-10	15	50	prednapetje kablov v polju nanos stalne obtežbe g_1
10-11	15	50	betoniranje veznega dela
11-40.999	20	40	trajanje stalne obtežbe g_1
40.999-41	20	40	prednapetje kontinuirnih kablov, zalivni beton, nanos stalne obt. nanos stalne obtežbe g_2 in g_3
41-55	25	60	trajanje stalne obtežbe g_1, g_2 in g_3
55-56	25	60	krov, nanos stalne obtežbe g_4
56-104.999	20	40	trajanje stalne obtežbe
104.999-105	20	40	nanos koristne obtežbe
105-105.333	20	40	trajanje stalne in koristne obtežbe
105.333-105.334	20	40	razbremenitev koristne obtežbe
105.334-835.999	18	60	trajanje stalne obtežbe
835.999-836	16	50	nanos koristne obtežbe
836-836.042	16	50	trajanje stalne in koristne obtežbe
836.042-836.043	16	50	razbremenitev koristne obtežbe
836.043-837	16	50	trajanje stalne obtežbe



Slika 4: Elongacija $e_0(t)$ in ukrivljenost osi $\beta_{,x}(t)$ v vozlišču 4

Elongacija v vozlišču 4:
(1)- račun po teoriji elastičnosti
(2)- splošna analiza - vsi reološki vplivi

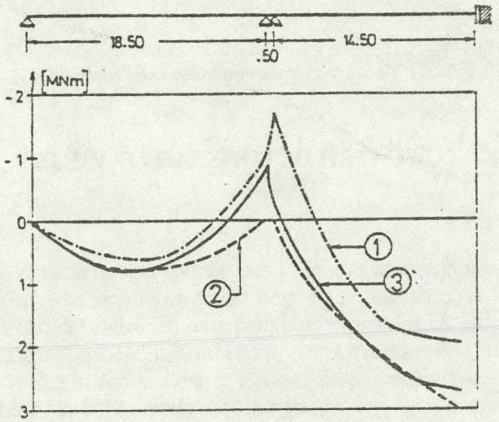
Ukrivljenost $\beta_{,x}$ v vozlišču 4:
(3)- račun po teoriji elastičnosti
(4)- splošna analiza - vsi reološki vplivi



Slika 5: Časovni potek momenta $M_y(t)$ v vozlišču 4 in 6

Upogibni moment $M_y(t)$ v vozlišču 4:
(1)- račun po teoriji elastičnosti
(2)- splošna analiza - vsi reološki vplivi

Upogibni moment $M_y(t)$ v vozlišču 6:
(3)- račun po teoriji elastičnosti
(4)- splošna analiza - vsi reološki vplivi



① - minimalni upogibni momenti neprekinjenega nosilca po teoriji odziva konstrukcije

② - maksimalni upogibni momenti neprekinjenega nosilca po teoriji odziva konstrukcije

③ - upogibni momenti neprekinjenega nosilca po teoriji elastičnosti

Slika 6: Potek ekstremnih vrednosti upogibnih momentov nosilca

7. SKLEP

Natančnost in zanesljivost računskega simuliranja viskoznega odziva ojačanih betonskih okvirjev je odvisna zlasti od zanesljivosti in točnosti vhodnih podatkov o reologiji, deformabilnosti in trdnosti osnovnih materialov. Natančnost računskega postopka je namreč bistveno večja od ujemanja računsko upoštevanih in dejanskih mehanskih in reoloških lastnosti materialov ter pogojev okolja. Dolžine upoštevanih časovnih intervalov praktično ne vplivajo na natančnost rezultatov. Vpliv postopne gradnje na napetostno - deformacisko stanje konstrukcije se z naraščanjem časa zmanjšuje. Zaradi upoštevanja linearne teorije lezenja betona prikazana računska metoda daje zanesljive rezultate le v območju napetosti betona, ki so manjše od 40 do 50% njegove tlačne trdnosti.

9. LITERATURA

[1] J. Banovec, *Geometrijska in materialna nelinearnost pri ravninskih okvirnih konstrukcijah*, doktorsko delo, FAGG, Ljubljana, 1986.

[2] F. Saje, *Viskoznost linijskih betonskih konstrukcij*,doktorsko delo, FAGG, Ljubljana, 1990

[3] J. Lopatič, *Vpliv postopne gradnje na napetostno - deformacijsko stanje betonskih konstrukcij*, magistrsko delo, FAGG, Ljubljana, avgust 1990.

[4] T. Tanaba, H. Nakamura, *Study on the Ultimate Deformation Capacity of RC Structures subjected to Cyclic Loadings*, Computer Aided Analysis and Design of Concrete Structures, Proceedings 2nd International Conference Volume 2, str.1177- 1188, Zell am See, April 1990.

[5] F. Saje, *The Effects of Rheology and Cracks on the Load - Deformatio Time Relationship of Plane Frames*, Computer Aided Analysis and Design Concrete Structures, Proceedings 2nd International Conference, str.727-738, Zell am See, April 1990.

mag. Jože Lopatič, dipl.inž.gradb.
UNIVERZA V LJUBLJANI, FAGG, Katedra za masivne in lesene konstrukcije

NELINEARNA ANALIZA OJAČANIH BETONSKIH OKVIRJEV

Povzetek

Prispevek prikazuje računsko metodo, ki omogoča elastično plastično analizo ojačanih betonskih okvirjev. Pri tem reologija materiala ni zajeta. Omejili smo se na ravninske konstrukcije, ki so lahko klasično armirane ali pa tudi prednapete. Za reševanje problema smo uporabili metodo končnih elementov. Pri tem smo upoštevali geometrijsko nelinearnost konstrukcije in fizikalno nelinearnost materiala. Za beton in mehko armaturo smo pripravili poenostavljene modele hiperelastične in elastično plastične snovi, jeklo za prednapenjanje pa obravnavamo le kot hiperelastično snov. S temi modeli zajamemo tudi vpliv razbremenjevanja konstrukcije. Z delno spremembo in razširitvijo računalniškega programa NONFRAN smo pripravili tudi programsko opremo za praktičen račun.

NON-LINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES

Summary

A calculation method that enables the elastic-plastic analysis of reinforced concrete frames and not taking into account the rheology of material is presented. We limited our research work on plane frames, being classically reinforced and prestresed as well. The finite element method was used for the solution of the problem, considering the geometrical nonlinearity of a structure and the physical nonlinearity of material. Simplified models of hypher-elastic and elastic-plastic material were prepared for concrete and soft reinforcement, while high quality steel for prestressing was treated only as a hypher-elastic material. These models involved also the influence of unloading of a structure. On the basis of given theoretical derivations, we enlarged and partly changed the basis version of the computer program NONFRAN.

1. OSNOVNA IZHODIŠČA, PREDPOSTAVKE IN POENOSTAVITVE

Pri računski nelinearni analizi ojačanih betonskih konstrukcij z upoštevanjem vpliva razbremenjevanja smo se omejili na ravninske linijske konstrukcije. Konstrukcijo lahko obravnavamo kot ravninsko, če so izpolnjene naslednje zahteve [2]:
- prečni prerezi vseh elementov konstrukcije so simetrični glede na ravnino deformiranja in so dovolj kompaktni, da pod vplivom obtežbe ne spremenijo oblike,
- rezultante zunanje obtežbe ležijo v simetrijski ravnini prečnih prerezov in-elementi konstrukcije so bočno podprti, tako da ni nevarnosti pojavov bočne nestabilnosti izven ravnine deformiranja.

Konstitutivne enačbe ojačanega betonskega prereza smo izpeljali na osnovi naslednjih predpostavk in poenostavitev:
- velja Bernoullijeva hipoteza o ravninskih prerezih,
- porušitev adhezijske povezave betona in jekla je preprečena,
- privzamemo konstitucijske zakone sestavnih materialov prereza,
- vpliv strižnih napetosti na deformacijsko stanje prereza zanemarimo.

1.1. Potek vzdolžnih deformacij po prečnem prerezu

Privzeli smo Bernoullijevo hipotezo o ravninskih prerezih, ki ostanejo med deformiranjem pravokotni na os noslica. Po tej hipotezi dobimo linearen potek vzdolžnih deformacij po prečnem prerezu in lahko deformacijo v poljubni točki prereza določimo z enačbo (1.1).

$$\varepsilon(z) = \varepsilon_0 + \varepsilon_M z \qquad (1.1)$$

Pri tem so ε_o elongacija referenčne osi elementa, ε_M ukrivljenost referenčne osi elementa, z pa koordinata poljubne točke prereza.

2. MEHANSKE LASTNOSTI MATERIALOV

2.1. Upoštevani konstitucijski zakoni betona

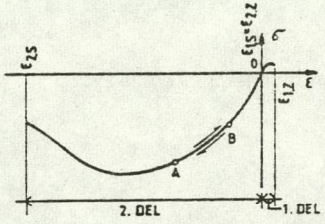
Zaradi izbrane metode integracije napetosti po prerezu, zapišemo konstitucijski zakon betona v obliki polinomske funkcije [1]. Delovni diagram betona razdelimo na dva dela. Na vsakem delu je zveza σ-ε podana s polinomom 4. reda. Polinoma sestavimo tako, da je delovni diagram tudi na skupni meji obeh delov zvezen in zvezno odvedljiv. S primerno izbiro konstant obeh polinomov lahko s tem delovnim diagramom točno zajamemo praktično vse predloge računskih konstitucijskih zakonov, ki se običajno uporabljajo. Koeficiente polinomov lahko določamo tudi za simulacijo eksperimentalno dobljene sovisnice σ-ε. V tem primeru jih izračunamo s pomočjo metode najmanjše vsote kvadratov odstopanj tako, da se čimbolj približamo izmerjeni zvezi.

Hiperelastični model betona

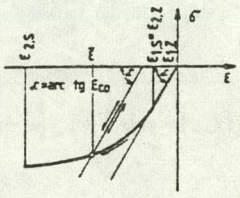
Pri modelu nelinearno elastičnega materiala je napetost enolična funkcija deformacij. Konstitucijski zakon betona (sl. 2.1) zapišemo z dvema polinoma 4.reda (en. 2.1).

$$\sigma(\varepsilon) = a_0^1 + a_1^1\varepsilon + a_2^1(\varepsilon)^2 + a_3^1(\varepsilon)^3 + a_4^1(\varepsilon)^4, \qquad \varepsilon_{1,s} \le \varepsilon \le \varepsilon_{1,z}$$

$$\sigma(\varepsilon) = a_0^2 + a_1^2\varepsilon + a_2^2(\varepsilon)^2 + a_3^2(\varepsilon)^3 + a_4^2(\varepsilon)^4, \qquad \varepsilon_{2,s} < \varepsilon \le \varepsilon_{2,z}\ ; \quad \varepsilon_{1,s} = \varepsilon_{2,z} \qquad (2.1)$$



Slika 2.1



Slika 2.2

Za račun rezultant napetosti in členov tangentne togostne matrike prereza potrebujemo napetost in tangentni modul elastičnosti, izražena v odvisnosti od koordinate z. Pri poznanih deformacijskih parametrih ε_o in ε_M lahko ob upoštevanju enačbe 1.1 zapišemo potek normalnih napetosti po prerezu kot funkcijo koordinate z za vsak del konstitucijskega zakon betona (j = 1,2) z enačbo:

$$\sigma(z) = c_0^j + c_1^j z + c_2^j(z)^2 + c_3^j(z)^3 + c_4^j(z)^4, \qquad z_{j,s} < z \le z_{j,z}\ ; \qquad (2.2)$$

Pri tem so konstante c_k^j odvisne od deformacijskih parametrov ε_o in ε_M in konstant a_l^j (j=1,2;l=0..4), ki določajo konstitucijski zakon betona 2.1.

Tangentni modul elastičnosti je za vsak del diagrama (j=1,2) določen z izrazom (2.3):

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{d\sigma}{dz}\frac{dz}{d\varepsilon} = \left[c_1^j + 2c_2^j z + 3c_3^j(z)^2 + 4c_4^j(z)^3\right]\frac{1}{\varepsilon_M} = d_0^j + d_1^j z + d_2^j(z)^2 + d_3^j(z)^3 \qquad (2.3)$$

Konstante d_k^j (k=0..3;j=1,2) so zopet funkcije deformacijskih parametrov ε_o in ε_M ter konstant a_l^j (j=1,2;l=0..4), ki določajo konstitucijski zakon betona 2.1.

Elastično plastični model betona

Da bi računsko vsaj približno spremljali tudi razbremenjevanje in morebitno ponovno obremenjevanje konstrukcij, smo za beton pripravili [1] poenostavljen elastično plastični model snovi (sl. 2.2). Podobno kot pri hiperelastičnem modelu sestavimo delovni diagram iz dveh polinomov. Pri tem se omejimo na polinoma 2. stopnje. Poleg tega pa upoštevamo le območje tlakov. V nasprotnem primeru se izredno zakomplicira postopek iskanja integracijskih območij napetosti znotraj prereza.

V računu upoštevamo samo normalne napetosti v smeri vzdolžne osi elementa, zato lahko pogoj razbremenjevanja zapišemo z doseženo minimalno vzdolžno deformacijo $\bar{\varepsilon}$:

$$\varepsilon > \bar{\varepsilon} \tag{2.4}$$

Za *področje obremenjevanja* ($\varepsilon \le \bar{\varepsilon}$) velja za vsak del (j=1,2) konstitucijskega zakona zveza:

$$\sigma(\varepsilon) = a_0^j + a_1^j\varepsilon + a_2^j(\varepsilon)^2, \qquad \varepsilon_{j,s} \le \varepsilon \le \varepsilon_{j,z} \tag{2.5}$$

Kot pri hiperelastičnem modelu tudi tu zapišemo napetost v odvisnosti od koordinate z. Z upoštevanjem enačbe (1.1) dobimo za vsak del konstitucijskega zakona (j=1,2) naslednjo enačbo:

$$\sigma(z) = c_0^j + c_1^j z + c_2^j(z)^2, \qquad z_{j,s} < z \le z_{j,z} \tag{2.6}$$

$$c_0^j = a_0^j + a_1^j\varepsilon_0 + a_2^j(\varepsilon_0)^2; \qquad c_1^j = a_1^j\varepsilon_M + 2a_2^j\varepsilon_0\varepsilon_M; \qquad c_2^j = a_2^j(\varepsilon_M)^2 \tag{2.7}$$

Tangentni modul elastičnosti je za oba dela delovnega diagrama betona določen z izrazom:

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{d\sigma\, dz}{dz\, d\varepsilon} = d_0^j + d_1^j z; \qquad d_0^j = a_1^j + 2a_2^j\varepsilon_0 \qquad d_1^j = 2a_2^j\varepsilon_m \tag{2.8}$$

Za *območje razbremenjevanja* ($\varepsilon > \bar{\varepsilon}$) pa velja za oba dela konstitucijskega zakona zveza:

$$\sigma_R(\varepsilon, \bar{\varepsilon}) = \sigma(\bar{\varepsilon}) + E_\infty(\varepsilon - \bar{\varepsilon}), \qquad \sigma_R \le 0 \tag{2.9}$$

Pri tem je Eco začetni tangentni modul: $$E_\infty = \left.\frac{d\sigma}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=0} = a_1^1 \tag{2.10}$$

Potek ekstremnih skrčkov po nekem območju prereza (slika 2.3) lahko zapišemo na naslednji način:

$$\varepsilon = \bar{\varepsilon}_0 + \bar{\varepsilon}_M z \tag{2.11}$$

Pri tem sta $\bar{\varepsilon}_0$ in $\bar{\varepsilon}_M$ parametra deformacijske ravnine, ki z upoštevanjem zgodovine obremenjevanja-torej predhodnih deformacijskih stanj prereza, povzroča na nekem območju maksimalne skrčke.

Z upoštevanjem enačbe (1.1) in (2.11) lahko zapišemo enačbo (2.9) za vsak del delovnega diagrama betona (j = 1,2) z enačbo (2.12).

$$\sigma(z) = c_0^j + c_1^j z + c_2^j(z)^2, \qquad \sigma \le 0 \tag{2.12}$$

Ta enačba je na pogled popolnoma enaka enačbi (2.6), ki velja za področje obremenjevanja. Razlika je le v konstantah c_{ij}, ki jih tu izračunamo z izrazi:

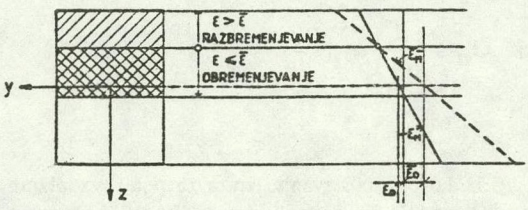
$$c_0^j = a_0^j + a_1^j\bar{\varepsilon}_0 + a_2^j(\bar{\varepsilon}_0)^2 + a_1^j(\varepsilon - \bar{\varepsilon}_0), \qquad c_1^j = a_1^j\bar{\varepsilon}_M + 2a_2^j\bar{\varepsilon}_0\bar{\varepsilon}_M + a_1^j(\varepsilon_M - \bar{\varepsilon}_M)$$

$$c_2^j = a_2^j(\bar{\varepsilon}_M)^2 \tag{2.13}$$

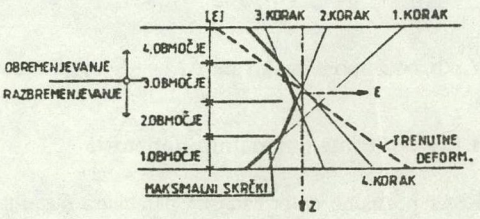
Tangentni modul elastičnosti pri razbremenjevanju je v obeh delih delovnega diagrama podan kot:

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{d\sigma}{dz}\frac{dz}{d\varepsilon} = d_0^j + d_1^j z; \qquad d_0^j = a_1^j = E_{\infty}, \qquad d_1^j = 0 \tag{2.14}$$

Pri elastično plastičnih materialih je za napetostno stanje prereza oziroma območja prereza poleg trenutnega deformacijskega stanja pomembna tudi zgodovina obremenjevanja. Konstrukcijo običajno analiziramo pri večjem številu obtežnih korakov. Med računom shranjujemo deformacijske parametre ($\bar{\varepsilon}_0$ in $\bar{\varepsilon}_M$), ki nam na določenih območjih prereza opisujejo potek ekstremnih skrčkov (slika 2.4).



Slika 2.3



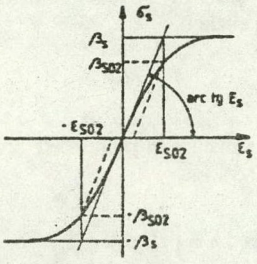
Slika 2.4

Tako dobimo odsekoma linearen potek ekstremnih skrčkov po prečnem prerezu. Iz primerjave tega poligona ekstremnih deformacij s trenutnimi deformacijami v nekem območju lahko ugotavljamo področja razbremenjevanja in obremenjevanja. Med računom shranimo poligon ekstremnih deformacij le v koraku, pri katerem dosežemo ravnotežje na nivoju prereza in na nivoju konstrukcije.

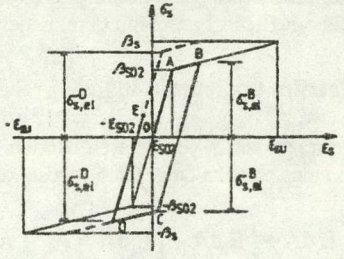
2.2. Upoštevani konstitucijski zakoni armature

Mehko armaturo obravnavamo kot hiperelastično ali elastično-plastično snov, visokovredno jeklo za prednapenjanje konstrukcij pa upoštevamo le kot hiperelastično snov. Kadar simuliramo hiperelastično snov, upoštevamo pri mehki armaturi običajne dobro poznane bilinearne in trilinearne delovne diagrame, pri jeklu za prednapenjanje pa uporabimo nelinearni delovni diagram, ki sta ga podala Goldberg in Richard (slika 2.5).

Za mehko armaturo smo pripravili preprost računski model (slika 2.6), ki opisuje elastično plastično obnašanje mehke armature [1]. Podatka, ki opisujeta zgodovino obremenjevanja, sta: $\varepsilon_{s,o}$-deformacija, ki ustreza napetosti σ=0 in $\sigma_{s,el}$-trenutna napetostna meja elastičnosti (začetni vrednosti sta $\varepsilon_{s,o}$=0 in $\sigma_{s,el}=\beta_{so,2}$). Pri poznanih vrednostih teh dveh parametrov, ki sta odvisna od predhodnih deformacijskih stanj prereza, postane napetost enolična funkcija deformacij.



Slika 2.5



Slika 2.6

3. KONSTITUTIVNE ENAČBE OJAČANIH BETONSKIH PREREZOV

Geometrijo betonskega prereza podamo s koordinatami točk poligona zunanje in morebitnih notranjih kontur. Na ta način lahko do poljubne natančnosti opišemo praktično vsako obliko prečnega prereza. Za poligonalno obliko betonskega prereza z upoštevanjem Greenovega integralskega izreka prevedemo ploskovne integrale na integrale po zaključenih konturah in dobimo:

$$\int_{A_x} y^{\alpha} z^{\beta} dA = -\oint_C \frac{y^{\alpha} z^{\beta+1}}{\beta+1} dy = -\sum_{i=1}^{m-1} G^i_{\alpha\beta}, \qquad \text{m-1 je pri tem število stranic poligona.} \tag{3.1}$$

Za α=0 (ravninske konstrukcije) velja: $$G^i_{0\beta} = \frac{\Delta y_i}{(\beta+1)(\beta+2)\Delta z_i}\left[(z_i+\Delta z_i)^{\beta+2} - (z_i)^{\beta+2}\right] \tag{3.2}$$

V posebnem primeru, ko gre $\Delta z_i \longrightarrow 0$, pa dobimo: $$G^1_{0\beta} = \frac{1}{\beta+1}\Delta y_i (z_i)^{\beta+1} \tag{3.2a}$$

3.1. Rezultante normalnih napetosti

Kadar poznamo deformacijska parametra (ε_o in ε_M), lahko ob upoštevanju izraza za potek vzdolžnih deformacij po prerezu (1.1) in izbranih analitičnih konstitucijskih zakonih (razdelek 2) izračunamo rezultante normalnih napetosti prereza z integracijo po enačbah (3.3):

$$N = \int_A \sigma dA = \int_{Ac} \sigma dA + \int_{As} \sigma dA + \int_{Ak} \sigma dA = N_c + N_s + N_k$$

$$M = \int_A z\sigma dA = \int_{Ac} z\sigma dA + \int_{As} z\sigma dA + \int_{Ak} z\sigma dA = M_c + M_s + M_k \tag{3.3}$$

Če privzamemo diskretno razporeditev armature po prerezu lahko prispevek mehke in kabelske armature k nosilnosti prereza (N_S,M_S ter N_k,M_k) določimo ob upoštevanju konstitucijskih zakonov iz razdelka 2.2. v obliki vsote. Za prispevek betona k nosilnosti pa dobimo v primeru poligonalnega prereza in hiperelastičnega modela snovi naslednja izraza:

$$N_c = -\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{m^j-1}\left(c_0^j G^i_{00} + c_1^j G^i_{01} + c_2^j G^i_{02} + c_3^j G^i_{03} + c_4^j G^i_{04}\right), \quad M_c = -\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{m^j-1}\left(c_0^j G^i_{01} + c_1^j G^i_{02} + c_2^j G^i_{03} + c_3^j G^i_{04} + c_4^j G^i_{05}\right) \tag{3.4}$$

Pri tem je m^j število točk poligona, ki pripada j-temu delu konstitucijskega zakona betona.

V primeru upoštevanja elastično plastičnega modela betona po enačbi (2.6) oziroma (2.12) pa moramo na podlagi podatkov o zgodovini obremenjevanja ($\bar{\varepsilon}_0$ in $\bar{\varepsilon}_M$) (sl. 2.4) ugotoviti še območja elastičnosti oziroma plastičnosti. Tako dobimo za elastično plastičen model betona v enačbah 3.4 še dodatno vsoto po območjih z različno zgodovino obremenjevanja, konstanti c_3^j in c_4^j pa sta enaki 0.

3.2. Matrika tangentnih togosti prereza

Ker so prerezi sestavljeni iz treh osnovnih materialov: betona, mehke armature in prednapete armature, dobimo člene matrike tangentnih togosti kot vsoto njihovih prispevkov (3.5).

$$A_t = \int_{Ac} E_t dA + \int_{As} E_t dA + \int_{Ak} E_t dA = A_{t_c} + A_{t_s} + A_{t_k}, \quad S_t = \int_{Ac} zE_t dA + \int_{As} zE_t dA + \int_{Ak} zE_t dA = S_{t_c} + S_{t_s} + S_{t_k},$$

$$I_t = \int_{Ac}(z)^2 E_t dA + \int_{As}(z)^2 E_t dA + \int_{Ak}(z)^2 E_t dA = I_{t_c} + I_{t_s} + I_{t_k} \qquad (3.5)$$

Kot pri rezultantah napetosti določimo prispevek mehke in kabelske armature zaradi privzete diskretne razporeditve po prerezu kar z vsoto. Prispevek betona k členom matrike tangentnih togosti pa dobimo v primeru hiperelastičnega modela snovi za poligonalno obliko prereza z upoštevanjem enačbe 3.1 naslednje izraze:

$$A_{t_c} = -\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{m^j-1}\left(d_0^j G_{00}^i + d_1^j G_{01}^i + d_2^j G_{02}^i + d_3^j G_{03}^i\right), \qquad S_{t_c} = -\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{m^j-1}\left(d_0^j G_{01}^i + d_1^j G_{02}^i + d_2^j G_{03}^i + d_3^j G_{04}^i\right)$$

$$I_{t_c} = -\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{m^j-1}\left(d_0^j G_{02}^i + d_1^j G_{03}^i + d_2^j G_{04}^i + d_3^j G_{05}^i\right) \qquad (3.6)$$

V primeru upoštevanja elastično plastičnega modela betona po enačbi (2.6) oziroma (2.12) moramo na podlagi podatkov o zgodovini obremenjevanja ($\bar{\varepsilon}_0$ in $\bar{\varepsilon}_M$) (sl. 2.4) ugotoviti še območje razbremenjevanja oziroma obremenjevanja. V enačbah 3.6 tako nastopa še dodatna vsota po območjih z različno zgodovino obremenjevanja, konstanti d_2^j in d_3^j pa sta enaki 0.

4. METODA ANALIZE KONSTRUKCIJ

Računsko analizo konstrukcij izvajamo z metodo končnih elementov [2]. Uporabimo končni element z oznako P4 [2]. Pri tem elementu je ukrivljenost po njegovi dolžini aproksimirana s polinomom 4. stopnje. Za numerično integracijo količin vzdolž elementa uporabimo Lobattovo kvadraturno formulo. Na nivoju posameznega prereza določamo konstitutivni osni raztezek pri znani osni sili N in ukrivljenosti ε_M vzdolžne osi elementa ("mešani" pristop) iz konstitutivne enačbe prereza $N=N(\varepsilon_0)$ iterativno s tangentno metodo [1].

Upoštevanje postopnosti gradnje betonskih okvirjev

Poseben delež prispeva k nelinearnemu obnašanju gradbenih konstrukcij tudi njihova postopna gradnja. Praktično vse objekte, z izjemo najbolj enostavnih, gradimo postopno. Večetažne okvirne konstrukcije navadno gradimo sukcesivno etažo za etažo. Pri taki gradnji je del konstrukcije obremenjen in s tem deformiran že pred dograditvijo celotnga objekta. Obtežba, ki deluje na del konstrukcije v času izgradnje, lahko predstavlja kar precejšen del končne obtežbe, pri tem pa se lahko statični sistem bistveno spreminja.

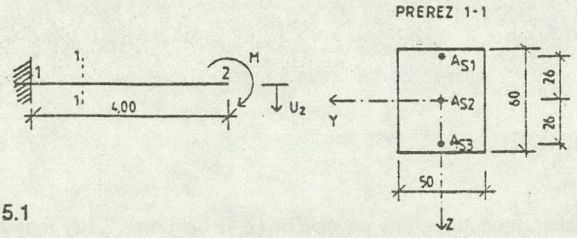
Izdelana računska metoda nam omogoča analizo konstrukcije v vseh fazah gradnje. Fazo gradnje predstavlja vsaka sprememba globalne geometrije - torej spremememebo števila elementov konstrukcije. V vsaki fazi lahko analiziramo več obtežnih korakov.
Globalno geometrijo konstrukcije podamo s koordinatami vozlišč, ki predstavljajo krajišča končnih elementov. Poleg običajnih podatkov o elementih moramo podati še fazo gradnje v kateri postane element nosilni del konstrukcije. Na pdlagi tega podatka lahko ugotovimo katera vozlišča so v neki fazi gradnje prisotna na konstrukciji. Vozlišča in elemente oštevilčimo tako, da so grupirana po fazah gradnje. S tem predstavlja v neki fazi najvišja številka elementače število elementov, najvišja številka vozlišča pa število vozlišč. V vmesnih fazah tako rešujemo le del sistema enačb celotne konstrukcije. Ta del pa se z vsako fazo gradnje povečuje. Geometrijo in obtežbo podamo za celotno konstrukcijo in vse faze vnaprej. Koordinate vozlišč, ki se pojavijo po prvi fazi, lahko podajamo na dva načina. Pri prvem podamo dokončne vrednosti, pri drugem pa se s koordinatami novega vozlišča navežemo na poljubno vozlišče že zgrajene konstrukcije v deformirani legi. Dokončne koordinate dobimo tako, da izhodiščnim vrednostim prištejemo pomike izbranega vozlišča v smeri ustrezne koordinate.

5. RAČUNSKA PRIMERA

Računska primera prikazana v nadaljevanju, smo izračunali z modificirano verzijo računalniškega programa NONFRAN, ki smo jo pripravili na podlagi prikazanih teoretičnih osnov.

5.1. Konzolni nosilec

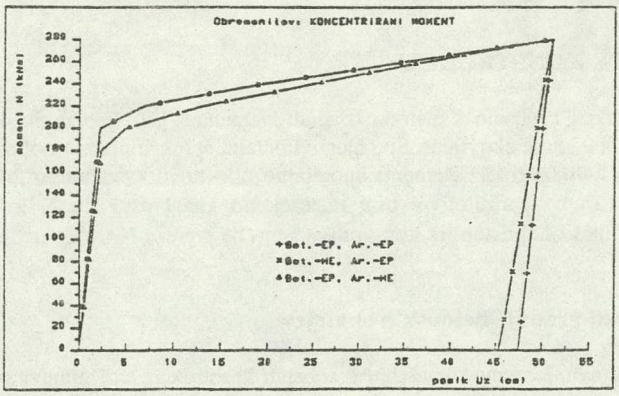
Konzolni nosilec na prostem koncu obremenimo s koncentriranim momentom M = 10kNm, ga povečujemo do vrednosti M= 280kNm, nakar ga zmanjšujemo proti vrednosti 0.



Slika 5.1

MB 40: f_{cd}=25.5 MPa
GA 240/360:
$\beta_{so.2}$ = 240 MPa
E_s = 210000 MPa
E_{sh} = 22000 MPa
ε_{su} = 5%
A_{s1} = 16.16 cm^2
$A_{s2} = A_{s3}$ = 1.57 cm^2

Na sliki 5.2 je za različne kombinacije upoštevanih računskih modelov betona in armature prikazana izračunana zveza med momentom M in pomikom Uz vozlišča 2 v vertikalni smeri.

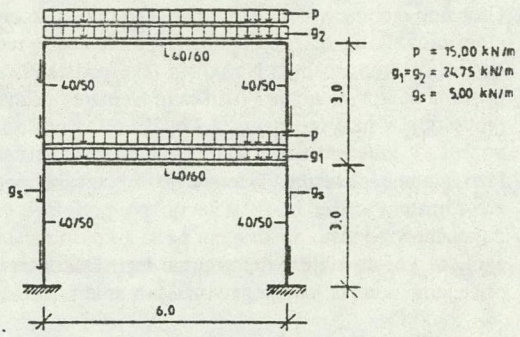


Slika 5.2

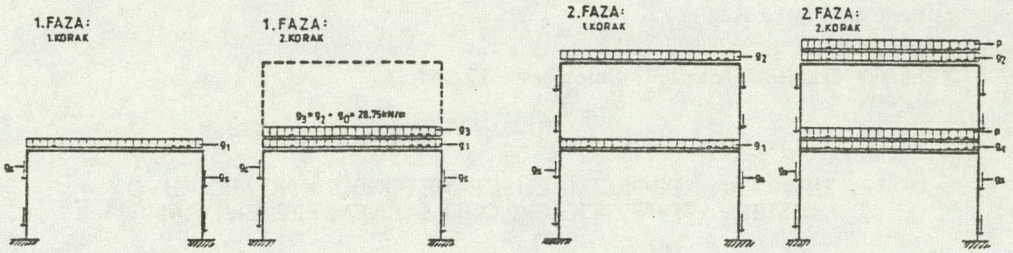
5.2. Armiranobetonski dvoetažni okvir

Dvoetažni okvir (slika 5.3) je zgrajen postopno v dveh fazah in sicer etažo za etažo. Vsi nosilni elementi imajo prečni prerez pravokotne oblike in so izdelani iz betona MB 30 ter gladke armature GA 240/360. Stalna in koristna vertikalna obtežba je enakomerno razporejena vzdolž posamenznih elementov. Po linearni teoriji elastičnosti smo izračunali notranje sile in v smislu veljavnih predpisov določili potrebno vzdolžno armaturo.

V prvi fazi obravnavamo dva obtežna koraka (slika 5.4). V prvem upoštevamo stalno obtežboprve prečke g_1 in lastno težo stebrov g_s, v drugem pa na prvo prečko deluje še teža g_3 (zabetonirana a nenosilna druga etaža, opaž in podporna konstrukcija. V drugi fazi je nosilna že celotna konstrukcija (slika 5.4) s tem, da je v prvem koraku na konstrukciji vsa stalna in lastna obtezba preček in stebrov, v drugem pa dodatno še koristna obtežba.

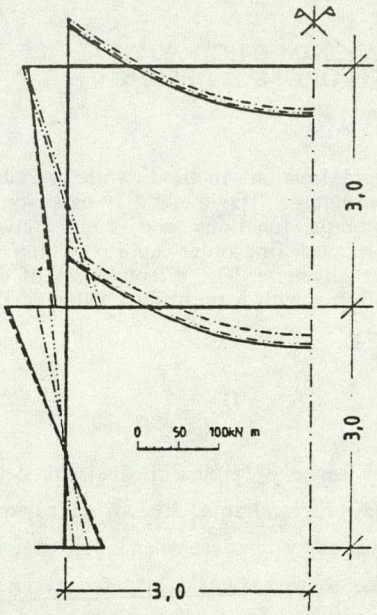


Slika 5.3

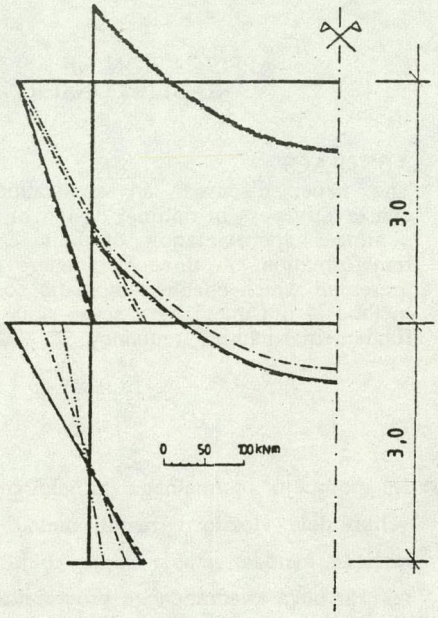


Slika 5.4

Na sliki 5.5 je prikazan potek upogibnih momentov konstrukcije druge faze po prvem obtežnem koraku (a) in po drugem obtežnem koraku (b).



Slika 5.5 a



Slika 5.5 b

Legenda:
- linearna teorija elastičnosti, homogen prerez, celotna konstrukcija
- nelinearna analiza, hiperelastični materiali, celotna konstrukcija
- nelinearna analiza, hiperelastični materiali, upoštevana postopnost gradnje
- nelinearna analiza, elastično plastični materiali, upoštevana postopnost gradnje

6. LITERATURA

[1] J.Lopatič, *Vpliv postopne gradnje na napetostno-deformacijsko stanje ojačanih betonskih konstrukcij*, Magistrsko delo, FAGG, Ljubljana, 1990

[2] J.Banovec, *Geometrijska in materialna nelinearnost pri ravninskih okvirnih konstrukcijah*, Doktorsko delo, FAGG, Ljubljana, 1986

[3] F.Saje, *Osnove nelinearnosti betonskih konstrukcij*, FAGG, Ljubljana, 1987

[4] M.Saje, *Enačbe snovi*, FAGG, Ljubljana, 1989

red. prof. dr. Maks Oblak
asistent dr. Marko Kegl
raziskovalec mag. Mounzer Raya

Tehniška fakulteta Maribor, Smetanova 17

UPORABA APROKSIMACIJSKE METODE S SPREMENLJIVO KONZERVATIVNOSTJO PRI OPTIMALNEM PROJEKTIRANJU

POVZETEK
Prispevek obravnava uporabo aproksimacijske metode matematičnega programiranja pri optimalnem projektiranju ravninskih okvirjev. Metoda je zasnovana na nelinearni aproksimaciji namenske in omejitvenih funkcij in njihovi konveksni transformaciji. Predstavljena je nelinearna aproksimacija prvega reda s tremi parametri, ki omogočajo avtomatsko regulacijo konzervativnosti. Učinkovitost metode je ilustrirana na primeru sedemetažnega okvirja s predpisano prvo lastno frekvenco.

APPLICATION OF AN APPROXIMATION METHOD WITH VARIABLE CONSERVATIVENESS IN OPTIMAL DESIGN

ABSTRACT
The paper discusses an application of an approximation method with variable conservativeness in optimal design of plane frame structures. The method is based on a nonlinear approximation of both cost and constraints functions and their convex transformation. A three parameters controlled nonlinear first-order approximation is presented which enables automatic control of conservativeness. The effectiveness of the method is illustrated by a seven-story and one-bay frame with a prescribed value of the fundamental natural frequency.

1. UVOD

Na področju optimalnega projektiranja konstrukcij se je v preteklih dvajsetih letih veliko dela vložilo v razvoj metod matematičnega programiranja. Razvoj je zajemal različne metode, vendar se je kljub temu uveljavila sprva predvsem ena [1]: metoda rekurzivnega kvadratičnega programiranja. Vzporedno so se prav tako uspešno razvijale metode kriterija optimalnosti, ki pa ne spadajo k metodam matematičnega programiranja. Te metode so običajno učinkovitejše od metode rekurzivnega kvadratičnega programiranja, ker temeljijo na mehanskih lastnostih optimalne konstrukcije. Zaradi tega je njihova uporabnost omejena na izbrano vrsto mehanskega sistema. Da bi se izognili omenjeni slabosti, so v zadnjih desetih letih mehanske pogoje za optimum nadomestili z matematičnimi (Kuhn-Tuckerjevi pogoji [1]), zgradba algoritma pa je v zasnovi ostala ista. S tem smo dobili novo učinkovito metodo matematičnega programiranja.

V zadnjih dveh do treh letih se je izkazalo, da je bistvo nove metode način aproksimacije funkcij, ki opisujejo problem optimalnega projektiranja. V svetovni literaturi se je pojavilo več vrst primernih aproksimacij, s katerimi se je oblikovalo

tudi novo (bolj korektno) ime metode: aproksimacijska metoda.

Danes sta na področju optimalnega projektiranja konstrukcij metoda rekurzivnega kvadratičnega projektiranja in aproksimacijska metoda praktično edini učinkoviti metodi. Seveda pa se obe pojavljata v mnogih variantah in različicah.

Če obe metodi primerjamo, lahko ugotovimo, da je aproksimacijska metoda mnogo enostavnejša za uporabo in običajno računsko učinkovitejša, vendar ni tako zanesljiva kot metoda rekurzivnega kvadratičnega programiranja. To slabost aproksimacijske metode se da delno odpraviti z vpeljavo aproksimacije s spremenljivo konzervativnostjo [2].

Na rešenem zgledu bomo pokazali pomembnost spremenljive konzervativnosti. Za zgled smo izbrali optimiranje okvirja na minimalno težo ob upoštevanju pogoja za prvo lastno frekvenco. Pogoj za lastno frevenco smo izbrali zato, ker je iz matematičnega stališča (oblika dopustnega območja) precej težji za obravnavo [3] kot na primer pogoj pomika ali napetosti in so prednosti pristopa bolj razvidne.

2. APROKSIMACIJSKE METODE

Aproksimacijske metode so prilagojene [4] reševanju nelinearnih problemov matematičnega programiranja oblike:

$$\min f_0(\mathbf{a}) , \tag{1}$$

ob upoštevanju pogojev

$$f_j(\mathbf{a}) \le 0 , \quad j = 1,...,n , \tag{2}$$

in stranskih pogojev

$$a_i^{min} \le a_i \le a_i^{max} , \quad i = 1,...,m , \tag{3}$$

kjer je f_0 namenska in f_j omejitvena funkcija, ki morata biti odvedljivi. Vektor $\mathbf{a} \in \mathbb{R}^m$ vsebuje konstrukcijske spremenljivke, gornja desna indeksa pa označujeta spodnjo in zgornjo dopustno vrednost.

Način delovanja aproksimacijskih metod je iteracijski. V k-ti iteraciji je postopek naslednji: na osnovi znane točke $\mathbf{a}^{(k)}$ in problema (1)-(3) določi enostavnejši problem matematičnega programiranja $P^{(k)}$ in ga reši. Rešitev $\mathbf{a}^{(k+1)}$ predstavlja izboljšan projekt glede na $\mathbf{a}^{(k)}$. Postopek iteracijsko ponavljamo, dokler se zaporedje $\mathbf{a}^{(k)}$, $k \in \mathbb{N}$ ne približa rešitvi problema (1)-(3). Seveda je treba začetno točko $\mathbf{a}^{(0)}$ izbrati, vendar je ta izbor lahko precej poljuben.

Problem $P^{(k)}$ dobimo tako, da originalne funkcije f_j, $j = 0,1,...,n$ v (1)-(3) nadomestimo s funkcijami f_j, $j = 0,1,...,n$, ki predstavljajo v splošnem transformirane aproksimacije originalnih funcij v točki $\mathbf{a}^{(k)}$. Na kakšen način je treba izvesti aproksimacijo in na kakšen način transformacijo je podrobno opisano v [5] in [6]. Tukaj navedimo le končno obliko funkcij f_j, $j = 0,1,...,n$:

$$f_j(\mathbf{b}) = D_0^j + \sum_{i=1}^{m} D_i^j \, \phi_i^j(b_i) \,, \tag{4}$$

kjer je

$$b_i = \varphi_i(a_i) \,, \quad i = 1,...,m \,, \tag{5}$$

$$D_i^j = \left[(\partial f_j(\mathbf{a}) / \partial a_i) / (\partial \omega_i^j(a_i) / \partial a_i) \right]_{\mathbf{a}^{(k)}} \,, \quad i = 1,...,m \,, \tag{6}$$

$$D_0^j = f_j(\mathbf{a}^{(k)}) - \sum_{i=1}^{m} D_i^j \, \omega_i^j(a_i^{(k)}) \,, \tag{7}$$

$$\phi_i^j = \omega_i^j \circ \varphi_i^{-1} \,. \tag{8}$$

S primerno izbranimi funkcijami ω_i^j in φ_i je funkcija f_j separabilna, konveksna in vsebuje proste parametre s katerimi lahko reguliramo njeno konzervativnost. To pa so tudi vse potrebne lastnosti za učinkovito uporabo aproksimacijske metode.

3. APROKSIMACIJA S TREMI PARAMETRI

Pristop temelji na predpostavki, da morajo biti vrednosti konstrukcijskih spremenljivk pozitivne, kar velja v večini primerov optimalnega projektiranja. Izbor funkcij je za $i = 1,...,m$ in $j = 0,1,...,n$ naslednji:

$$\omega_i^j(a_i) = a_i^{r\,t} \,, \quad i \in \Gamma_j^+ \,, \tag{9}$$

$$\omega_i^j(a_i) = a_i^{-s\,t} \,, \quad i \in \Gamma_j^- \,, \tag{10}$$

$$\varphi_i(a_i) = (a_i / a_i^{(k)})^t \,, \tag{11}$$

kjer je

$$\Gamma_j^+ = \{ \, i \, ; \left[\partial f_j(\mathbf{a}) / \partial a_i \right]_{\mathbf{a}^{(k)}} > 0 \, \} \,, \tag{12}$$

$$\Gamma_j^- = \{ \, i \, ; \left[\partial f_j(\mathbf{a}) / \partial a_i \right]_{\mathbf{a}^{(k)}} < 0 \, \} \,, \tag{13}$$

$$r > 1, \; s > 1 \,, \quad 0 < t < 1 \,. \tag{14}$$

Sedaj lahko z vstavljanjem (9)-(11) v (8) enostavno izračunamo

$$\phi_i^j(b_i) = (a_i^{(k)})^{r\,t} \, b_i^r \,, \quad i \in \Gamma_j^+ \,, \tag{15}$$

$$\phi_i^j(b_i) = (a_i^{(k)})^{-s\,t} \, b_i^{-s} \,, \quad i \in \Gamma_j^- \,. \tag{16}$$

S tem imamo vse potrebno, da iz (4), (6) in (7) določimo funkcijo f_j:

$$f_j(\mathbf{b}) = D_0^j + \sum_{+} D_i^j b_i^r - \sum_{-} D_i^j b_i^{-t} , \tag{17}$$

kjer pomenita znaka $\sum_{+}$ in $\sum_{-}$ seštevanje po $i \in \Gamma_j^+$ in po $i \in \Gamma_j^-$, ter je

$$D_i^j = \left[\partial f_j(\mathbf{a}) / \partial a_i \right]_{\mathbf{a}^{(k)}} (a_i^{(k)} / r\ t) , \quad i \in \Gamma_j^+ , \tag{18}$$

$$D_i^j = \left[\partial f_j(\mathbf{a}) / \partial a_i \right]_{\mathbf{a}^{(k)}} (a_i^{(k)} / s\ t) , \quad i \in \Gamma_j^- , \tag{19}$$

$$D_0^j = f_j(\mathbf{a}^{(k)}) - \sum_{i=1}^{m} |D_i^j| . \tag{20}$$

Razlogi za izbor funkcij (9)-(11) so podrobneje pojasnjeni v [5] in [6].

Opisano aproksimacijo smo imenovali aproksimacija s tremi parametri, ker lahko program za reševanje problema $P^{(k)}$ avtomatično spreminja parametre r, s in t v smislu zagotavljanja boljših konvergenčnih lastnosti zaporedja $\mathbf{a}^{(k)}$, $k \in \mathbb{N}$. Vpliv parametrov r, s in t na funkcijo f_j je naslednji:

(1) če vrednost kateregakoli parametera naraste, naraste tudi konzervativnost f_j;
(2) parameter t vpliva na vse izraze v (17), medtem ko vplivata r in s posebej na izraze, ki vsebujejo le pozitivne oziroma negativne konstante D_i^j.

Zaradi (1) in (2) je možna [6] avtomatična regulacija konzervativnosti namenske in omejitvenih funkcij, tako da lahko konvergenco v iteracijskem postopku pospešimo, ali pa preprečimo morebitni pojav oscilacij zaporedja $\mathbf{a}^{(k)}$, $k \in \mathbb{N}$.

Reševanje $P^{(k)}$ prevedemo na reševanje sistema nelinearnih enačb, ki sledijo iz Kuhn-Tuckerjevih pogojev za problem $P^{(k)}$. Rešitev tega sistema so Lagrangevi multiplikatorji, iz katerih nato enostavno izračunamo točko $\mathbf{a}^{(k+1)}$. Postopek je v obliki algoritma podrobno opisan v [6].

4. ZGLED

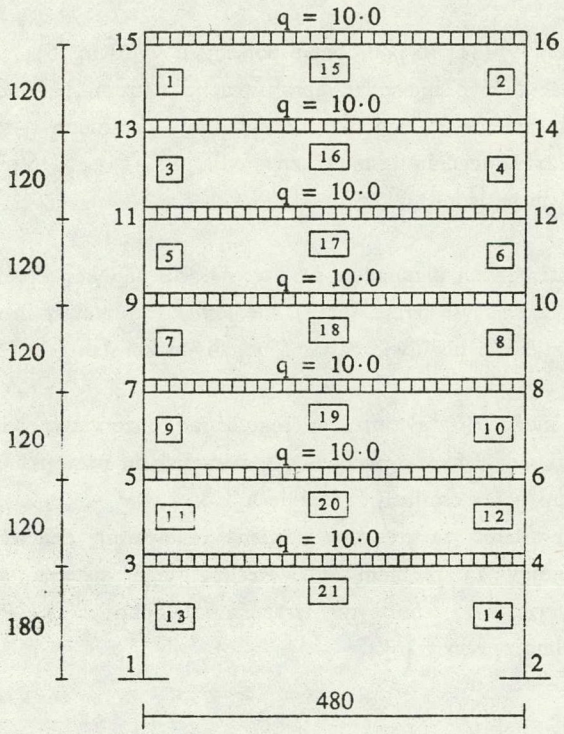
Uporabnost pristopa smo potrdili na rešenem numeričnem zgledu. Zaradi možnosti neposredne primerjave so numerični podatki povzeti po originalu. Za preračun v SI sistem je treba te numerične vrednosti množiti z naslednjimi faktorji: dolžina (2·54E-2 [m]); površina (6·4516E-4 [m^2]); sila (4·448 [N]); obremenitev na enoto dolžine

(1·7512E+2 [N/m]); specifična teža (2·714336E+5 [N/m^3]).

Zgled je povzet po [7]. Konstrukcija je prikazana na sliki 1, od koder so tudi razvidne koordinate vozlišč, topologija, podprtje in obremenitve. Material je linearno elastičen z modulom E = 3·0E+7. Na elemente 15-21 deluje vertikalna obremenitev na enoto dolžine q = 10·0. Vztrajnostni moment elementa izračunamo [7] po enačbi:

$$I_i = \begin{cases} 4 \cdot 6248\ a_i^2\ , & 0 \le a_i \le 44 \cdot 0\ , \\ 256\ a_i - 2300\ , & 44 \cdot 0 \le a_i \le 88 \cdot 2813\ . \end{cases}$$

Treba je določiti velikosti prerezov posameznih elementov tako, da bo teža konstrukcije minimalna, hkrati pa bodo izpolnjeni naslednji pogoji: prva lastna krožna frekvenca konstrukcije mora biti enaka ω = 10·2 rad/s; velikost prereza a_i posameznega elementa mora biti večja od a^{min} = 5·0 in manjša od a^{max} = 50·0.



Slika 1. *Sedemetažni okvir*

Zaradi simetrije se zahteva, da imata vertikalna elementa v isti etaži enaka prereza. To zahtevo lahko enostavno izpolnimo z grupiranjem elementov [4]. Z upoštevanjem grupiranja imamo torej pri tem zgledu 14 konstrukcijskih spremenljivk, ki kontrolirajo

prereze 21 elementov.

Glede omejitev lahko ugotovimo, da imamo 28 stranskih pogojev in en omejitveni pogoj, ki se nanaša na prvo lastno krožno frekvenco konstrukcije. Pogoj za frekvenco ima obliko enačbe, kar pa za uporabo aproksimacijskih metod ni primerno. Zaradi tega ga po znanih postopkih [6] prevedemo na pogoj v obliki neenačbe, ki zahteva, da je prva lastna krožna frekvenca konstrukcije večja ali kvečjemu enaka 10·2 rad/s. V takšni obliki formuliran zgled je obravnavan tudi v [8].

Analizo konstrukcije, ki nam da vse potrebne podatke za uporabo metod matematičnega programiranja, opravimo na osnovi enačb, danih v [9].

Da bi pokazali nujnost regulacije konzervativnosti aproksimacijskih funkcij, smo problem rešili brez in z regulacijo parametrov r, s in t. Kot je razvidno iz tabele 1, zaporedje $a^{(k)}$, $k \in \mathbb{N}$ brez regulacije r, s in t ne konvergira. Z regulacijo je rešitev elegantno dobljena v 19 iteracijah. Parametri r, s in t so enaki 1, razen če je v tabeli 1 označeno drugače.

Tabela 1. *Potek reševanja brez in z regulacijo parametrov r, s in t*

	teža	teža
(k)	(r=s=t=1)	regulacija r,s,t
0	7224	7224
1	13440	13440
2	20236	20236
3	16396	16396
4	15997	15997
5	16055	16055
6	16021	16043 (r=2)
7	15938	16054 (r=2)
8	15836	16016 (r=4)
9	15648	15968 (r=4)
10	15507	15907 (r=4)
11	15515	15791 (r=4)
12	15526	15615 (r=4)
13	15527	15586 (r=4)
14	15536	15534 (r=4)
15	15534	15488 (r=4)
16	15542	15583 (r=4)
17	15539	15587 (r=8)
18	15545	15586 (r=8)
19	15542	15586 (r=8)
20	15548	
21	15544	
22	...	
23	(oscilacije)	

Končni rezultat, ki smo ga dobili z regulacijo parametrov r, s in t je v tabeli 2 primerjan z dosedanjimi rezultati. Vidimo lahko, da je naš rezultat boljši tako v pogledu manjše teže, kakor tudi v pogledu izpolnjevanja omejitvenih pogojev.

Tabela 2. *Primerjava končnih rezultatov*

referenca	[8]	[7]	naše delo
element	a_i	a_i	a_i
1 - 2	7.919	5.076	5.000
3 - 4	7.919	7.874	6.025
5 - 6	8.164	16.170	7.580
7 - 8	9.496	10.259	8.856
9 - 10	10.470	11.314	9.804
11 - 12	11.195	12.140	10.486
13 - 14	17.215	29.106	27.988
15	7.919	5.000	5.000
16	7.919	5.000	6.878
17	10.808	5.000	10.834
18	12.964	17.311	13.000
19	14.805	13.916	14.774
20	15.698	15.329	15.619
21	15.005	5.012	5.000
ω[rad/s]	10.154	10.202	10.200
teža	16882	16103	15586

Za zaključek lahko povzamemo, da je v pogledu zanesljivosti metoda rekurzivnega kvadratičnega programiranja v splošnem še vedno bolj zanesljiva od aproksimacijske metode. Toda slednjo odlikuje mnogo enostavnejša in elegantnejša uporaba, večja računska učinkovitost in razne novosti, kot je regulacija konzervativnosti aproksimacijskih funkcij. Zaradi tega imajo aproksimacijske metode pri optimalnem projektiranju mehanskih sistemov verjetno največ perspektive.

LITERATURA

1. Butinar, B.J. (1990). Analiza obnašanja mehanskega sistema pri spremembah nekaterih parametrov. Doktorska disertacija. TF Maribor. Maribor.
2. Fleury, C. and V. Braibant (1986). Structural optimization: A new dual method using mixed variables. *Int. j. numer. methods eng.*, **23**, 409-428.
3. Cassis, J.H. and L.A. Schmit (1976). Optimum structural design with dynamic constraints. *Journal of the structural division*, **102**, No. ST10, 2053-2071.
4. Kegl, M.S. (1990). Optimiranje mehanskih sistemov z metodo kriterija optimalnosti. Magistrsko delo. TF Maribor, Maribor.
5. Kegl, M.S. (1991). Optimalno projektiranje konstrukcij na osnovi nelinearnega modela. Doktorska disertacija. TF Maribor, Mariribor.
6. Kegl, M.S., B.J. Butinar and M.M. Oblak (1991). Optimization of mechanical systems: On strategy of nonlinear first-order approximation. *Int. j. numer. methods eng.*, **32**.
7. Sadek, E.A. (1989). An optimality criterion method for dynamic optimization of structures. *Int. j. numer. methods eng.*, **28**, 579-592.
8. Khan, M.R.and K.D. Willmert (1981). An efficient optimality criterion method for natural frequency constrained structures. *Computers and Structures*, **14**, 501-507.
9. Oblak, M. M., M. Raya, M. S. Kegl (1990). Optimiranje ravninskih okvirjev pri predpisani frekvenci. 5. seminar Računalnik v gradbenem inženirstvu, str. 198-203. Ljubljana.

Janez Reflak

doc. dr.,FAGG, IKPIR, Jamova 2 , Ljubljana

VPLIV MONTAŽNIH PARAPETOV NA STATIČNO IN DINAMIČNO OBNAŠANJE ARMIRANOBETONSKIH OKVIROV PRI HORIZONTALNI OBTEŽBI

Povzetek

Večji del okvirnih armiranobetonskih konstrukcij, kot so večetažne stavbe ali nizki industrijski objekti, je zapolnjenih z zidanimi polnili ali montažnimi elementi. Opazovanje konstrukcij po potresih, eksperimenti in natančnejše analize kažejo, da polnilni elementi bistveno vplivajo na obnašanje teh konstrukcij. Bistveni vpliv na razporeditev in velikost statičnih in dinamičnih veličin v okviru ima tudi višina polnila (parapeta) ter način izvedbe parapeta.

V prispevku bomo prikazali praktični izračun armiranobetonskih okvirov z montažnimi parapeti različnih višin. Parapeti so točkovno priključeni na okvir v štirih vogalnih točkah. Prikazana je razlika med obnašanjem polnega okvira in okvira s parapeti.

Pri izračunu smo uporabili metodo podkonstrukcij, celoten računski postopek je narejen v linearnem področju s pomočjo programa SAP-84.

INFLUENCE OF PREFABRICATED PARAPETS ON STATIC AND DYNAMIC BEHAVIOUR OF REINFORCED FRAMES AT HORIZONTAL LOADING

Summary

The majority of reinforced frames, i. e. multi-story structures or industrial halls are filled with infills or prefabricated elements. The observations of structures after earthquakes, the experiments and more precise analyses show that infilled elements have essential influence on the behaviour of these structures. The heights of parapets and the way of the execution of parapets have the most important influence on the arrangement and size of the static and dynamic quantities of frames.

The paper deals with the practical calculation of reinforced frames filled with prefabricated parapets of various heights. The parapets are connected to the frame at four joints. There are shown the basic differences in behaviour of infilled frames with parapets and simple bar frames. The method of substructures was used in the calculation. The complete procedure and calculation were made in a linear range using the program SAP-84.

1.0 UVOD

V mnogih potresnih področjih so armiranobetonski okviri pogosto zapolnjeni z različnimi polnili. Montažni parapeti so polnila, ki se stikajo z okvirom le v posameznih točkah in običajno ne zapolnjujejo celotne višine polja. V večini primerov pri analizi in projektiranju teh okvirov zgradb ti parapeti niso upoštevani v statičnem in dinamičnem računu. Izkušnje, dobljene med najnovejšimi

potresi, so jasno pokazale, da takšni parapeti bistveno spremenijo odziv konstrukcije in vplivajo na razporeditev notranjih statičnih količin v okvirih. Za potresno varno projektiranje je nujno potrebno poznati obnašanje okvirov z montažnimi parapeti in imeti na razpolago ustrezno računsko metodo, ki lahko zajame vpliv montažnih parapetov na obnašanje konstrukcije.

Parapeti povečajo togost konstrukcije in s tem spremenijo dinamične lastnosti konstrukcije, spremeni se potresna obtežba in porazdelitev horizontalne obtežbe na posamezne elemente konstrukcijskega sistema. Sorazmerno z višanjem togosti posameznega elementa se poveča delež obtežbe, ki jo element v sestavljeni konstrukciji prevzame.

Parapeti, ki niso porazdeljeni po celotni višini stavbe, lahko povzročijo t. i. "mehke etaže", parapeti, ki niso simetrično porazdeljeni po tlorisu, povzročajo torzijske rotacije in neugodne prerazporeditve obremenitve, visoki parapeti lahko povzročijo strižni lom stebrov, povzročajo pa lahko tudi lokalne poškodbe v okvirnih elementih na mestih stikovanja okvir-parapet zaradi interakcije med okvirom in parapetom.

2.0 METODA PODKONSTRUKCIJ ZA RAČUN OKVIROV S PARAPETI

Za računsko simulacijo celotnega področja obnašanja okvirov s parapeti pri statični in dinamični obtežbi je očitno potrebna nelinearna analiza.

V praksi se uporabljajo metode, ki temeljijo na teoriji elastičnosti. Doslej sta se uporabljala za elastično analizo predvsem dva modela: zelo enostaven model z nadomestno diagonalo in precej zahteven model, ki razdeli parapet na veliko število končnih elementov. Izkušnje kažejo, da modeliranje parapetov z diagonalo ni primerno in nam ne daje realnih rezultatov. Z drugim načinom modeliranja, s končnimi elementi, sicer lahko simuliramo poljubne parapete in precej zanesljivo izračunamo vse statične količine, problem, ki se pri tem pojavi, zlasti pri večjih konstrukcijah, pa je velikost modela. Analiza računskega modela z več tisoč prostostnimi stopnjami je računsko zahtevna in nepregledna.

Model s podkonstrukcijami pa kombinira zanesljivost rezultatov in računsko učinkovitost. Temelji na metodi končnih elementov, vendar uporablja pri računu metodo podkonstrukcij.

V predloženem članku bomo s pomočjo metode podkonstrukcij pokazali analizo okvirov z montažnimi parapeti, ki so členkasto priključeni na okvir v 4 vogalnih točkah. Za analizo bomo uporabili program SAP-84, ki omogoča uporabo podkonstrukcij.

3.0 RAČUNSKI MODEL

Pri uporabi metode podkonstrukcij uporabljamo za konstrukcijo računski model, ki je sestavljen iz linijskih elementov za okvire in iz ravninskih elementov za parapete. Za parapete je možno uporabljati katerikoli element, ki se uporablja za račun stenastih konstrukcij.

Okvir s parapeti razdelimo v posamezne podkonstrukcije ter si za posamezne podkonstrukcije izberemo ustrezne končne elemente.

Prvi korak pri pripravi računskega modela je odločitev, da razdelimo okvir s parapeti na manjše

sestavne dele in to običajno na okvir in parapete. Pri tem vzamemo, da je okvir osnovna konstrukcija, ki je prav tako podkonstrukcija, parapeti pa so ostale podkonstrukcije.

Računski model za vsako podkonstrukcijo je neodvisen glede na ostale podkonstrukcije, ki sestavljajo celotno konstrukcijo. Podkonstrukcije (parapeti) so z osnovno konstrukcijo (okvirom) povezane preko stičnih vozlišč, ki jih pri podajanju podatkov o podkonstrukciji posebej definiramo.

Konkretno računanje konstrukcij s podkonstrukcijami nam omogoča v elastičnem področju program SAP-84, ki je izpopolnjena verzija programa SAP IV. Sam program SAP-84 smo v okviru IKPIR-a s sodelovanjem Pekinške univerze in samega avtorja v zadnjih letih temeljito študirali in ga razvijali.

4.0 PRIPRAVA PODATKOV

Za vsako podkonstrukcijo je treba pripraviti datoteko o geometriji, lastnostih materiala, o podporah, obtežbi, itd. Priprava teh podatkov je načeloma za vse podkonstrukcije podobna in je odvisna predvsem od izbire končnega elementa, ki ga uporabimo za posamezno podkonstrukcijo. Posebej je potrebno dodati podatke o vozliščih, preko katerih se podkonstrukcije-parapeti stikajo z ostalo osnovno konstrukcijo.

Običajno so vsi parapeti v nekem okviru konstrukcije enaki, ali pa je več enakih, torej nam ni potrebno za vsak parapet posebej pripravljati podatkov, ampak je ena datoteka uporabna za vse parapete-podkonstrukcije, ki so enake, so pa na različnih mestih v okviru. V primeru enakih podkonstrukcij uporabljamo pri pripravi podatkov samo eno datoteko in jim šele pri samem računanju dodamo podaljšana imena.

Postopek računa za vsak parapet-podkonstrukcijo in osnovno konstrukcijo je enak in je podoben kot pri navadni statični analizi enostavne samostojne konstrukcije. Razlika je v tem, da namesto statičnih pomikov v zadnjem koraku izračunamo kondenzirane matrike podkonstrukcij in nato s pomočjo posebnega programskega segmenta "SUBS" povežemo podkonstrukcije-parapete in sestavimo matriko celotne konstrukcije.

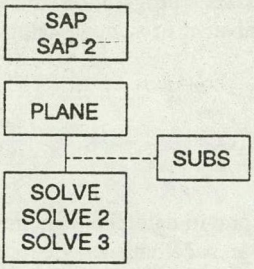
Za vsako podkonstrukcijo-parapet, ki je definiran razen s stičnimi vozlišči tudi s končnimi elementi, moramo izračunati togostno matriko teh elementov. Po tem izračunu in po izračunu kondenziranih matrik vseh podkonstrukcij sestavimo podkonstrukcije in nato matriko celotne konstrukcije ter končno izračunamo pomike stičnih vozlišč. Na osnovi tega lahko izračunamo vse statične veličine za vse elemente v osnovni konstrukciji - okviru. Po izračunu pomikov definiranih vozlišč v osnovni konstrukciji lahko ponovno za vsako podkonstrukcijo izračunamo vse pomike ter po potrebi notranje statične veličine v podkonstrukciji-parapetu. Za izračun vsake podkonstrukcije uporabljamo poseben programski segment, kjer podamo informacije o stikovanju podkonstrukcije-parapeta z osnovno konstrukcijo. S pomočjo segmenta "RECOVER" pokličemo tiste datoteke, ki jih potrebujemo za izračun konkretne konstrukcije.

Shema postopka računa okvirov s parapeti

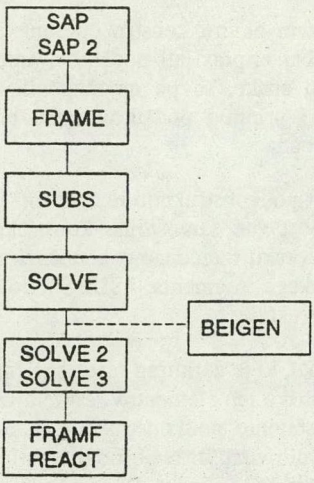
Za račun uporabljamo metodo podkonstrukcij in posamezne segmente programa SAP-84.

Shema za vsako podkonstrukcijo - parapet

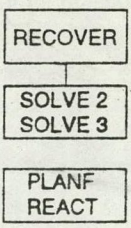
Priprava podatkov in izračun togostne matrike



Shema za vsako osnovno konstrukcijo - okvir

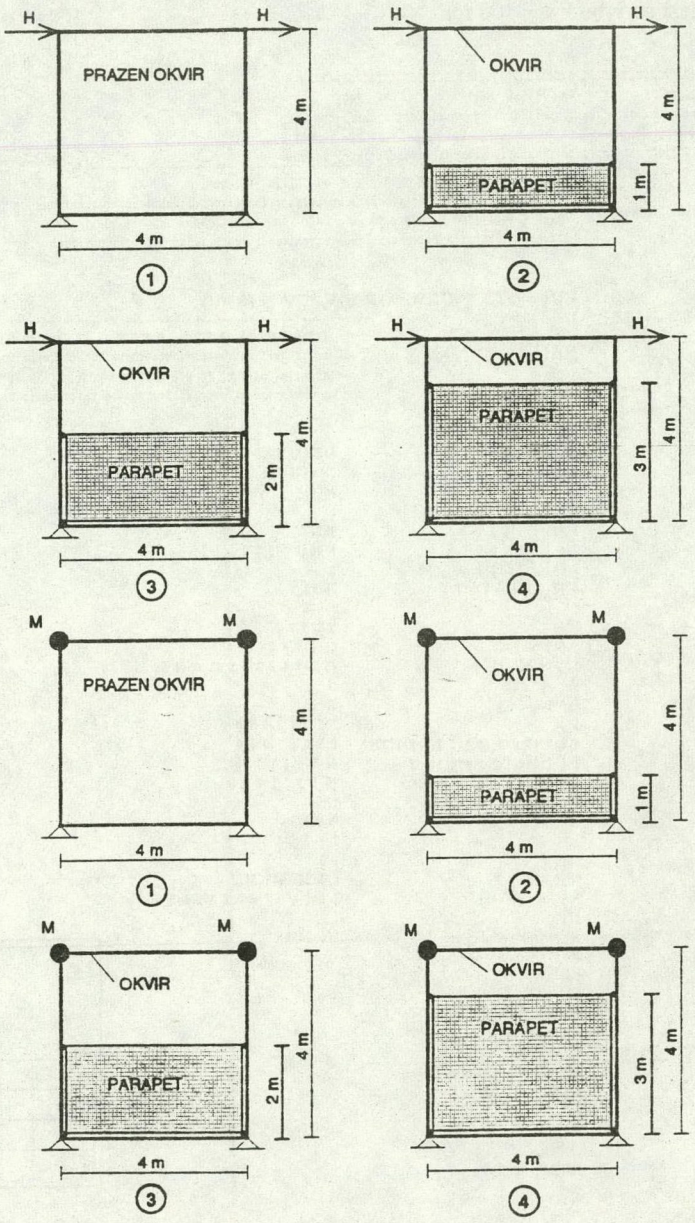


Shema za izračun statičnih količin v podkonstrukciji - parapetu



5.0 RAČUNSKI PRIMERI

Podatki in priprava podatkov



Slika 1. Okviri s parapeti različnih višin

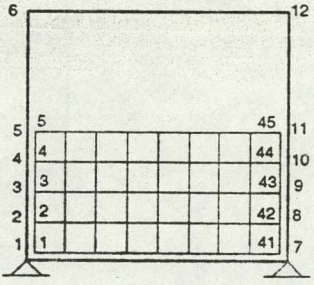
Podatki: **Armiranobetonski okvir**
stebri, prečke 0.40 m/0.40 m
$E = 3.2 \times 10^7$ kN/m2
$G = 1.37 \times 10^7$ kN/m^2
Horizontalni sili na vrhu H = 50 kN
Masi na vrhu M = 100 ton

Parapeti
dimenzije 4 x 1 m, 4 x 2 m, 4 x 3 m
d = 0.20 m
$E = 3.2 \times 10^7$ kN/m^2
$G = 1.37 \times 10^7$ kN/m^2

```
IKPIR FAGG * PROGRAM S A P 8 4 ** reflak- prazen ** PAGE 1
Prazen bet. okvir - * INPUT DATA * 28- 1-1992
SYSTEM: prazen - BETONSKI OKVIR
12 1
:
JOINT
1 C=0
5 C=0 0 2 G=1 5 1
6 C=0 0 4
7 C=0 4 0
11 C=0 4 2 G=7 11 1
12 C=0 4 4
:
RESTR
1 R=1 1 1 0 1 1
2 6 1 R=1 0 0 0 1 1
7 R=1 1 1 0 1 1
8 12 1 R=1 0 0 0 1 1
:
LOAD
6 F=0 50 L=1
12 F=0 50 L=1
:
FRAME
1
1 B=0.40 D=0.40 E=3.2E7 G=1.37E7
1 1 2 G=4 1 1 1 M=1 P=1 7
6 7 8 G=4 1 1 1
11 1 7 P=1 2
12 6 12
:
SPRINGS
6 M=0 100
12 M=0 100
:
EIGEN
V=2
:
:
END DATA
```

```
IKPIR FAGG * PROGRAM S A P 8 4 ** REFLAK-POLO20 ** PAGE 1
OKVIR S PARAPETOM do H/2 d=20 cm * INPUT DATA * 29- 1-1992
SYSTEM: POLO20 - BETONSKI OKVIR S PARAPETOM DO POLOVICE
12 1
:
JOINT
1 C=0
5 C=0 0 2 G=1 5 1
6 C=0 0 4
7 C=0 4 0
11 C=0 4 2 G=7 11 1
12 C=0 4 4
:
RESTR
1 R=1 1 1 0 1 1
2 6 1 R=1 0 0 0 1 1
7 R=1 1 1 0 1 1
8 12 1 R=1 0 0 0 1 1
:
LOAD
6 F=0 50 L=1
12 F=0 50 L=1
:
FRAME
1
1 B=0.40 D=0.40 E=3.2E7 G=1.37E7
1 1 2 G=4 1 1 1 M=1 P=1 7
6 7 8 G=4 1 1 1
11 1 7 P=1 2
12 6 12
:
SUBS
PO20.PO2
5 5
1 1
41 7
45 11
:
:
SPRINGS
6 M=0 100
12 M=0 100
:
EIGEN
V=2
:
:
END DATA
```

```
IKPIR FAGG * PROGRAM S A P 8 4 ** reflak-po20 ** PAGE 1
montažni parapet do H/2 d=20 cm * INPUT DATA * 29- 1-1992
SYSTEM: PO20- PARAPET 0.2 M - DO POLOVICE
C MREŽA 5X4 ELEMENTOV- PARAPET DO POLOVICE
45
:
RESTR
1 45 1 R=1 0 0 1 1 1
:
JOINT
1 C=0
5 C=0 0 2
41 C=0 4 0
45 C=0 4 2 G=1 5 41 45 1 5
:
SUPER
1 S=0 1 1 0 0 0
5 S=0 1 1 0 0 0
41 S=0 1 1 0 0 0
45 S=0 1 1 0 0 0
:
PLANE
1 1 2 S=4
1 1
E=3.2E7 G=1.37E7
1 Q=1 6 2 7 M=0.2 M=1 G=8 4 A=1
:
END DATA
```



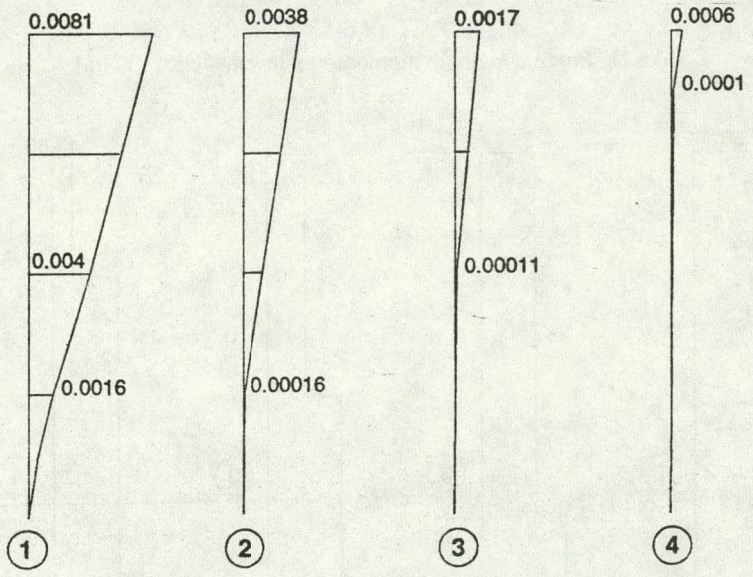
Primeri priprave datotek podatkov za:
prazen okvir, okvir s parapetom, parapet do višine H/2, d = 20 cm

6.0 REZULTATI

Po pripravi datotek z ukazom SAP poženenmo program in najprej s podatki za parapet izračunamo po vrstnem redu kot kaže shema togostno matriko parapeta, nato ponovno poženemo SAP in s podatki za okvir s parapetom izračunamo po vrtsnem redu sheme vse pomike, notranje statične veličine in reakcije za okvir s parapetom. Če pa želimo še izračunati lastne frekvence in nihajne čase okvira s parapetom dodamo še ukaz BEIGEN. Če pa želimo izračunati pomike in napetosti v samem parapetu, s pomočjo programskega segmenta RECOVER po vrstnem redu sheme za izračun statičnih veličin v podkonstrukciji pokličem vse potrebne datoteke za nadaljni izračun.

Izračun praznega okvira je enak kot kaže shema za vsako osnovno konstrukcijo, s tem da preskoči segment SUBS.

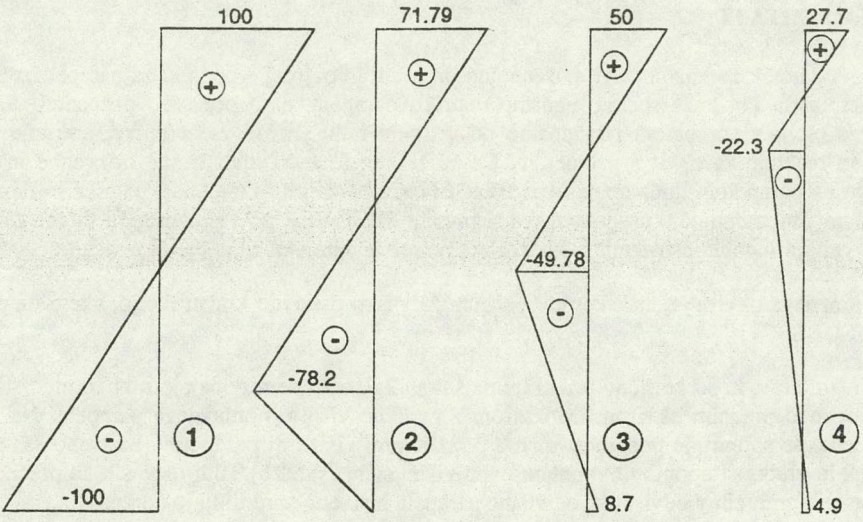
Analiza rezultatov, ki so grafično prikazani na slikah 2a do 2d nam podajajo razliko med statičnimi veličinami med praznim okvirom in okvirom z različno višino montažnega parapeta. Na sliki 2a vidimo, kako se spreminja podajnost okvira z različnimi višinami parapetov. Bistveno se spremeni tudi potek in vrednost upogibnih momentov po višini stebra (sl. 2b).Tudi osne sile in prečne sile se v posameznih prerezih v odvisnosti od višine parapeta bistveno spreminjajo (sl.2c,2d).



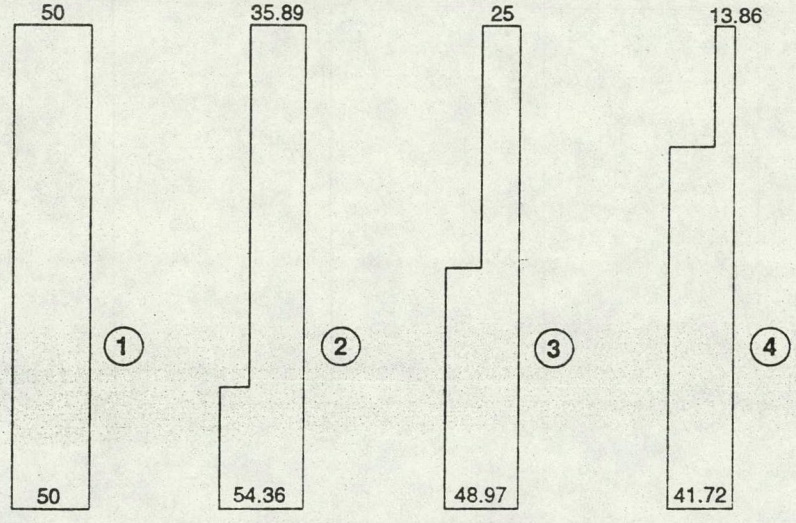
Slika 2a. Horizontalni pomiki levega stebra [m]

Okvir s parapetom bistveno spremeni svoje dinamične karakteristike. Iz spodnje tabele je razvidna sprememba nihajnih časov okvira s parapeti v primerjavi s praznim okvirom.

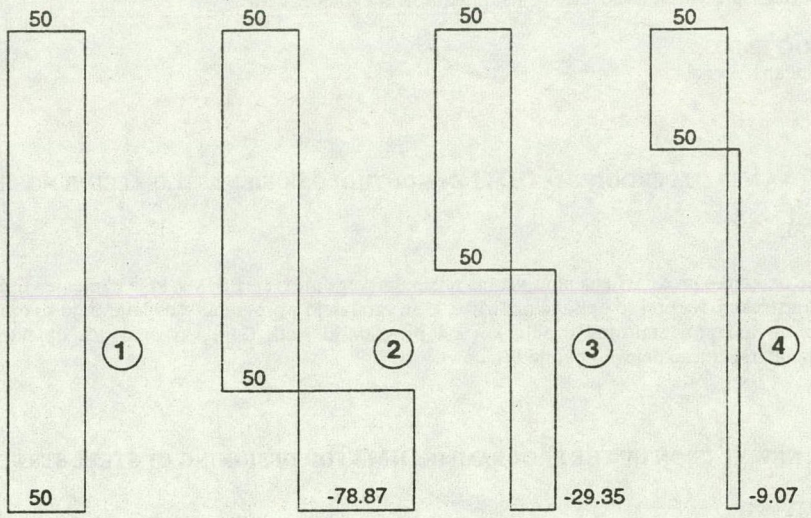
(1) T = 0.798 (2) T = 0.555 (3) T = 0.365 (4) T = 0.200 [s]



Slika 2b. Potek upogibnih momentov v levem stebru [kNm]



Slika 2c. Potek osnih sil v levem stebru [kN]



Slika 2d. Potek prečnih sil v levem stebru [kN]

7.0 ZAKLJUČEK

Na osnovi eksperimentov, izkušenj in računskih rezultatov ugotavljamo, da je pri okvirih z montažnimi parapeti nujno upoštevati vpliv parapetov. Ta vpliv je pri večetažnih in večpoljnih okvirih lahko zelo velik in ga v praktičnem statičnem in dinamičnem računu nebi smeli zanemariti. Pri praktični analizi je metoda podkonstrukcij in uporaba programa SAP-84 zelo učinkovita in relativno enostavna. Program SAP-84 nam omogoča tako statično kot dinamično analizo praznih okvirov in okvirov z različnimi parapeti. Istočasno nam omogoča tudi detaljno analizo napetosti v samem parapetu in v stičnih točkah.

8.0 LITERATURA

1. J. Reflak, Vpliv polnil na linearno statično in dinamično obnašanje okvirov, Doktorska disertacija, FAGG, Ljubljana 1990
2. J. Reflak, Vpliv polnil na statično in dinamično obnašanje večetažnih okvirov, Zbornik referatov 12. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 1990
3. J. Reflak, Račun okvirov s polnili v linearnem območju, Zbornik 5.kongresa Zveze društev za sizmično gradbeništvo Jugoslavije, Bled, april, 1990
4. J. Reflak, P. Fajfar, Elastic Analysis of Infilled Frames Using Substructures, Referat za 6 CCEE, Sixt Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, 1991,Zbornik str. 285-292
5. J. Reflak, Statično in dinamično obnašanje okvirov s polnili pri horizontalni obtežbi, IX.kongres SDGKJ, Cavtat,1991, Zbornik T2 str. 117-123
6. J.Reflak,V.Marolt, J.Duhovnik, Upoštevanje nosilnosti predelnih sten in drugih navpičnih elementov v programu MONCAD, Poročilo IKPIR št.14/90, FAGG, Ljubljana,73 strani
7. M.Yuan, I.Peruš, SAP-84, Uporabniški priročnik, Verzija2.50, Publikacija IKPIR št.30, FAGG, Ljubljana 1988

doc. dr. D. Beg, prof. dr. J. Banovec, A. Krajnc, absolvent gradbeništva

FAGG OGG KMKG,
61000 Ljubljana
Jamova 2

NOVA VERZIJA PROGRAMA DIMJ ZA KONTROLO NOSILNOSTI JEKLENIH NOSILCEV

POVZETEK

V članku je na kratko predstavljena nova verzija računalniškega programa DIMJ, ki je namenjen dimenzioniranju jeklenih konstrukcij. Najprej so opisane razširitve, ki se vgrajujejo v program. V nadaljevanju so opisane izkušnje pri delu z novimi programirnimi orodji, kot sta programski jezik C++, ki omogoča objektno usmerjeno programiranje in grafično delovno okolje Windows.

THE NEW VERSION OF THE PROGRAMME DIMJ FOR DESIGNING OF STEEL STRUCTURES

SUMMARY

The article describes the new version of the programme DIMJ designed for the dimensioning of steel structures. First there comes the description of extensions which are being built into the programme. Further on follows the description of our experience with new programming tools, such as programming language C++ which enables object-oriented programming and graphical environment Windows.

1 UVOD

Leta 1988 je bil na Katedri za metalne konstrukcije in gradiva na FAGG OGG razvit računalniški program DIMJ, ki je bil namenjen kontroli nosilnosti jeklenih konstrukcij. Postopek dimenzioniranja je temeljil na jugoslovanskih standardih za stabilnost jeklenih konstrukcij. V lanskem letu smo se odločili za izdelavo dopolnjene verzije programa. Ob v Sloveniji trenutno še veljavnih jugoslovanskih standardih [1], smo želeli vključiti tudi evropske predpise EUROCODE 3 [2]. Razen tega smo hoteli program razširiti tako, da bo:

- pri dimenzioniranju vključen postopek optimiranja oblike prečnih prerezov,
- povezan z računalniškim programom NONFRAN (nelinearna analiza linijskih konstrukcij [3]), kar bo omogočilo avtomatično dimenzioniranje konstrukcij in povezalo najpomembnejši fazi projektiranja - račun notranjih sil in pomikov ter dimenzioniranje,
- podpiral bazo podatkov, ki bo obsegala podatke o standardnih valjanih jeklenih profilih,
- za uporabnika čimbolj prijazen.

Po temeljitem premisleku smo ugotovili, da je bolje napisati povsem nov program, kot pa dopolnjevati starega. Razloga za to sta vsaj dva: predvidene dopolnitve so zelo obsežne, razen tega pa nova programska orodja omogočajo izdelavo uporabniško prijaznih programov.

Pri izbiri programskih orodij smo omahovali med uporabo ekspertnih sistemov in programskega jezika C++ v okolju Windows. Odločili smo se za prednosti objektno usmerjenega programiranja v jeziku C++ in prijaznosti programov, ki jo omogoča okolje Windows. Dodatni argument je svetovni trend uporabe okolja Windows pri izdelavi uporabniških programov.

V članku bodo opisane naše izkušnje pri uporabi omenjenih orodij, še prej pa v drugem poglavju na kratko podana vsebinska zasnova programa DIMJ.

Omeniti velja še to, da je trenutno nova verzija programa izdelana približno do obsega stare verzije. Seveda pa je zasnova sedaj mnogo širša, kar bo omogočilo predvideno nadgradnjo.

2 VSEBINSKA ZASNOVA PROGRAMA DIMJ

V standardih, predpisih in ostalih tehničnih normah, ki obravnavajo dimenzioniranje jeklenih konstrukcij povsod po svetu, so opisane metode dimenzioniranja le za najenostavnejše primere, še posebej kadar imamo v mislih tudi kontrolo stabilnosti. Ta trditev se v veliki meri nanaša tudi na jugoslovanske standarde za stabilnost jeklenih konstrukcij. Tam so npr. obravnavane le izolirane palice z dvojnosimetričnim, kompaktnim konstantnim prerezom in obremenjene le s konstantno osno silo. Glede računanja sistemov so dana zelo nejasna navodila.

Glede vsebinske zasnove kvalitetnega programa za dimenzioniranje konstrukcij je zato največ dela potrebno vložiti v pripravo postopkov dimenzioniranja, ki bodo vključevali v glavnem vse primere, ki se pojavljajo v praksi. Sami smo večino tega dela opravili v okviru prve verzije programa DIMJ, kar je podrobno opisano v [4]. Pristop, ki smo ga pri tem uporabili je splošen in se z njim da nadgraditi vsak sodobni predpis s področja dimenzioniranja jeklenih konstrukcij.

Jedro programa tvori modul, ki pri znanih notranjih statičnih silah in znani geometriji opravi vse potrebne kontrole nosilnosti in stabilnosti jeklenega linijskega elementa (ne gre le za dimenzioniranje prečnega prereza):

- kontrola kompaktnosti prečnih prerezov,
- kontrola nosilnosti prečnih prerezov, ki pri vitkih prerezih obsega tudi kontrolo lokalne stabilnosti,
- kontrola stabilnosti linijskega elementa s posplošenimi interakcijskimi enačbami (uklon, bočna zvrnitev).

Nosilnost lahko kontroliramo tudi elementom z nekonstantnim prečnim prerezom in nekonstantno osno silo, z vitkim prerezom in z notranjimi silami, ki so izračunane po teoriji prvega ali drugega reda ob upoštevanju nadomestnih začetnih geometrijskih nepopolnosti (predvsem pri nepomičnih okvirjih).

Na ta osnovni modul se bo vezal algoritem za optimalno dimenzioniranje prečnih prerezov, kjer bo posebno pozornost potrebno posvetiti določanju začetnih oblik prerezov in kriteriju za dosego optimuma. V končni fazi bo program DIMJ povezan s programom NONFRAN, kar bo omogočilo analizo notranjih sil in avtomatično dimenzioniranje konstrukcije v enem samem koraku. Za uporabnika bo poganjanje programa NONFRAN podobno kot do sedaj, z minimalnim povečanjem števila podatkov (npr. ali je določen prerez varjen ali valjan ...), končni rezultat pa bodo končne dimenzije prečnih prerezov.

3 OBJEKTNO USMERJENO PROGRAMIRANJE (OUP)

Ob tako obširno zastavljeni nalogi je jasno, da so za obvladovanje le-te potrebni: primerno delovno okolje, močna, moderna orodja in sodoben prevajalnik.

Za delovno okolje je bil izbran Microsoftov izdelek WINDOWS 3.0. To okolje je v svetu kakor tudi pri nas že močno razširjeno. Njegove značilnosti so grafična osnova, interaktivno delo, večopravilnost in močna podpora periferne opreme. Programi pisani zanj imajo zelo podobne uporabniške vmesnike in če obvladamo enega izmed njih, se bomo dobro znašli v vsakem drugem.

Če želimo pisati program za to okolje, moramo imeti prevajalnik, ki to zmore. Tak prevajalnik je Borlandov prevajalnik za jezik C++. C++ je objektno usmerjen jezik in je zaradi objektnosti zelo primeren za pisanje programov večjih razsežnosti. Poleg tega, se je pred kratkim na trgu pojavila nadgradnja Bolrandovega prevajalnika (ObjectWindows) namenjena posebej za pisanje Windows programov. Ta prinaša že sprogramiran paket mnogih objektov, ki nam močno skrajšajo delo predvsem na uporabniškem vmesniku, kot se je to tudi pokazalo pri programu DIMJ.

OUP je način programiranja, ki poskuša posnemati predmete in relacije med njimi, kot so v realnem svetu. Skoraj vsak samostalnik v človeškem jeziku predstavlja objekt (predmet ali pojem), ki ima neke značilne atribute in/ali vedenjske lastnosti. OUP poskuša slediti tej značilnosti in rezultat tega so tri lastnosti, ki OUP posebej opredeljujejo:

- kombinacija podatkovnih struktur s funkcijami (ang. Encapsulation), ki so posvečene manipulaciji teh podatkovih struktur. V OUP se taki kombinaciji podatkov in njim pripadajočim funkcijam reče razred (ang. class).
- dedovanje (ang. Inheritance) zgradi nov, izpeljan razred iz enega ali več predhodno definiranih razredov in od njih podeduje vse podatkovne strukture in funkcije nad njimi, sam pa doda nove podatkovne strukture in funkcije, lahko pa katere od podedovanih tudi spremeni.
- mnogoličnost (ang. Polymorphism) omogoča, da se lahko v različnih razredih uporabljajo enaka imena funkcij.

3.1 Objektno usmerjeno programiranje z jezikom C++

C++ je programski jezik, ki vsebuje vse značilnosti objektno usmerjenega programiranja. Sintaksa jezika je taka kot pri tradicionalnih proceduralnih jezikih (C, FORTRAN), oziroma je skoraj popolnoma enaka kot pri jeziku C.

Kombinacija podatkovnih struktur in funkcij

Recimo, da imamo podatkovno strukturo za točko; nekaj kamor bomo spravili x koordinato, y koordinato in npr. barvo točke. Sedaj pa bi želeli napisati funkcije, ki bi to točko prikazovale na zaslon, jo premikale, vrtele okoli izhodišča koordinatnega sistema, ...

Običajno bi za to v C-ju ali FORTRAN-u podatkovno strukturo in funkcije, ki opravljajo operacije nad njo, zapisali v posebno datoteko - v enoten modul, ki se prevaja posebej. Čeprav je to korak v pravo smer, to še ni dovolj, saj ni eksplicitne zveze med funkcijami in podatki. Taki rešitvi nič ne preprečuje, da ne bi (slučajno ali namerno) nekdo uporabljal podatkov iz podatkovne strukture direktno, mimo funkcij, ki smo jih za to razvili.

V C++ je to rešeno tako, da se v podatkovno strukturo vpišejo tudi klici funkcij, ki imajo pravico dosegati podatke zapisane v njej. Podatkovna struktura je za vse druge funkcije praviloma nedostopna.

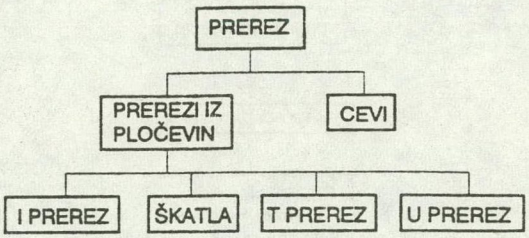
To prinaša veliko prednosti, predvsem pa popolno neodvisnost uporabnika objekta od podatkovne strukture zapisane v objektu, seveda ob pogoju, da je podatkovna struktura nedostopna. Če je to res, lahko podatkovno strukturo popolnoma spremenimo in ustrezno temu spremenimo samo funkcije znotraj objekta, objekt pa bo na zunaj popolnoma enak - uporabniki tega objekta te spremembe ne bodo čutili.

Imamo npr. podatkovno strukturo za točko (x,y) in funkcije, ki imajo dostop do x in y koordinate - vrniX() in vrniY(), vse skupaj združeno v razredu Točka. Recimo, da so koordinate x, y razreda Točka v programu uporabljene na več kot 100 različnih mestih. Kasneje pa ugotovimo, da bi glede na naš problem bilo bolj smiselno koordinate v razredu Točka spremeniti v polarni zapis (r,fi). Če bi dostopali do podatkovne strukture direktno, bi morali na vseh 100 mestih popravljati program, če pa dostopamo do podatkov preko funkcij razreda Točka - vrniX() in vrniY(), pa popravimo samo ti dve funkciji, vse ostalo pa ostane nespremenjeno.

Ta zelo kratko in nepopolno opisana lastnost je morda najpomembnejša od vseh treh, saj postavi povsem nove temelje za analizo problema, ki ga rešujemo. Pri klasičnem programiranju se je dalo ves potek programa predstaviti kot diagram poteka (float chart) - pretok podatkov preko raznih funkcij. V OUP pa to ni več mogoče, saj so podatki razreda dostopni le razredu samem. Za komunikacijo z ostalimi razredi, se uporabljajo funkcije - operacije nad podatki v razredu - kot nekakšna sporočila. Te operacije namreč na zunaj popolnoma opišejo razred. Tako so v OUP pomembne operacije nad podatki v razredih in nikakor ne podatki spravljeni v razredih (kar je v začetku mnogokrat napačno mnenje).

Dedovanje

Iz enega razreda lahko izvedemo nov razred tako, da mu dodamo tiste lastnosti, ki so prvemu manjkale, da bi bil uporaben za nek drug namen. Lahko pa razmišljamo tudi nasprotno. Če imamo več na videz različnih razredov, lahko njih skupne lastnosti združimo v skupnem (abstraktnem) razredu, v osnovnih razredih pa ostanejo samo razlike. Primer enega drevesa razredov iz programa DIMJ, ki se tičejo oblike prereza, je prikazan na sliki 1.



(slika 1)

V razredu Prerez so skupne lastnosti, ki jih imajo vsi prerezi npr. podatkovna struktura za geometrijske karakteristike, v izvedenih razredih pa tisto, kar ni skupno, npr. funkcije za izračun geometrijskih karakteristik.

Mnogoličnost

Iz razreda Prerez smo izvedli več različnih razredov. Vsak od njih mora znati izračunati npr. maksimalno normalno napetost zaradi neke obremenitve - vsi imajo na zunaj enako nalogo. Mnogoličnost omogoča, da v vsakem od teh razredov definiramo funkcijo (nalogo) z enakim imenom - npr. racunSigMax(). Tako dobimo več funkcij, ki imajo popolnoma enako ime, vendar se jih enolično loči po razredih katerim pripadajo in prevajalnik sam pravilno pokliče funkcijo racunSigMax() za cevni prerez, I-prerez, ...

3.2 OUP pri praktični uporabi

Kot je že omenjeno, OUP zahteva povsem nov pristop k analizi problema in razvoju programa. Pri tem pa je treba povsem zavreči star način razmišlanja, kar pa je na začetku precej težko. Zato so prvi objekti, ki se jih napiše, še najbolj podobni klasičnim funkcijam, na silo strpanim v razrede. S časom, ko se človek znebi starih navad, pa se vpraša, kako je nekoč sploh lahko pisal neobjektne programe.

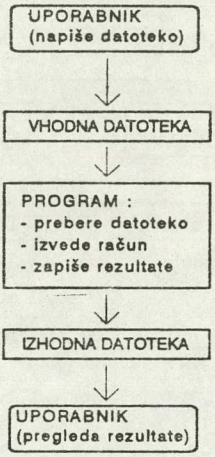
Koristi, ki jih prinaša OUP, rastejo sorazmerno z velikostjo problema, ki se ga obdeluje. Večji kot je projekt (problem), bolj nujno je, da je zastavljen objektno, medtem ko je za kratke programe, nekaj sto vrstic, vseeno ali jih obravnavamo objektno ali ne. Pri OUP pridobimo predvsem pri preglednosti programa. Poveča se že zato, ker se v nekem razredu poleg podatkov morajo navesti tudi operacije (funkcije), ki se izvajajo nad podatki v razredu (operacije pa se nato zakodirajo izven sklopa razreda) in na ta način avtomatsko dobimo neko minimalno dokumentacijo razreda.

Če pri projektu sodeluje več programerjev, izkaže OUP prednost ravno v opisih operacij razredov. Operacije nekega razreda natančno določajo kaj nek razred zmore, nič pa ne povedo kako to zmore. Če se v projektu drži tega, da vso komuniciranje poteka preko operacij med razredi in ne preko podatkov, je popolnoma varno spremeniti organizacijo podatkov v nekem razredu (kar se pogosto dogaja), pomembno je le, da so klici operacij nespremenjeni.

Slaba stran OUP je, da traja odvajanje od starega načina razmišljnja precej dolgo. Prav tako je jezik C++ sorazmerno zahteven in poln, na začetku težko razumljivih pasti in pravil, kar mnoge odvrne od uporabe tega jezika.

4 PROGRAMIRANJE PO DOGODKIH

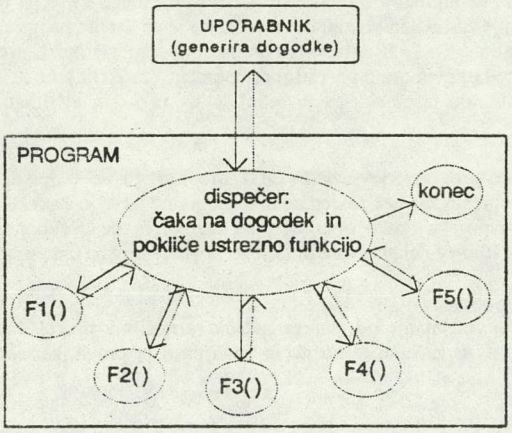
V tradicionalnem fortranskem načinu programiranja izgleda groba zgradba programa približno tako, kot je prikazano na sliki 2.



(slika 2)

Povsem jasno je, da tu ni nikjer sledu o kakšnem interaktivnem delu s programom, saj uporabnik napiše vhodno datoteko, požene program in nato pregleda rezultate na izhodni datoteki. Če želimo interaktivno delo s programom se struktura programa precej zaplete.

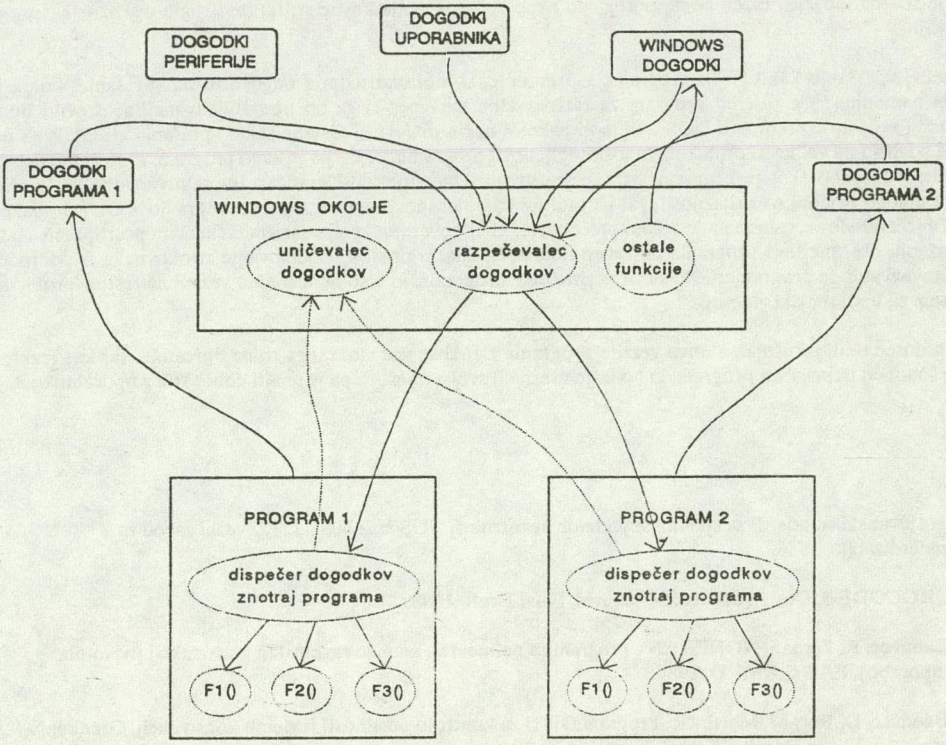
V interaktivnem programu se mora program odzivati na razne uporabniške vnose: pritisk tipke, premik ali klikanje miši, premik svetlobnega peresa, grafične tablice, ... Vsak od teh vnosov predstavlja dogodek, ki ga mora program obravnavati in se nanj odzvati ali pa ga zavreči in čakati na novega. Če je okolje v katerem teče program večopravilno, se dogodkom pridružijo še komunikacijska sporočila med programi in tudi te mora program obravnavati. Ker interaktivni program krmilijo dogodki, lahko rečemo pisanju takih programov: programiranje po dogodkih (ang. event-driven programming), saj v bistvu na najvišjem nivoju programa pišemo samo odzive na dogodke (slika 3).



(slika 3)

Dogodke bi torej lahko okarakterizirali kot majhne informacijske pakete, ki opisujejo diskretne pojave (pritisk tipke, premik miši, ...) na katere se mora program odzvati. Tipično programsko okolje, ki je popolnoma

podrejeno dogodkom je okolje Windows. Windowsi razširijo dogodke še za nekatere - izbira opcije menuja, odpiranje, zapiranje, premikanje oken, spremembe nastavitve barv, pisav, clipboard spremembe, ... To pomeni, da že okolje skrbi za prikazovanje menujev, delo z okni, vzdrževanje tiskalnikov, pisav, palete barv, itd. Programu pošlje okolje sporočilo o dogodku, npr.: izbrana je bila opcija menuja - izbira oblike prereza; glavno okno se je povečalo; pritisnjen je bil gumb; zmanjkuje mi spomina-a bi ti kaj počistil ... (slika 4)



(slika 4)

Kljub temu, da okolje samo poskrbi za mnogo reči, je v Windows programih potrebno poskrbeti za mnoge nastavitve parametrov, ki zagotavljajo pravilen zagon programa. Sama procedura za zagon programa je precej dolga in kompleksna in za začetnika pri delu z Windowsi skoraj zastrašujoča, tudi uporaba nekaterih Windows funkcij je precej težavna. Poleg tega nikoli ne smemo pozabiti, da je okolje Windows večopravilno okolje, kar je posebej izraženo pri porabi spomina in skupnih skladov. Mnogo teh težav odpravi uporaba raznih programskih paketov. Mi smo pri programu DIMJ uporabili Borlandov paket ObjectWindows.

Paket ObjectWindows poskrbi praktično za vso odvečno delo pri zagonu programa in razpečevanju dogodkov znotraj programa, na programerju pa je, da napiše odzive na dogodke. Če želimo spremeniti katerega od parametrov (kar v večini primerov ni potrebno), samo podedujemo zagonski razred in popravimo reči, ki nam ne ustrezajo. Paket v veliki meri poskrbi tudi za druge zelo pomembne reči, kot so kontrole (gumbi, statičen tekst, radijski gumbi, spiski, ...), za dialogna okna, na voljo daje kompleten urejevalec teksta, poskrbi za iskanje in izbiro datotek, skratka prihrani resnično mnogo dela.

Žal se izkaže, da za popolno uporabo zahteva precej razumevanja osnovnega delovanja okolja Windows, kar pa je precej neugodno, saj je to precej kompleksen proces. Vendar, če želimo pisati uporabniško prijazne programe, je to v vsakem primeru nujno.

5 ZAKLJUČEK

Interaktivno delo v večopravilnem okolju zaplete še tako preprost program. Sicer tako okolje ne zahteva objektno usmerjenega pristopa k rešitvi problema, ga pa izrazito podpira. Najbolj se to izraža v tem, da je dogodek praktično edina podatkovna struktura, ki potuje po programu. Posamezni odzivi so povezani samo z dispečerjem dogodkov v programu in to onemogoča pretok ostalih podatkov med njimi (pretok podatkov znotraj odziva je seveda možen), razen če ne posegamo neposredno v podatkovne strukture drugih odzivov, kar pa ni priporočljivo.

Če se sedaj vprašamo kako pisati programe v prihodnje, si moramo najprej odgovoriti na vprašanje: komu je program namenjen? Če pišemo program za raziskovalne namene, ki ga bo uporabljalo majhno število ljudi, popolnoma zadostuje preprosto DOS okolje in paketni način obdelave. Ostane samo vprašanje ali OUP ali ne. To pa je odvisno od velikosti problema in usposobljenosti programerja. Če pa pišemo program, ki je namenjen za precej širšo uporabo (kot je program DIMJ), se zdi smiselno uporabiti grafično interaktivno okolje. Z njim program mnogo pridobi na prijaznosti, žal pa tudi na kompleksnosti. Delno se da to odpraviti z OUP in paketi kot so ObjectWindows, ostane pa še vedno precej dela, ki ni povezano zgolj s samim računskim postopkom. Zato je pri razvoju obsežnejšega programa potreben interdisciplinarni pristop - sodelovanje strokovnaka iz področja, ki ga obravnavamo in programerja, ki skrbi za tiste dele programa, ki niso neposredno vezani na rešitev problema - predvsem za uporabniški vmesnik.

Po naših dosedanjih izkušnjah z novo verzijo programa DIMJ se več vloženega truda obrestuje, saj kot rezultat dobimo sodoben in prijazen program, ki bo lažje uresničil svoj namen, to pa je : najti dober stik z uporabnikom.

6 VIRI

1 Jugoslovanski standardi za stabilnost jeklenih konstrukcij JUS U.E7.081-121, Zvezni zavod za standardizacijo, 1986.

2 EUROCODE 3, Design of Steel Structures, Final Draft, 1988.

3 J. Banovec, R. Perdan, NONFRAN - program za nelinearno analizo ravninskih konstrukcij (navodila za uporabo), FAGG KMKG, 1986.

4 J. Banovec, D. Beg, M. Martinčič, Program DIMJ za kontrolo nosilnosti jeklenih konstrukcij, Gradbeni vestnik, Ljubljana, letnik 38, št. 1-2, str. 40-46, 1989.

5 Borland C++ Getting Started, Borland International Inc., 1991

6 ObjectWindows for C++ Programer's Guide, Borland International Inc., 1991

7 ObjectWindows for C++ Reference Guide, Borland International Inc., 1991

8 Microsoft Windows Programmer's Reference, Microsoft Corporation, 1990

9 Wiener Richard S., Pinson Lewis J., An Introduction to Object-Oriented Programming And C++, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1988.

*Davor Delić**

EKSPERTNI SUSTAV ZA OPTIMALIZACIJU TIPSKE DRVENE HALE *HALLOPT*

Sažetak

Prikazan je ekspertni sustav za optimalni odabir strukturalnih komponenti tipske hale i to: drvenih podrožnica, drvenih lameliranih vezača, čeličnih stupova, te AB temelja. Ostale komponente (pokrov, spregovi, zidovi i nosači zidnih obloga) ne ulaze direktno u proces optimalizacije, već ovise o geometriji hale određene na osnovi prethodna četiri faktora. Sustav raspolaže korisnički prilagođenim preprocesorom za unos podataka, printerskim i grafičkim postprocesorom za predočavanje rezultata optimalizacije, uz mogućnost praćenja linije razmišljanja, traženja objašnjenja i sl. Također intezivno interagira sa bazama podataka (u kojima se spremaju iskustva prethodnih konzultacija) i spreadsheetom u kojem je izmodeliran standarad EUROCODE No: 5 prilagođen teoriji graničnih stanja za proračun i dizajn drvenih konstrukcija.

EXPERT SYSTEM FOR A TYPED TIMBER HALL OPTIMIZATION *HALLOPT*

Summary

Here is shown the expert system for an optimization of a typed timber hall through its structural components: wood purlins, glued laminated timber beams, steel side columns and reinforced-concrete foundations. Other components (roof material, braces, wall panels and sheeting rails) are not directly handeled by an optimization proces, i.e. they depend on a geometry determined by three factors mentioned above. System owns customized input data preprocessor, printer and graphic output results postprocessor, with possibility of viewing a reasoning line and help facility, etc. System has exstensive interactive relationship with data base (with previous consultation results) and spreadsheet with modelled standard EUROCODE No 5, adapted to limit state theory design of timber constructions.

---

* dipl. ing. građ, mlađi istraživač na Odjelu za konstrukcije Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

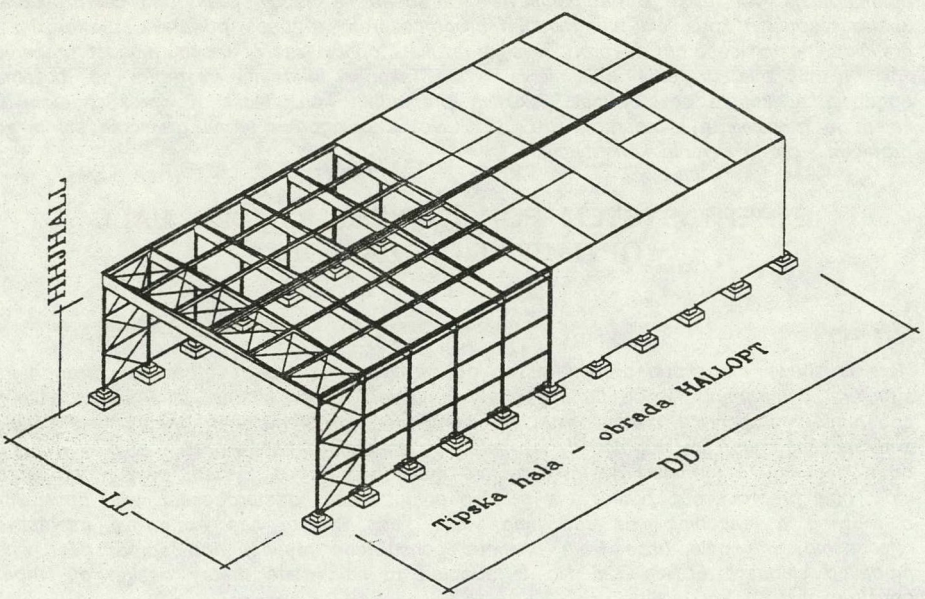
1. Optimalni dizajn

1.1. Tipska hala

Optimalni dizajn tipske hale sastoji se od odabira optimalne kombinacije slijedećih strukturalnih komponenti :

1. Podrožnica, drvenih, pravokutnog poprečnog presjeka, statičkog sistema proste grede. Moguće je ispitati kombinaciju od bilo koje klase drveta, no korisnik sam bira raspoložive klase drveta koje će doći u obzir pri optimalizaciji.
2. Vezača od ljepljenog lameliranog drva koji mogu biti jednostrešni ili dvostrešni (simetrični ili nesimetrični). Slično kao i kod podrožnica odabire se skup razreda drveta koji će se razmatrati u optimalizaciji.
3. IP profila, upetih u temelje, na kojima su vezači oslonjeni.

Optimalizacijski kriterij je najniža cijena koštanja čitave konstrukcije. Dani su relativni odnosi cijena drva (klasa C5 = 1, razred LC- 4/4 = 1.4), a korisnika se pita za cijenu prostornog metra drva klase C5 i za cijenu kilograma čelika u DEM (inicijalno 1 m3 drva = 2000 DEM, 1 kg čelika = 2 DEM). Ostale komponente struktura ne podliježu direktnoj optimalizaciji, već su ili zadane od strane korisnika (pokrov), ili se razmještaju u ovisnosti o trenutačnoj geometriji hale (vjetrovni i stabilizirajući spregovi).



Sl. 1. Tipska drvena hala - primjer za obradu HALLOPT-om

1.2. Prostor problema

Ovakvom postavkom cilja optimalizacije definiran je višedimenzionalni problem koji se, dakle, sastoji od tri podproblema : podrožnica, vezača i stupova.

Varijabla koja ih spaja jest optimalan razmak vezača. Područje rješenja ove varijable sužen je slijedećom diskretizacijom koju kontrolira korisnik :

1. Ako korisnik želi unaprijed zadati razmak vezača to, naravno, bitno pojednostavljuje stvar, jer nema optimalizacije kroz sve moguće raspone.
2. Pretpostavili smo praktičan modularni korak od 25 cm. Program traži sve moguće raspon čiji je višekratnik dužina hale.
3. Ukoliko korisnik dozvoljava variranje duljine hale od koji metar, pretražit će se svi razmaci vezača od 3 do 6 metara s korakom od 25 cm.

Slijedeća varijabla koja se varira je nagib krova od 4 do 8 DEG, korak 1, uz mogućnost korisničkog zadavanja nagiba.

1.2.1. Podrožnice

Sada valja pronaći najjeftinije rješenje podrožnica koje još ovisi i o :

- Razmaku među podrožnicama. Uz mogućnost direktnog zadavanja razmaka, ispituju se podrožnice za sve moguće razmake od 80 do 250 cm. Program traži mogući broj podrožnica koji može stati na kosinu krova u ovim granicama, pa se onda ispituju svi ostali međurazmaci.
- Klasi drveta (C1 do C10, odn. raspoložive, odn. raspoloživa klasa).
- Dimenzijama poprečnog presjeka - najmanja površina poprečnog presjeka od 8/10 do 16/32 od svih koje su prošle statičke provjere.

Još se slažu vjetrovni spregovi na način da su među mogućim kombinacijama izaberu oni čije dijagonale zatvaraju kut najbliži 45 DEG.

Najjeftinije se, zatim, rješenje uzima kao opterećenje na vezače, uz napomenu da se sve provjerene, a lokalno optimalne podrožnice za dane uvjete (duljina projekcije površine pod istim nagibom, snijeg, vjetar, razmak, raspon, nagib, klasa drveta) spremaju u bazu podataka. To je korisno jer je nakon konzultacije moguće grafički prikazati tok optimalizacije, a u nekoj kasnijoj konzultaciji pri sličnim uvjetima izbjegava se računanje, jer je lokalni optimum zapisan u bazi. Isti princip korišten je i za vezače.

1.2.2. Vezači

Treba pronaći najjeftiniji vezač na način :

(1)-Za svaki mogući razmak vezača variraju se :

(2) -svi mogući nagibi, a unutar njih :

(3) -svi mogući razredi čvrstoće drveta, a unutar njih :

(4) -kreće se od dimenzija na ležaju 12/HHJMIN i korakom od 3 cm povećava se visina (do neke HJMAX vrijednosti), nakon čega se povećava širina grede za 2 cm (do max 22 cm) i čim prvi presjek

prođe sve statičke provjere, dobiveno je jedno lokalno optimalno rješenje koje se zapisuje u bazu.

(4a) -optimalno dizajniranje stupa za ove uvjete...

(3) -slijedeći razred čvrstoće

(2) -slijedeći nagib

(1)-slijedeći razmak vezača.

Brojevi u zagradama označavaju razine optimalizacije, gdje za svaku višu razinu treba izvršiti sve niže razine. Između razine (2) i (3) sustav odlazi u rješavanje problema lokalno optimalne podrožnice.

Veličina HHJMIN određena je na osnovi prilično grube parametarske analize, a najniža vrijednost iznosi 30 cm. Besmisleno je svaki put krenuti od ove visine kad je jasno da će veći rasponi, razmaci i opterećenja zahtijevati i veću visinu presjeka. Zato je formirana linearna heuristička funkcija koja kontrolira ovu veličinu. Prilično je sigurna jer daje vrijednosti dosta ispod one koja će zadovoljiti statičke provjere, ali bitno skraćuje opseg računanja :

HHJMIN = (LL-9)*10+(SPAN*2-6)*10+SNDOT-(ALJOPT-4)*5-TIMGRAGL*5

ovdje je :

LL - raspon vezača

SPAN - razmak vezača

SNDOT - 0 ako nema snijega, 30 ako ima

ALJOPT - nagib krova

TIMGRAGL - razred čvrstoće lameliranog drva gdje je LC-2/1 = 1, a LC-6/6 = 6

1.2.3. Stupovi

Stupovi se računaju na nivou (4a) što znači da nema dodatnih petlji, već da za uvjete do nivoa (4) postoji samo jedno rješenje stupa koje se jednostavno dobije tako što se krene od IP8 i vrše se statičke provjere do prvog profila koji prođe kontrolu po standardu BS 5950.

Obzirom da su svi lokalni optimumi pohranjeni u bazi, to su sve grane prostora problema zapisane i jednostavno je sada vidjeti koje je rješenje optimalno.

2. Arhitektura HALLOPT-a

2.1. Općenito

HALLOPT koristi slijedeće module :

1. Baza podataka u kojoj su pohranjeni rezultati prethodnih optimalizacija i to podrožnica, vezača, te IP profila. Posebna tabela vezana je za *Help* facility.
2. Spreadsheet u kojem su pohranjene tabele EUROCODE-a No 5, koje su bile potrebne za proračune, vrste pokrovnog materijala, poruke input control debugger-a, te međurezultati tekuće konzultacije koji se po njenom završetku gube.

3. Maske za unos podataka.
4. Korisnički prilagođeni printerski izlaz rezultata. 5. Grafički prikazi mogućih kombinacija podrožnica, greda i čitave strukture.
6. Podprogramski PERFORM file-ovi koji se sastoje od naredbi komandnog jezika.
7. Niza ekspertnih podsustava koji rješavaju specifične probleme, sa različitim mehanizmima za zaključivanje.

2.2. Načini predstavljanja znanja kojim HALLOPT raspolaže

Baza znanja sastoji se od specifičnog stručnog znanja, (koje je predstavljeno varijablama i pravilima), i kontrolnog znanja (koje se sastoji od komandi za rješavanje problema). Općenito svo ovo znanje nalazi se u modulima spomenutim u prethodnoj točki (jasno osim pod 3, 4 i 5).

2.2.1. Baza podataka

Baza podataka organizirana je po tablama koje se sastoje od zapisa (*records*). Broj zapisa ograničen je mogućnostima stroja. Zapisi se sastoje od polja (*fields*), što su, u stvari, varijable, ravnopravne i kompatibilne sa svim ostalim modulima sustava. Važno je pri tome da je sustavu u jednom momentu pristupačna samo jedna varijabla (iz jedne table), ovisno na kojem je zapisu pozicionirano tražilo sustava.

Tako su u jednoj tabli pohranjeni podaci o IP profilima. Zapise u njoj tvore podaci za profile od IP8 do IP34 koji su u stalnoj proizvodnji željezare Zenica. Ti podaci (oznaka, visina profila, težina po metru dužine, itd...) oznake su polja. Svako polje, kao i sve ostale varijable, mogu biti različitog tipa (*string, logic, integer, real, Boolean*), uz opcionalno korištenje formata i labele.

Ova je tabla nepromjenljiva u smislu da je sustav sam ne nadograđuje, niti je to druga, posebna tabla u kojoj su sadržane poruke uređaja za pomoć. Nasuprot njima table podataka o podrožnicama i vezačima sadrže rezultate dizajniranih kombinacija u prethodnim konzultacijama i one su podložne stalnom nadograđivanju.

Postoji još i tabla koja sadrži lokalno optimalne kombinacije struktura, potrebnih za postprocesor. Prilikom svake nove konzultacije podaci iz nje se brišu.

2.2.2. Spreadsheet

U spreadsheetu su pohranjeni slijedeći podaci :

- -Pokrovni materijali sa cijenama i masama po m.

Tabele EUROCODE-a No 5 :

- -Tabela 2.3.3.1. a. Parcijalni koeficijenti za akciju.
- -Tabela 2.3.3.2. Parcijalni koeficijenti GAJMM za karakteristike materijala.
- -Tabela 3.1.3. Popravni faktori KJMOD za vrijednosti čvrstoća.
- -Tabela 4.1.Faktori puzanja KJCREEP.
- -Tabela A 2.1. a. Klase čvrstoća drveta i srednji EE moduli u MPa, uz nadopunu o relativnim odnosima cijena gdje je za klasu C5 = 1.

- -Tabela A 2.3. b. Odnosi EEJ0JK/FJCJ0JK i EEJ0JK/FJMJK za proračune stabilnosti.
- -Tabela A 2.5. Zahtijevi za laminate i karakteristične čvrstoće, uz nadopunu o relativnim cijenama (u odnosu na obično drvo).

oš postoji dio koji kontrolira unos podataka sa odgovarajućim porukama i dio za privremeno pohranjivanje rezultata optimalizacije koji će se odatle konvertirati u bazu podataka (ne postoji mogućnost direktnog unosa novih zapisa u table).

2.3.3. Podprogramski PERFORM file-ovi

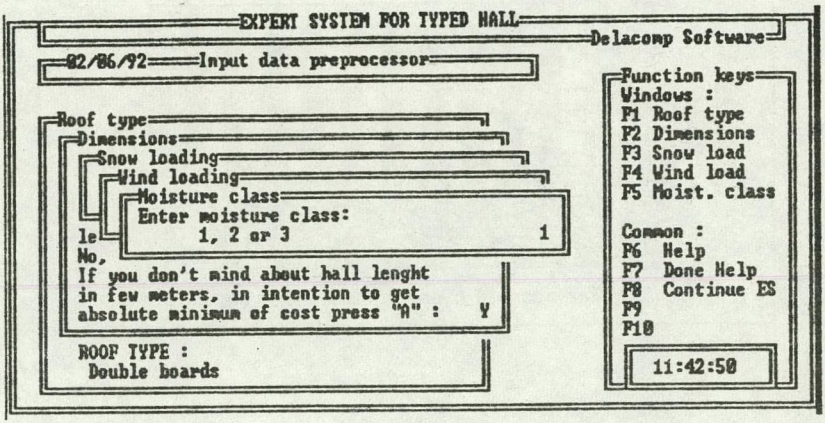
Ovi file-ovi jesu grupe komandnih naredbi koji se nalaze ili unutar ES podsustava, ili samostalni (koji pozivaju ES podsustave), ili su ugniježđeni, itd. Bitno je da predstavljaju djelove kontrolnog znanja koji rješavaju određene podprobleme.

2.3.4. Ekspertni podsustavi HALLOPT-a

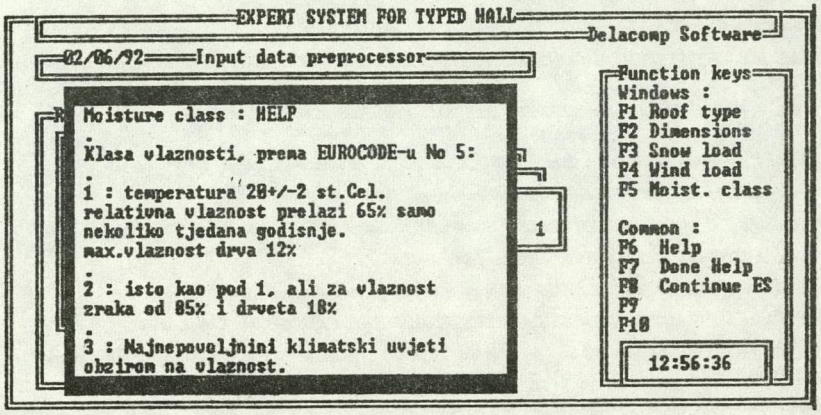
Ekspertni sustavi (podsustavi) sastoje se od četiri glavna dijela :

1. Inicijalnog u kojem se mogu setirati razne kontrolne i radne varijable, pozivati podprogramski file-ovi, uopće sve operacije komandnog jezika.
2. Završnog - potpuno istih mogućnosti kao i inicijalni.
3. Pravila koja se sastoje od svojih lijevih (IF) i desnih (THEN) strana kojima su također pristupačne sve operacije. Zatim postoje prostori za objašnjenja (koja se ispisuju prilikom WHY upita i upita o liniji razmišljanja), zatim komentara, spiska varijabli potrebnih za lijeve i desne strane i oznake maksimalnog broja izvršavanja pravila unutar jedne konzulatacije. Ove su mogućnosti opcionalne. Dalje postoji mogućnost prilagođavanja mehanizma za zaključivanje specifičnostima pojedinog pravila. Tu spadaju mogućnosti kontrole maksimalnog broja izvršavanja pravila unutar jedne konzulatacije, davanja prioriteta pravilima, oznakama koštanja pravila, mogućnost izbora vremena traženja nepoznate varijable i sl.
4. Deklaracija varijabli sa labelama i načinom traženja (ako nijedno pravilo ne mijenja njenu vrijednost). Kontrolira se rigoroznost zaključnog mehanizmau traženju nepoznate vrijednosti, pa čak i mogućnost traženja vrijednosti miješanim lančanjem.

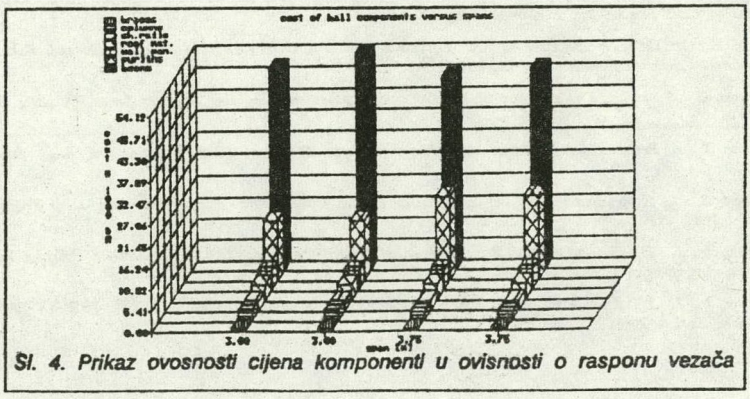
Integrabilno sinergetska priroda ovakvog razvoja omogućuje da gotov sustav tipa HALLOPT bude vrlo otvoren za buduću nadogradnju. Pravilnije bi bilo reći da je, u jednoj široj gotovoj verziji, HALLOPT tek manji podsustav kompleksnog sustava za dizajniranje građevinskih konstrukcija. Pri tome se misli na pogodnost modeliranja kompletnih standarda, te procedura numeričkih analiza, koji bi se koristili neovisno o tipu problema.



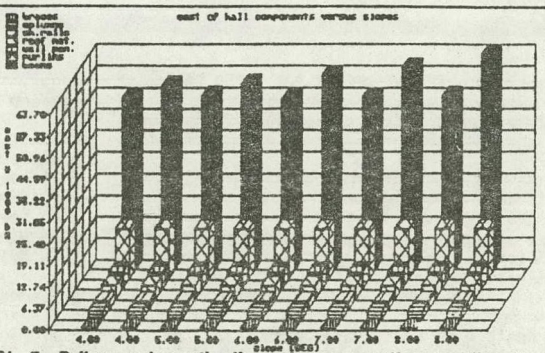
Sl. 2. Ekran unosa podataka



Sl. 3. Ekran HELP interface-a



Sl. 4. Prikaz ovosnosti cijena komponenti u ovisnosti o rasponu vezača



Sl. 5. Prikaz ovisnosti cijena komponenti o nagibu krova

Literatura :

1. *Hojjat Adeli: EXPERT SYSTEM IN CONSTRUCTION AND STRUCTURAL ENGINEERING, Chapman and Hall, 1988.*

2. *Hojjat Adeli, K.V. Balasubramanyam : EXPERT SYSTEMS FOR STRUCTURAL DESIGN - A new generation, Prentice Hall, 1988.*

3. *Commission of the European Communities : EUROCODE No 5., Directorate General, 1987.*

4. *Milan Gojković: DRVENE KONSTRUKCIJE, Naučna knjiga, 1986.*

5. *T. J. MacGinley, T.C. Ang, : STRUCTURAL STEELWORK - Design to limit state theory, Butterworths, 1987.*

6. *Elaine Rich: ARTIFICAL INTELIENCE, McGraw-Hill., 1983,86.*

7. *Zvonimir Žagar : EKSPERTNI SUSTAVI, Simpozij o drvenim konstrukcijama, Cavtat 1983.*

8. *Zvonimir Žagar : DIZAJN KONSTRUKCIJA KORIŠTENJEM ES-a, CADFORUM, Zagreb, 1990.*

9. EUROCODE 5, Common Unified Rules for Timber Structures, EUR 9887 EN Dir.Gen. Intern. Market & Industr. Affairs, 1988.

10. *Z. Žagar, Knowledge Based Systems for Glulam Structure Design, TRADA, 1991 Intern. Timber Eng. Conference London, 2.494-2.501*

11. *Žagar, Z., Knowledge Based System for Automatic Design of Glued Laminated Structures, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo, 1989, 239-248.*

12. *Delić D., OPTIMALNI DIZAJN TIPSKE DRVENE HALE S GURU LJUSKOM, diplomski rad, Fakultet gradjevinskih znanosti Sveucilista u Zagrebu, 1990.*

13.. *Fenves, S. J., at all, The structure of building Specificationtions, Building Sciences Series 90, NBS, Washington D. C., 1976.*

14. *Fenves S. J., Recent development in Methodology for formula tion of design Specifications, Eng. Structures, Vol. 1., 1979.*

15. *Fenves, S. J., Expert System in Civil Engineering, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bergamo,1989, 1-19.*

16. *Garret, Jr., J. H., Object-Oriented Representation of Design Standards, IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineer- ing, Bergamo, 1989, 373-382.*

17. *Garret, Jr., J. H., Knowledge -Based Expert Systems: Past, Present and Future, IABSE SURVEY S/90, IABSE Periodica, Zurich, 1990.*

STRESS ANALYSIS OF HUMERUS BONE

Authors :

Zvonimir Žagar, Janko Hančević, Vasilije Nikolić ,Mladen Hudec, Miljenko Haiman, Tonisav Antoljak, Josip Turčić, Slavko Davila, Mirko Livaković

Zvonimir Žagar,Ph.D.,Str.Eng.;Miljenko Haiman,B.Sc.,Str.Eng.
Faculty of Civil Engineering, Zagreb ,Kačićeva 26

Janko Hančević,Ph.D.,M.D., Tonisav Antoljak, M.D.,Josip Turčić,Ph.D.,M.D.,
Slavko Davila, Ph.D.,M.D., Mirko Livaković, M.D.
Clinical Medical Center REBRO, Zagreb,Kišpatićeva 12

Vasilije Nikolić, Ph.D., M.D.
Faculty of Medicine, Zagreb, Šalata 3

Mladen Hudec, Ph.D., Str.Eng.
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb,Pierottieva 6

Summary:

Shown are the possible, in-bone-stress concentrations as the couse of human humerus bone fracture crack propagation. The analysis was done by FE ICES STRUDL2 program using as input the by FUJI Prescale film in lab meassured contact elbow joint stress fields for various simulated glenohumeral angles. The obtained FE analysis results are in good accordance with the clinical experiences.

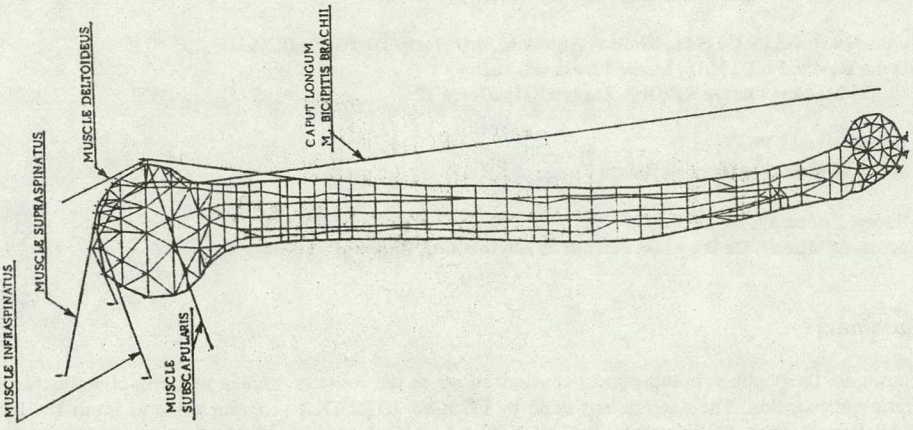
Sadržaj:

Prikazane su koncentracije napona u kosti humerusa za razne glumohumeralne kuteve prilaganja sila u zglobu. Kontaktni naponi na povrsini zgloba, mjereni su laboratorijski na uzorcima lakatnog zglobnog sklopa, sa FUJI Prescale filmom (folijom) za razne kutove mogućeg prilaganja sile, a analiza napona u slozenom FE modelu kosti humerusa, provedena je sa IBM verzijom programa ICES STRUDL2. Rezultati analize prognoze pojave lomne linije i njene propagacije dobro se slazu sa klinickim iskustvima.

Modern biomechanics in nowadays becoming increasingly oriented towards establishing the basic mechanism of indirect fractures of the locomotor apparatus trough the interdisciplinary work of experts from several different fields. In this sense, our group of authors investigated the stress states of humerus for different glenohumeral angle positions, i.e. arm abductions (scale: 3:5) at which the contact with acromion occurs. The goal was to determine the places of the greatest stress on the humerus where, according to the law of probability, there is a chance for fracture occurrence, and to compare the obtained results with clinical experiences.

The analysis was performed through the finite element network using the program package IBM ICES STRUDL 2. For the time being, the analysis was limited to the two-dimensional problem. The third dimension was included in calculations by changing thicknesses of individual elements, defined according to the set of CT pictures of the humerus layers. Moduli of elasticity were taken from literature and they amount to E = 14100 N/mm2 for compacta a and E = 300 N/mm2 for spongiosa.

Boundary conditions were defined in the elbow joint where the distal part of the model leans onto four side bearings so that the tangential displacement to the contact point is made possible. By inserting one bearing into the fossa olecrani, we simulated the fall on the stretched arm which is the basic mechanism of the above mentioned trauma. In order to confine deformations within physiological limits, TYPE PLANE TRUSS elements were placed around the shoulder joint. These elements simulated muscles and their contact with the bone. The bone model and the finite element network are presented.



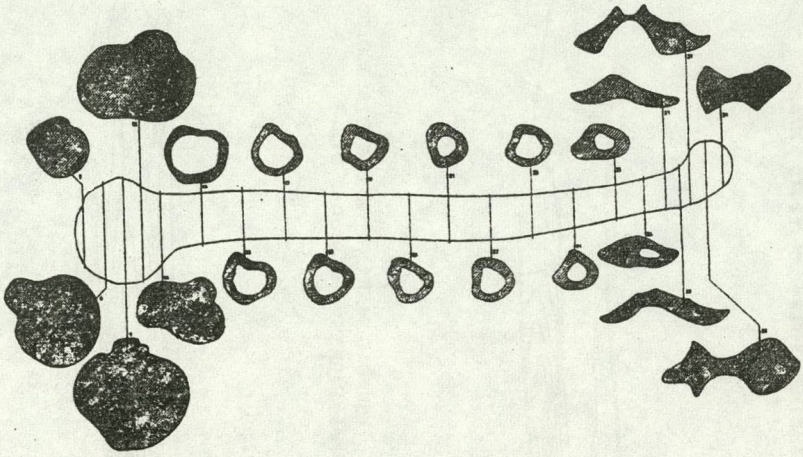
The X-ray picture of the humerus bone scaled at 1:1 was used for the analysis and it served as a basis for the numerical model preparation. Quadrilateral 'IPLQ' type elements and the triangular 'CSTG' type elements were used. At that, particular attention was paid to the internal structure of the bone, i.e. to the structure of compacta and spongiosa since their elasticity moduli differ to the great extent. For that reason, it was sometimes necessary to accept the elongated form of some elements.

The load of 141 N was applied at the proximal end of the model as a force concentrated on the nodes of the finite element network. The data regarding the absolute value (distribution and local loads)

were obtained using Prescale film (FUJI) during previous experiments made at the Clinical Medical Center Rebro in Zagreb. The force projection was based on the glenohumeral angle and on humerus axis. The total of five different positions were analyzed for the deflections of 10 to 50 degrees in 10 degree increments. At that, distribution of these forces with respect to the measured surfaces and intensity was strictly respected.

The output results provided the following data: stress on elements in the direction of principal axes X and Y, deformations and, finally, the size and orientation of main stresses S1 and S2. On that basis, the lines of equal stress levels were drawn and their density showed the stress gradient and indicated the points where fractures might occur. The stress level lines show that:

- stresses at the glenohumeral angle of 10 degree (16 degrees of abduction) are exclusively located at the back side of the surgical neck, while stresses at the remaining part of the bone are negligible;



- at the glenohumeral angle of 20 degrees (34 degrees of abduction) stresses are located in a somewhat wider area of the surgical neck and are mostly concentrated in the posterior zone, while minimum stresses can be observed at the distal third of the model;

- stress concentration at the glenohumeral angle of 30 degrees (50 degrees of abduction) are quite similar to those at 20 degrees, the only difference being that the stresses are more intensive at the dorsal side;

- when force is applied at the glenohumeral angle of 40 degrees (66 degrees of abduction), great stresses are found at the back side of the surgical neck. At the distal part of the model, a new stress field running along the central bone axis can be observed in addition to the already existing posterior stress.

- at the glenohumeral angle of 50 degrees (83 degrees of abduction) stress concentrations are located at the back side of

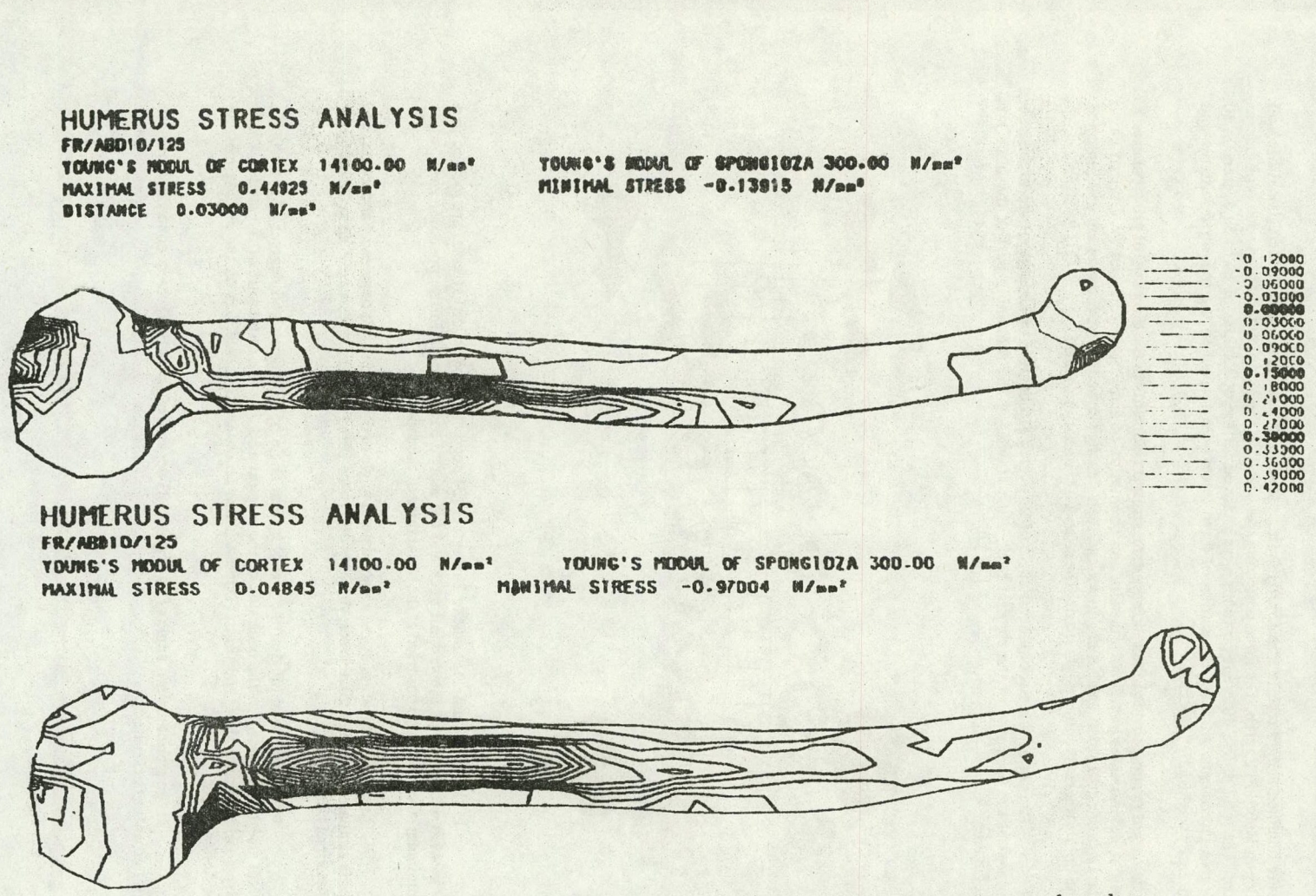


Fig. 1. Two cases of the longitudinal stress distributions for two different glenohumeral angles.

the surgical neck, but these stresses are much weaker then the ones at the distal part above the elbow joint and at the transition zone from the upper to the central third of the bone.

CONCLUSION

It can therefore be concluded that fractures of the surgical neck of humerus may occur at all positions up to 83 degrees of abduction in the patient falls on the stretched arm. Fractures at the distal part of the bone near the elbow joint are also possible in the range from 50 to 83 degrees. The theoretical possibility of fractures at the transition zone from proximal to central third of the bone exists only at 83 degrees of real abduction of the arm. The obtained results are in accordance with the clinical experience according to which the surgical neck fractures are by far the most common humerus fracture type.

Boštjan Brank*, Frano Damjanić**

RAČUN PLOŠČ IN LUPIN Z UPOŠTEVANJEM VELIKIH POMIKOV

POVZETEK: Opisane so teoretične osnove postopka, s katerim lahko pri analizi konstrukcij upoštevamo velike pomike, oziroma geometrijsko nelinearnost. Podoben postopek smo uporabili v programu SHENOL, ki je namenjen analizi ploskovnih in lupinastih konstrukcij. Temelji na metodi končnih elementov in pri računu uporablja izoparametrične ukrivljene lupinaste elemente. Prikazano je nekaj računskih primerov z enostavno geometrijo in obtežbo. Pri računu smo predpostavili linearno elastičen material in uporabili 8 vozliščni element.

ANALYSIS OF PLATES AND SHELLS INCLUDING LARGE DISPLACEMENTS

ABSTRACT: Theorethicall principles of the procedure for the large displacements analysis of structures are briefly presented. The similar procedure was adopted in programme SHENOL which was developed for the analysis of plates and shells. It is based on finite element method and employes curved isoparametric shell elements. The results of some simple solved examples are presented. The elastic behaviour of material was assumed and 8 node element was used.

UVOD

Pri linearno elastični analizi je predpostavljen linearen odnos med napetostmi in deformacijami v materialu ter linearen odnos med deformacijami in odvodi pomikov. Če med temi količinami vpeljemo neko nelinearno zvezo, govorimo v prvem primeru o materialni, v drugem primeru pa o geometrijski nelinearnosti. Nelinearen odnos med deformacijami in odvodi pomikov dobimo, če upoštevamo člene enačbe (1), ki vsebujejo produkte odvodov pomikov.

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}(\text{linearni del}) + \epsilon_{ij}(\text{nelinearni del}) = \tfrac{1}{2}(u_{i,j}+u_{j,i}) + \tfrac{1}{2}(u_{k,i}\,u_{k,j}) \qquad (1)$$

Pri večjih pomikih konstrukcije, postanejo ti členi nezanemarljivi v primerjavi z linearnim delom deformacij, tako da jih ne moremo enostavno izločiti iz računa, če želimo točne rezultate.

Za upoštevanje nelinearnosti moramo temeljito spremeniti linearni način reševanja. Postopek, ki je potreben za reševanje geometrijsko nelinearnih problemov, je splošnejši od postopka za reševanje materialne nelinearnosti in lahko slednjega enostavno vključi vase, če so napetosti izražene kot enolična funkcija deformacij. Postopek zahteva, da časovno sledimo gibanju in deformiranju telesa, za kar je pri trdnih telesih najprikladnejši Lagrangev opis [1]. Pri njem se pomiki, deformacije in napetosti v poljubnem stanju telesa izrazijo glede na neko njegovo znano stanje. To je največkrat začetno nedeformirano stanje ali pa zadnje znano deformirano stanje. V prvem primeru govorimo o totalnem Lagrangevem pristopu, v drugem primeru pa o dopolnjenem Lagrangevem pristopu.

Lagrangev opis omogoča, da pomike pišemo kot vsoto znanih pomikov in njihovih neznanih inkrementalnih prirastkov. Iz principa o virtualnem delu dobimo nelinearno enačbo, v kateri so neznane količine prirastki napetosti in pomikov. Z nekaterimi predpostavkami jo linearizirамo, tako da postane linearna funkcija prirastkov pomikov. Če na tej stopnji vpeljemo končne elemente, dobimo sistem linearnih enačb z neznanimi prirastki pomikov. Pri njihovem reševanju nanašamo zunanjo obtežbo po inkrementih in v vsakem inkrementu iščemo ravnotežje med zunanjimi in notranjimi silami. Enačbe rešujemo iteracijsko in s tem v računu zajamemo tudi neuravnotežene sile. Ko se zunanja inkrementalna obtežba in notranje sile izenačita, poznamo velikost pomikov pri tej obtežbi. Iz njih določimo deformacije in napetosti.

---

* mladi raziskovalec, IKPIR, FAGG, Jamova 2, Ljubljana
** profesor

Pri iteracijskem reševanju torej iščemo ravnotežje med zunanjo obtežbo in notranjimi silami v vsakem inkrementu. To bo doseženo, ko bo v n-tem inkrementu in v i-ti iteraciji zadoščena enačba (2).

$$\underline{R}_n - \underline{F}(\underline{u}_n^{\,i}) = \underline{0} \,. \tag{2}$$

$\underline{R}_n$ je predpisana zunanja obtežba v tem inkrementu, $\underline{F}(\underline{u}_n^{\,i})$ pa so notranje sile, ki se izračunajo iz napetosti. Enačbo razvijemo v Taylorjevo vrsto, upoštevamo, da je zunanja obtežba neodvisna od pomikov in zanemarimo višje člene. Dobimo:

$$\underline{R}_n - \underline{F}(\underline{u}_n^{\,i}) = \partial\, \underline{F}(\underline{u}_n^{\,i})/\partial\, \underline{u}_n^{\,i}\, \Delta \underline{u}_n^{\,i+1} \,, \tag{3}$$

kjer je

$$\Delta \underline{u}_n^{\,i+1} = \underline{u}_n^{\,i+1} - \underline{u}_n^{\,i} \,. \tag{4}$$

Ker izraz $\partial\, \underline{F}(\underline{u}_n^{\,i})/\partial\, \underline{u}_n^{\,i}$ predstavlja tangentno togostno matriko v i-ti iteraciji n-tega inkrementa, je enačba (3) potem:

$$\underline{R}_n - \underline{F}(\underline{u}_n^{\,i}) = \underline{K}_T(\underline{u}_n^{\,i})\, \Delta \underline{u}_n^{\,i+1} \,, \tag{5}$$

kar je osnovna enačba, ki jo rešujemo pri analizi konstrukcij. Iteracijska shema iz enačbe (5) se imenuje Newton-Raphsonova metoda [2]. Ko je razlika med pomiki $\underline{u}_n^{\,i+1}$ in $\underline{u}_n^{\,i}$ dovolj majhna, je doseženo ravnotežje med notranjimi silami in zunanjo obtežbo. Takrat je zadoščena tudi enačba (2).

Tangentna togostna matrika je funkcija pomikov in je sestavljena iz treh delov:

$$\underline{K}_T(\underline{u}_n^{\,i}) = \underline{K}_0 + \underline{K}_{nl}(\underline{u}_n^{\,i}) + \underline{K}_s(\underline{u}_n^{\,i}) \,. \tag{6}$$

Prvi del togostne matrike je enak kot pri linearni analizi, drugi in tretji del pa sta odvisna od pomikov. Tretji del je geometrijska togostna matrika, v kateri se pomiki upoštevajo posredno preko (2.Piolla-Kirchoffovih) napetosti. Natančneje so deli togostne matrike opisani v [2] in [3].

RAČUN PLOŠČ IN LUPIN

Pri analizi lupin je potrebno upoštevati geometrijsko nelinearnost, saj je znano, da se pri lupinah zmanjšujejo prirastki nosilnosti pri enakih prirastkih pomikov. Če pri računu v poštev vzamemo velike pomike, opazimo padec nosilnosti lupine, ki se še poveča z upoštevanjem materialne nelinearnosti. Nasploh lahko nosilnost lupine po elastični teoriji določimo le z upoštevanjem velikih pomikov.

Obratno se dogaja pri ploščah. Pri elastični analizi po teoriji velikih pomikov se prirastki nosilnosti povečujejo pri enakih prirastkih pomikov. Z upoštevanjem geometrijske nelinearnosti dobimo precej večjo nosilnost kot pri računu z malimi pomiki. To pomeni, da pri enaki obtežbi izračunamo manjše pomike plošč, če upoštevamo geometrijsko nelinearnost, kot če je ne upoštevamo. Prečni pomiki plošče namreč povečujejo njeno membransko togost [3]. V splošnem smo pri računu plošč po teoriji malih pomikov na varni strani. Teorija velikih pomikov postane pomembna šele, ko želimo čimbolj izkoristiti njihovo nosilnost. K temu se teži predvsem pri lahkih jeklenih in aluminijastih sendvič ploščah s sredico iz nenosilnega polnila ter pri ploščah iz kompozitnih materialov. Takšne konstrukcije lahko dosežejo precejšnje prečne pomike, ko je nosilni material še v elastičnem področju.

UKRIVLJENI LUPINASTI ELEMENTI

Osnova vsakega končnega elementa so njegove interpolacijske funkcije. Z njimi opišemo vse količine, ki nastopajo v osnovnih enačbah, to je geometrijo, pomike, deformacije in napetosti. Ko določimo karakteristične matrike končnega elementa, jih vstavimo v enačbo (5) in iščemo ravnotežje pri predpisani

zunanji obtežbi. Za analizo plošč potrebujemo element, ki zna opisati membransko in upogibno obnašanje. Takšen je C^0 lupinasti element, ki je podrobno opisan v [5] in ločeno obravnava membranske, upogibne ter strižne deformacije.

Geometrijo in gibanje elementa lahko določimo, če opazujemo dve materialni točki T in $T_{(m)}$, kjer $T_{(m)}$ leži na središčni ploskvi elementa, T pa je od nje oddaljena za dolžino z v smeri normale. Lega T je potem določena z vektorjem:

$$\underline{X} = \underline{X}(T_{(m)}) + z\,\underline{\overline{x}}_3, \tag{7}$$

kjer je $\underline{\overline{x}}_3$ enotni vektor v smeri normale v točki $T_{(m)}$. Pomiki so določeni na podoben način:

$$\underline{u} = \underline{u}_{(m)} + z\,\underline{a}, \tag{8}$$

kjer je $\underline{a}$ vektor pomikov enotne normale $\overline{x}_3$ in je odvisen od njenih zasukov okoli $\overline{x}_1$ in $\overline{x}_2$, ki sta tangenti na ploskev v $T_{(m)}$. Pri malih zasukih je $\underline{a}$ linearno odvisen od njih, pri velikih pa postane nelinearna funkcija zasukov normale. Iz enačbe (8) vidimo, da so pomiki in zasuki po elementu medsebojno neodvisni, kar je znana lastnost C^0 elementov.

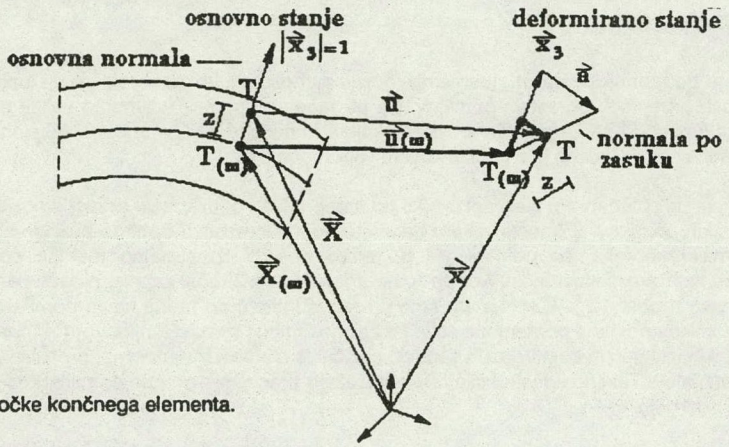
Položaj točke T v novi konfiguraciji je potem (slika 1):

$$\underline{x} = \underline{X} + \underline{u} = \underline{X}_{(m)} + \underline{u}_{(m)} + z(\underline{\overline{x}}_3 + \underline{a}). \tag{9}$$

Enačbi (7) in (9) sta osnovi za določitev Green-Lagrangevih deformacij med dvema stanjema telesa. Le-te lahko razdelimo na membranske, upogibne in strižne, nato pa še na linearne in nelinearne.

$$\underline{\epsilon} = \underline{\epsilon}_{(m)} + \underline{\epsilon}_{(u)} + \underline{\epsilon}_{(s)} = \underline{\epsilon}_0 + \underline{\epsilon}_{nl} \tag{10}$$

Vektor $\underline{\epsilon}_{nl}$ je bistven pri določitvi vseh ostalih matrik končnega elementa, ki jih potrebujemo pri računu z velikimi pomiki. Največkrat so upoštevane Von Karmanove predpostavke, po katerih so zanemarljivi vsi odvodi pomikov, razen odvodov prečnega pomika po $\overline{x}_1$ in po $\overline{x}_2$. S tem pa se nelinearen račun omeji le na upogibno obremenjene plošče in lupine.



Slika 1. Premik točke končnega elementa.

PROGRAM SHENOL

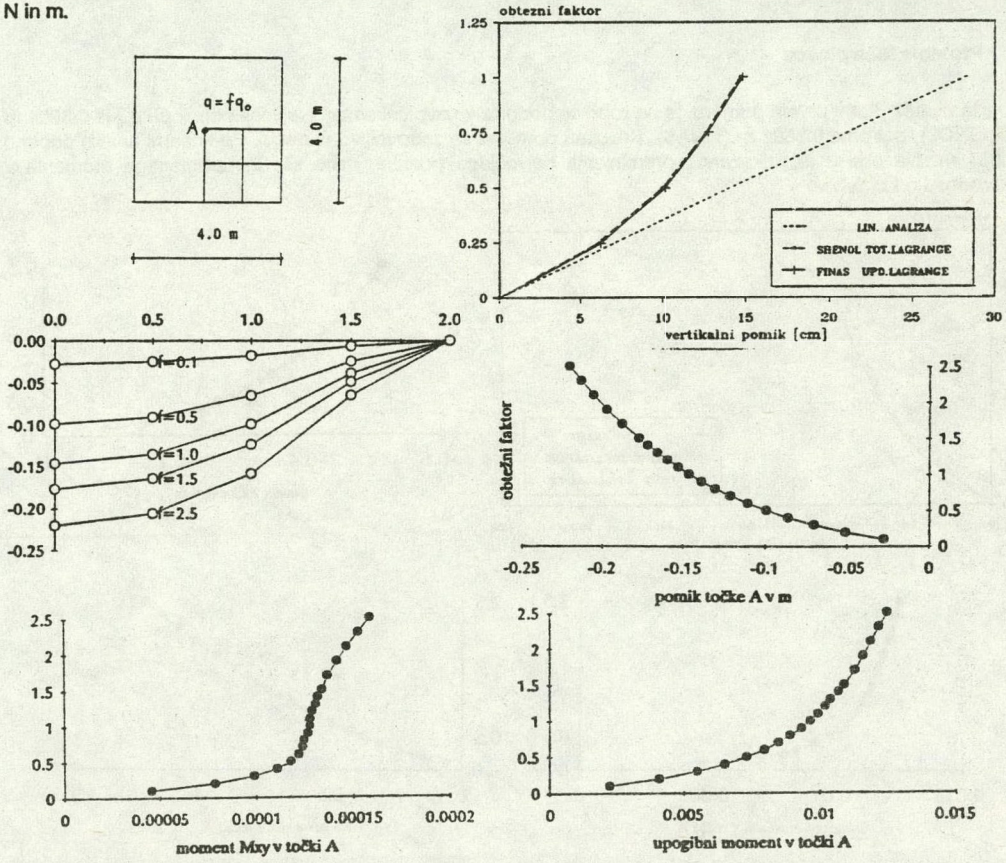
Program SHENOL je namenjen računu ploskovnih in lupinastih konstrukcij z upoštevanjem velikih pomikov. Izhaja iz linearnega programa SHELIN [4], ki je bil dopolnjen s postopkom za upoštevanje geometrijske nelinearnosti. Oba programa uporabljata 4, 8 in 9 vozliščne izoparametrične lupinaste C^0 elemente z

analitično integracijo po njihovi debelini. Takšni elementi ločeno opisujejo membranske, upogibne in strižne deformacije in so podrobno opisani v [5]. Za uporabo v programu SHENOL smo te elemente modificiali, tako da zdaj upoštevajo tudi nelinearne člene deformacij. S tem smo dobili nov tip elementa. SHENOL uporablja totalni Lagrangev pristop in predpostavlja linearno elastičen material, konservativno obtežbo ter majhne zasuke normal (glej enačbo 8). Pri računu nelinearnih deformacij upošteva vse odvode pomikov in ne samo von Karmanovih predpostavk. Zaradi tega je uporaben pri analizi tako membransko, kot upogibno obremenjenih konstrukcij.

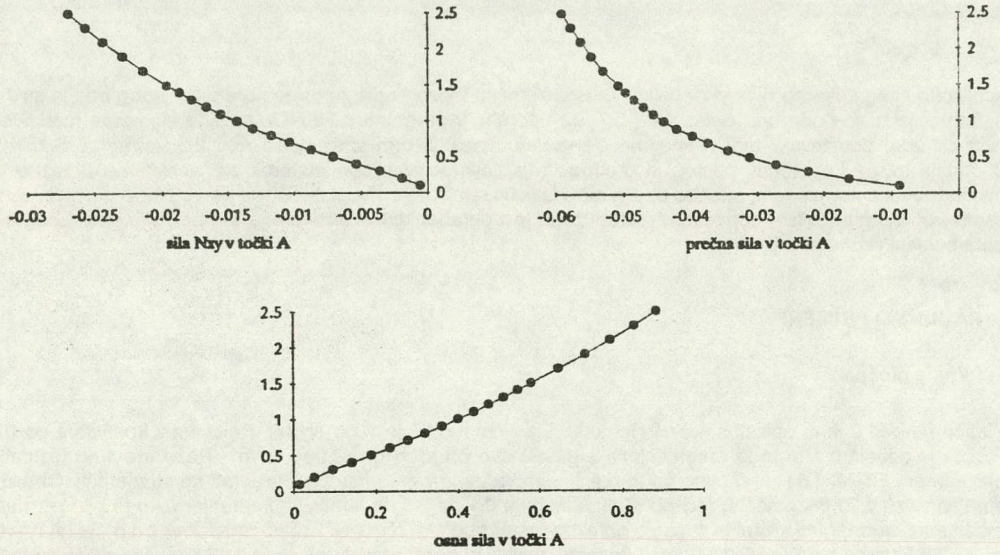
RAČUNSKI PRIMERI

Vpeta plošča

Ploščo na sliki 2 smo opisali s štirimi elementi. Elastični modul je 1000 N/m^2, Poissonov koeficient pa 0.1. Plošča je debela 0.1 m in je obremenjena s površinsko obtežbo q_0=0.084 N/m^2. Rezultate smo testirali s programom FINAS [6], ki računa po dopolnjenem Lagrangevem pristopu. Rezultati so se ujemali. Obtežbo smo nanašali v 20 inkrementih (od obtežnega faktorja 0.1 do 2.5) in končali z iteriranjem, ko je bilo razmerje med neuravnoteženimi silami in zunanjo obtežbo manjše od 1%. Največji izračunani pomik pri q_0 je bil 0.1468 m, s FINASom pa smo dobili 0.148 m. Z linearno analizo bi dobili precej več, to je 0.2822 m. Na slikah 2a in 2b so prikazani odnosi med obtežnim faktorjem ter notranjimi silami in največjim pomikom plošče. Vse enote so N in m.



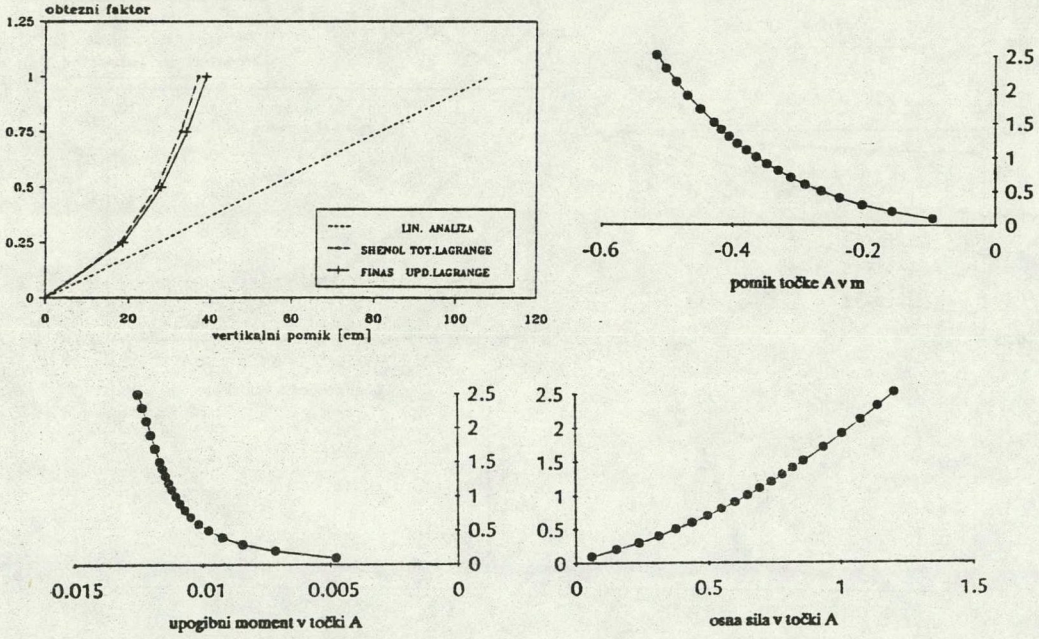
Slika 2a. Deformiranje vpete plošče ter odvisnost pomikov in notranjih sil od obtežnega faktorja.



Slika 2b. Odvisnost notranjih sil od obtežnega faktorja pri vpeti plošči.

Prostoležeča plošča

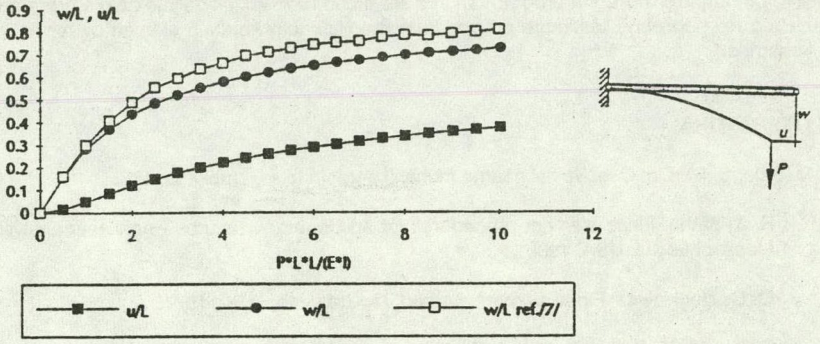
Enaka plošča, kot v prvem primeru, je na robovih podprta v navpični smeri. Največji pomik pri q_o je 0.3894 m (SHENOL), oziroma 0.3692 m (FINAS). Rezultati pomikov se zadovoljivo ujemajo. Po linearni analizi dobimo 1.083 m. Na sliki 3 je prikazano spreminjanje največjega pomika, osne sile in upogibnega momenta v odvisnosti od obtežbe.



Slika 3. Odvisnost pomikov, osne sile in upogibnega momenta od obtežnega faktorja pri prostoležeči plošči.

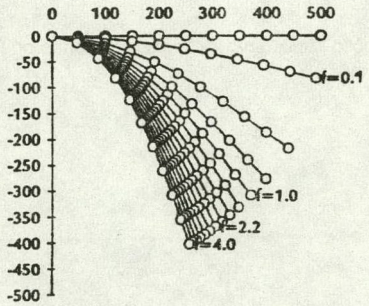
Konzola, obremenjena z navpično silo

Konzola na sliki 4 je na koncu obremenjena s koncentrirano silo, katere smer se med obremenjevanjem ne spreminja. Elastični modul materiala je 18000 N/cm^2, Poissonov koeficient je 0, dolga je 500 cm, široka 100 in debela 2.5 cm. Modelirali smo jo z desetimi 8 vozliščnimi elementi.



Slika 4. Pomik na koncu konzole v odvisnosti od obtežbe.

Silo P_0 = 47 N smo nanašali na konstrukcijo v 10 enakih inkrementih, nato pa smo jo še povečevali do njene štirikratne vrednosti ($P = 4P_0$). Ko je bilo razmerje med neuravnoteženimi silami in zunanjo obtežbo enako 0.01, smo končali z iteracijami v inkrementu. Na sliki 4 vidimo diagram pomikov vrha konzole v odvisnosti od obtežbe. Pomike smo primerjali z analitično rešitvijo iz [7]. Opazimo, da z uporabljenimi elementi dobimo bolj togo obnašanje konzole, kot pri analitični rešitvi. To si lahko razlagamo s tem, da pri računu s SHELINom upoštevamo ravninsko napetostno stanje, medtem, ko je analitična rešitev dobljena z enoosnim napetostnim stanjem. Na sliki 5 pa je prikazano deformiranje konzole v odvisnosti od obtežbe.



Slika 5. Deformiranje konzole pri naraščanju sile.

ZAKLJUČEK

V splošnem smo pri računu plošč na varni strani, če ne upoštevamo geometrijske nelinearnosti, obratno pa velja za lupine. Pri ploščah, ki se precej deformirajo, dobimo po linearni teoriji neekonomične rezultate. Račun po teoriji velikih pomikov postane pomemben pri analizi ploskovnih in lupinastih konstrukcij, ko določamo njihovo nosilnost. Pravo nosilnost lahko izračunamo, če poleg geometrijske upoštevamo tudi materialno

nelinearnost. Pri predpostavki linearno elastičnega materiala lahko določimo le nosilnost v elastičnem območju. Ta je enaka obtežbi, pri kateri v prvi točki konstrukcije napetosti presežejo mejo elastičnosti.

S programom SHENOL lahko upoštevamo velike pomike pri računu ploskovnih in lupinastih konstrukcij in tako pri analizi zajamemo vpliv geometrijske nelinearnosti. Prikazanih je nekaj enostavnih primerov, katerih rešitve primerjamo z drugim programom in z analitično rešitvijo. Nadaljnje delo s programom SHENOL se bo nanašalo na podrobno testiranje programa in modificiranih končnih elementov ter na vgraditev materialne nelinearnosti.

LITERATURA

1. M. Saje, S. Srpčič: Osnove nelinearne mehanike trdnih teles, Ljubljana, 1985.

2. K. J. Bathe: Finite element procedures for solids and structures - nonlinear analysis, MIT, Cambridge, Massachusetts, USA, 1986.

3. O. C. Zienkiewitz: Finite element method, McGraw-Hill, U. K., 1977.

4. F. Damjanić, B. Brank: Shelin, Program za elastično analizo statično obremenjenih plošč in lupin, ver. 1.21, Uporabniški priročnik, IKPIR-poročilo 5/90, Ljubljana, 1990.

5. B. Brank: Numerična analiza inženirskih lupinastih konstrukcij, magistrska naloga, FAGG, Ljubljana, november 1991.

6. T. Habič: Priročnik za program Finas, diplomska naloga, FAGG, Ljubljana, 1989.

7. H. Parish: Large displacements of shells including material nonlinearities, Computer methoda in applied mechanics and engineering 27, 1981, 183-214.

ZAHVALA

Delo, prikazano v prispevku, je omogočilo Ministrstvo za znanost in tehnologijo s finansiranjem prvega avtorja v okviru akcije "2000 novih raziskovalcev".

Boštjan Brank*, Frano Damjanić**

UPORABNOST PROGRAMA SHELIN ZA RAČUN PLOŠČ IN LUPIN

POVZETEK: Uporabnost programa SHELIN za račun plošč in lupin je prikazana z nekaterimi praktičnimi primeri. SHELIN je program za analizo statično in temperaturno obremenjenih ploskovnih in lupinastih konstrukcij, ki pri računu uporablja metodo končnih elementov. Primeri so podani v grobi obliki, kljub temu pa kažejo na uporabnost programa pri računu konstrukcij zahtevnih oblik iz različnih materialov.

APPLICABILITY OF THE SHELIN PROGRAMME FOR THE ANALYSIS OF PLATES AND SHELLS

SUMMARY: The practical applicability of the SHELIN programme is illustrated by the solution of several engineering examples. The SHELIN is a finite element based programme for the analysis of plates and shells under static and thermal loading conditions. The examples here presented show that the SHELIN can be used to analyse a large spectrum of structures, with complex shape and made of different materials.

1. UVOD

Program SHELIN [1] je namenjen elastični analizi statično in temperaturno obremenjenih plošč in lupin. Pri računu uporablja metodo končnih elementov. Konstrukcijo opiše z lupinastimi elementi [3], ki imajo štiri, osem ali devet vozlišč. Štirivozliščni elementi so ravni, osem in devetvozliščni pa znajo opisati tudi ukrivljene prostorske oblike. Lahko so obremenjeni z lastno težo, s točkovnimi silami ali z enakomerno in neenakomerno površinsko obtežbo. Program upošteva tudi obremenitve zaradi spremembe zunanje temperature in zaradi premika podpor konstrukcije. Material obravnava kot linearno elastičen. SHELIN omogoča tudi račun kompozitnih konstrukcij, na primer večslojnih plošč ali poliesterskih lupin, ojačanih s steklenimi vlakni.

Vhodni podatki za določitev geometrije plošče ali lupine so koordinate vozlišč ter povezave vozlišč v elemente. Lahko se jih dobi s programi, ki znajo generirati mreže končnih elementov. Brez teh programov si moramo pomagati s skico in izračunati koordinate posameznega vozlišča. Ker je program SHELIN preko datotek povezan s postprocesorjem FEDRAW_POST [2] (slika 1), se rezultati analize lahko predstavijo grafično. Postprocesor omogoča, da dobimo predstavo o razporedu pomikov, notranjih sil, specifičnih deformacij in napetosti po konstrukciji. Iz teh podatkov je mogoče preveriti nosilnost konstrukcije. Primeri, ki jih prikazujemo, so natančneje opisani v [3], [4] in [5] in podajajo možnosti uporabe programa SHELIN pri računu plošč in lupin različnih geometrij in iz različnih materialov. Vse slike so narisane s programom FEDRAW_POST.

Priprava vhodnih podatkov:		Račun:		Prikaz rezultatov:
geometrija, material, podpore, obtežba	->	SHELIN	->	FEDRAW_POST

Slika 1. Potek dela s programom SHELIN.

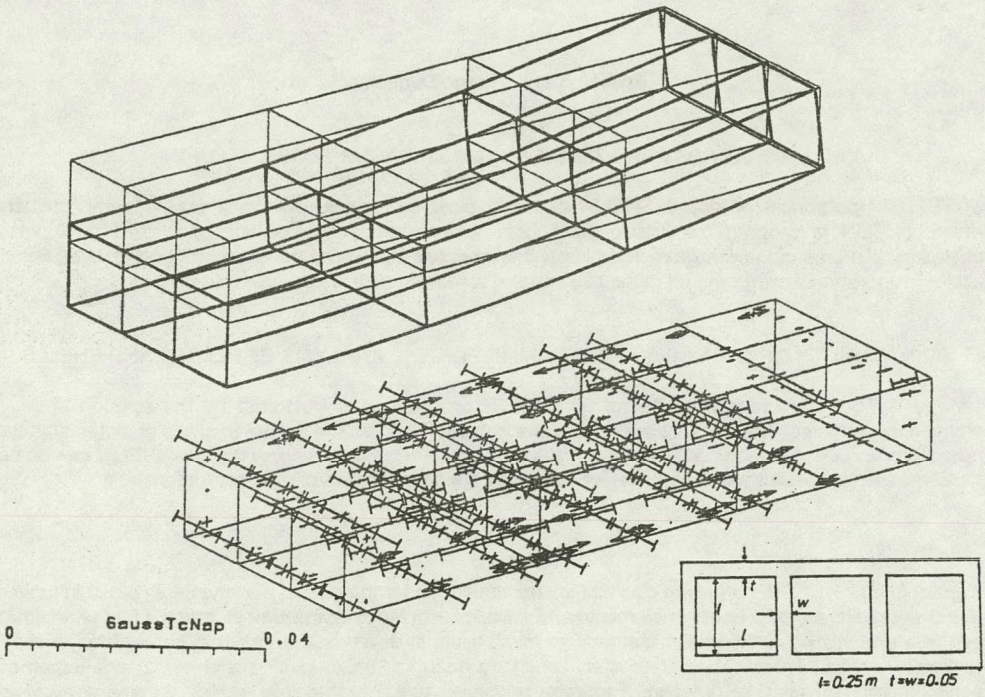
2. PRIMERI

2.1 Škatlasti betonski nosilec

Škatlasti betonski nosilec je dolg 5 m in členkasto podprt na krajiščih. Obremenjen je z enakomerno zvezno obtežbo na zgornji strani. Računali smo polovico nosilca in upoštevali simetrijo. Na sliki 2 so narisani pomiki in momenti. Pomiki so narisani z debelejšo črto in so zelo povečani. Momenti so v devetih točkah elementa prikazani s črto v smeri osi vrtenja. Dolžina črte je premosorazmerna z velikostjo momenta. Pozitivne smeri vrtenja momentov so predpostavljene. Puščica pomeni, da se moment ujema s to smerjo, črtica pa, da se ne.

---

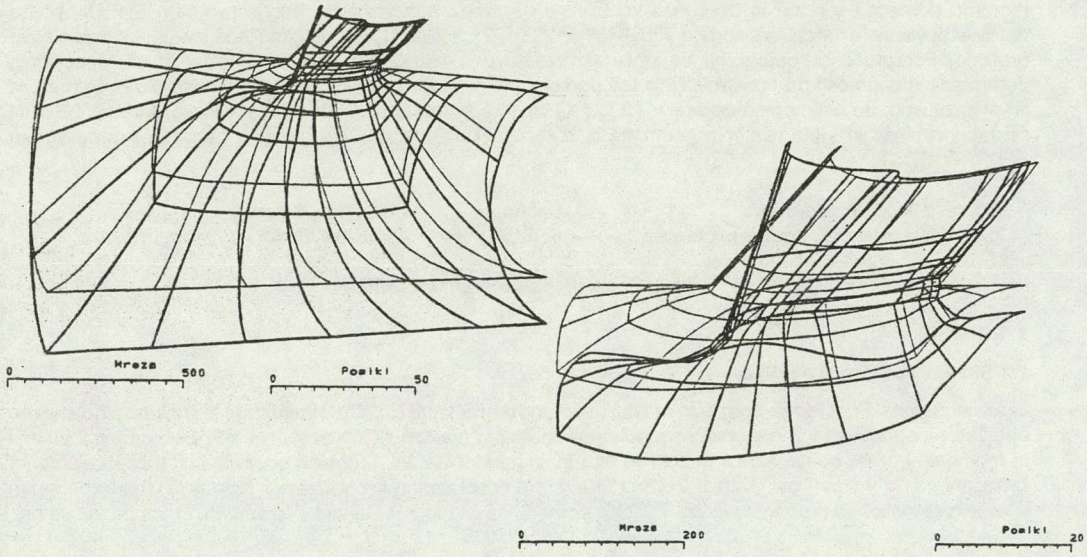
* mladi raziskovalec, IKPIR, FAGG, Jamova 2, Ljubljana
** profesor



Slika 2. Škatlasti nosilec- razpored pomikov in momentov.

2.2 Stik dveh jeklenih cevi

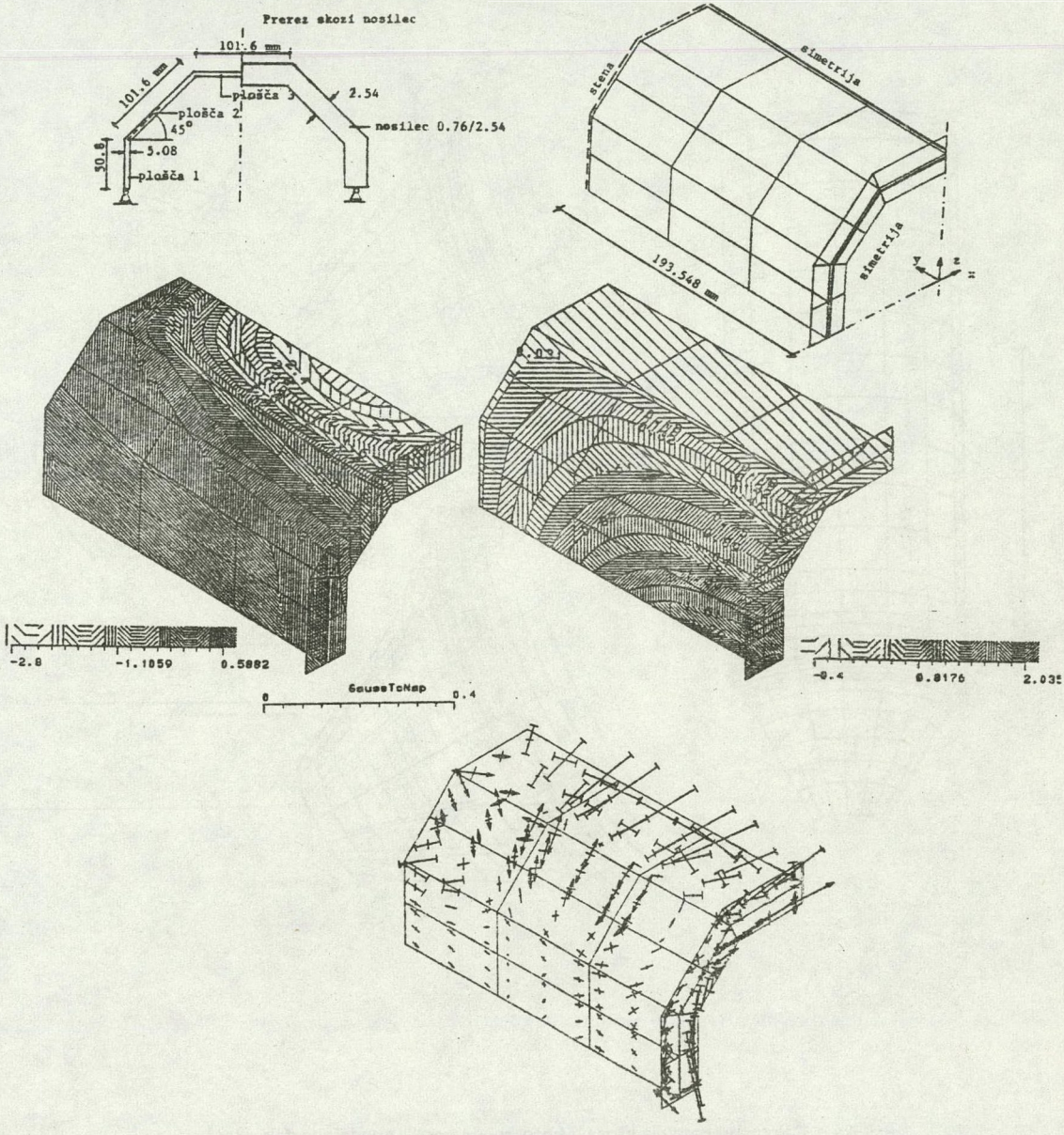
Dve jekleni cevi se stikata med seboj pod kotom 45°. Obtežba cevi je notranji pritisk. Na sliki 3 zgoraj je narisano, kako se deformirata obe cevi, spodaj pa je prikazan še detajl stika. Deformacije so zelo povečane.



Slika 3. Stik dveh cevi - pomiki.

2.3 Konstrukcija iz več plošč

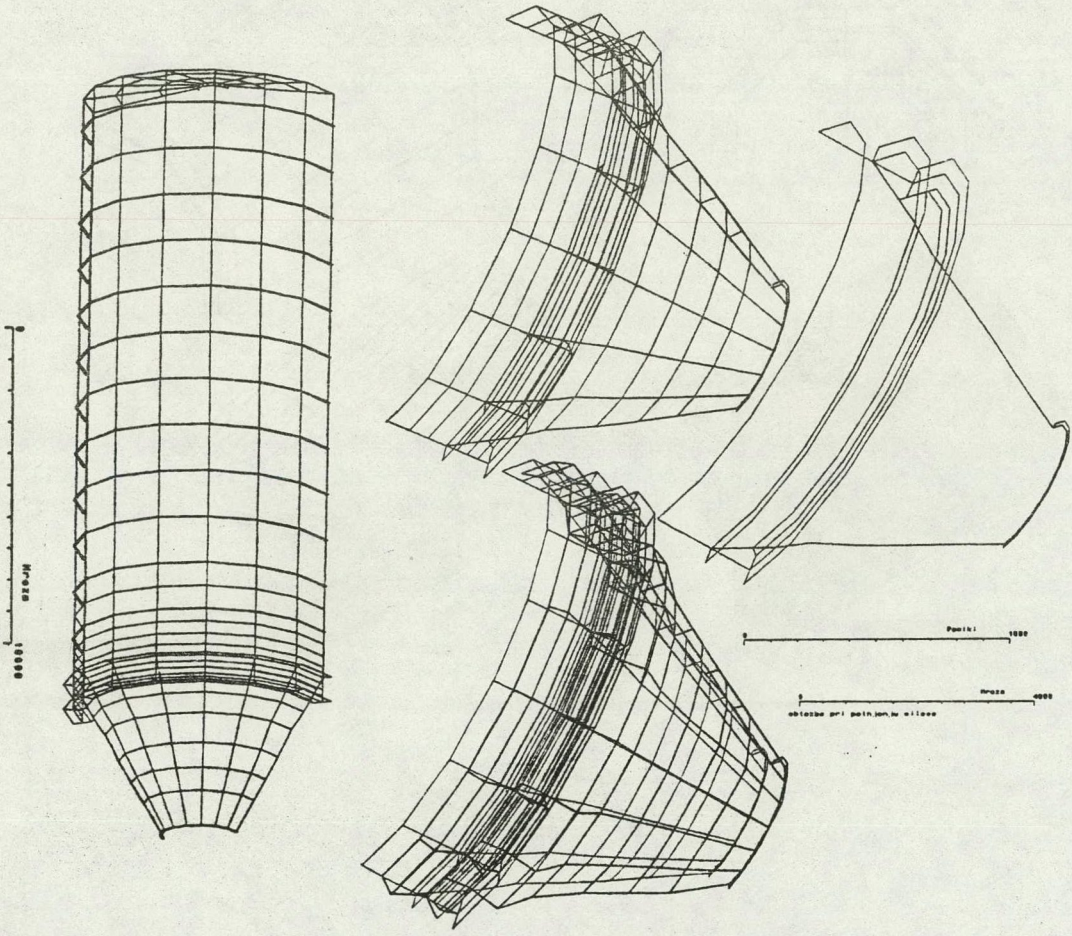
Konstrukcija je sestavljena iz posameznih plošč, ki se med seboj stikujejo pod kotom 45° (slika 4). Na sredini je ojačana z nosilcem, na robu pa je členkasto pritrjena na steno. Obtežena je z vertikalno obtežbo, ki je pri vsaki plošči drugačna. Zaradi simetrije smo računali le četrtino konstrukcije. Na sliki 4 so z izolinijami in šrafuro prikazani vertikalni in horizontalni pomiki. S črtami pa so v devetih točkah vsakega elementa prikazane napetosti na zgornjem robu. Puščica predstavlja natezno napetost, črtica pa tlačno.



Slika 4. Konstrukcija iz več plošč - pomiki in napetosti.

2.4 Jekleni silos

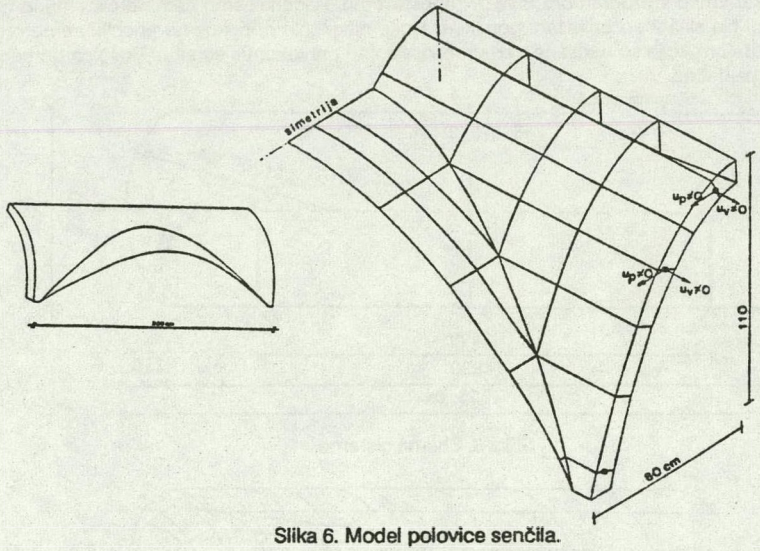
Premer silosa je 8000 mm, njegova debelina pa je od 3.5 do 5 mm. Obtežbo predstavljajo sile, ki nastajajo pri polnjenju. Polovico silosa smo modelirali s 400 štirivozliščnimi elementi. Na sliki 5 je prikazana geometrija polovice silosa ter detajl spodnjega dela, kjer je silos podprt in zaradi tega ojačan z rebri.



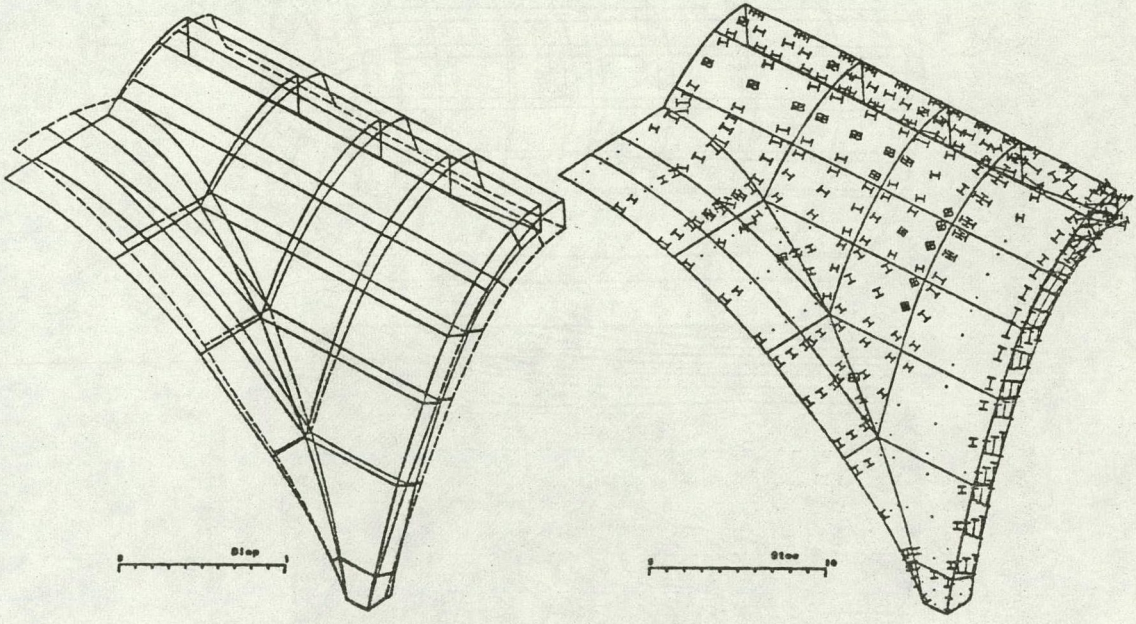
Slika 5. Celotna geometrija silosa. Mreža, rob in pomiki spodnjega dela silosa.

2.5 Steklobetonsko senčilo

Steklobetonsko senčilo razpona 3.0 m in debeline 15 mm je obteženo z lastno težo, z obtežbo vetra in s temperaturno obtežbo. Zaradi simetrije smo obravnavali polovico konstrukcije. Na slikah 6 in 7 so narisani: model senčila ter razpored pomikov in napetosti po konstrukciji.



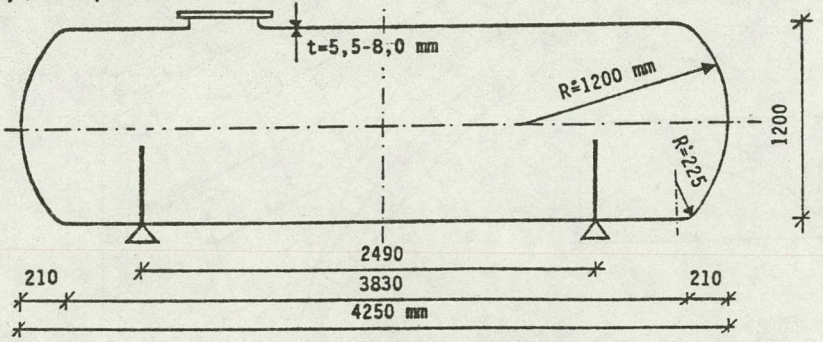
Slika 6. Model polovice senčila.



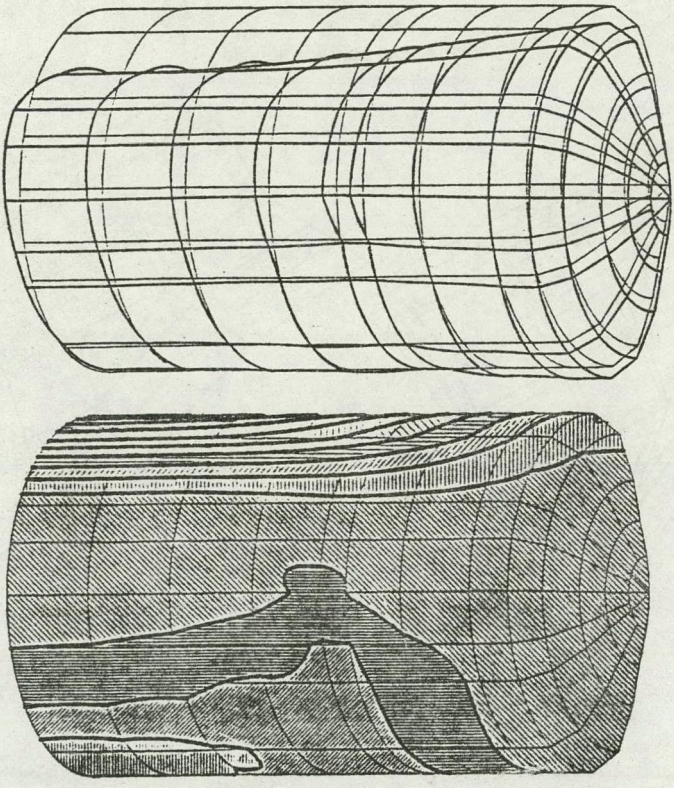
Slika 7: a) deformirana oblika pri lastni teži in pritisku vetra na zgornjo površino ter $\Delta 75^{o}C$ zgoraj, $\Delta 25^{o}C$ spodaj, b) glavne napetosti zgoraj pri lastni teži ter $\Delta 75^{o}C$ zgoraj, $\Delta 25^{o}C$ spodaj.

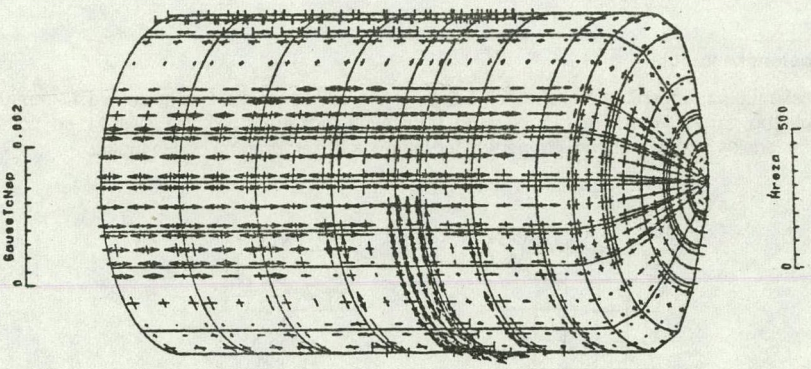
2.6 Plastična cisterna

Plastična cisterna (slika 8) je obtežena z vodo. Osnovna materiala cisterne sta poliesterska smola in steklena vlakna v obliki rovinga. Po debelini cisterne se material spreminja (v poliesterski smoli je namreč armatura iz steklenih vlaken), kar lahko s programom SHELIN upoštevamo. Računali smo četrtino cisterne in na robovih upoštevali simetrijo. Na sliki 9 so prikazani pomiki, izolinije navpičnih pomikov ter specifične deformacije na plašču. Specifične deformacije so narisane v dveh medsebojno pravokotnih smereh. Puščica pomeni natezno deformacijo, črtica pa tlačno.



Slika 8. Shema cisterne.

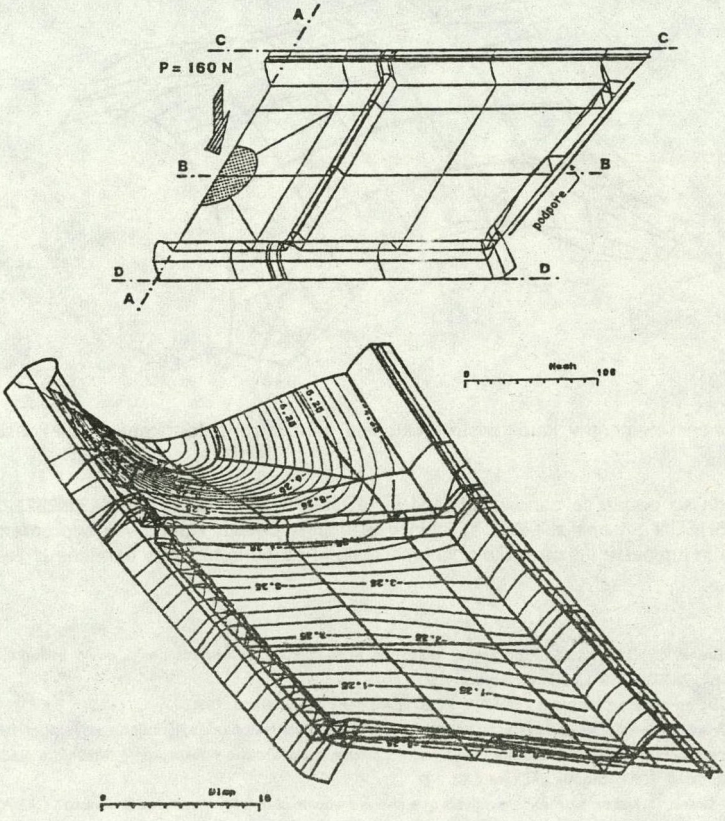




Slika 9. Obtežba vode - pomiki, izolinije navpičnih pomikov in specifične deformacije.

2.7 Plastična polica

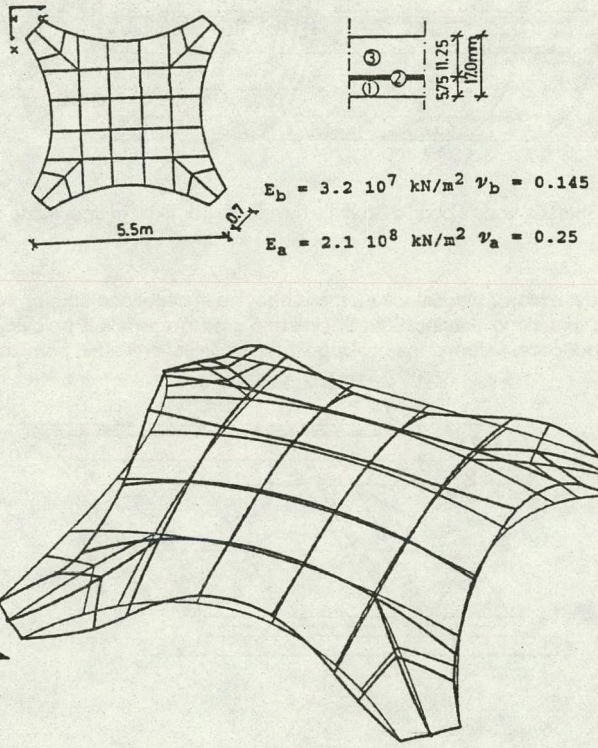
Polica je narejena iz dveh slojev woodstocka (zmes žagovine in sintetične smole), na površini pa je pokrita s plastičnim skajem ali sintetično tkanino. Zaradi simetrije smo obravnavali polovico police. Mreža končnih elementov, obtežba, podpore, deformirana oblika police in izolinije vertikalnih pomikov so na sliki 10.



Slika 10. Deformirana oblika.

2.8 Armiranobetonska kupola

Armiranobetonska lupina, tlorisnih dimenzij 5.5 x 5.5 m, je v središču visoka 1 m in debela 17 mm. Računali smo jo na obtežbo zaradi vetra. Pri računu smo upoštevali tudi armaturo. Na sliki 11 so tloris lupine, karakteristike materialov, mreža končnih elementov ter osnovna in deformirana oblika lupine.



Slika 11. Mreža končnih elementov, karakteristike materiala, osnovna in deformirana oblika konstrukcije.

3. ZAKLJUČEK

Pri prikazanih primerih so podani le osnovni podatki in rezultati. Njihov namen je, da prikažejo možnosti uporabe programa SHELIN pri analizi plošč in lupin v inženirski praksi. Vidimo, da s programom lahko računamo ploskovne in lupinaste konstrukcije poljubnih oblik in da so le-te lahko narejene iz zelo različnih materialov.

4. LITERATURA

1. F. Damjanić, B. Brank: SHELIN v.1.18, Program za elastično analizo statično obremenjenih plošč in lupin, Uporabniški priročnik - verzija 1.1, FAGG-IKPIR, Ljubljana, februar 1990.
2. A. Vitek: Uporabniški priročnik za program FEDRAW_POST, FAGG-IKPIR, Ljubljana, 1990.
3. B. Brank: Numerična analiza inženirskih lupinastih konstrukcij, FAGG, magistrska naloga, Ljubljana, november 1991.
4. B. Brank, M. Makarovič, F. B. Damjanić: Študija poliesterske cisterne, mednarodno posvetovanje "Vlaknima ojačani polimerni kompoziti", Zagreb, 26. 9. 1991, Zbornik del, strani 12: 1-6.
5. F. B. Damjanić, B. Brank, D. Nazor: Numerical analysis of a shaped plastic plate, 10. mednarodni simpozij CAD/CAM, Zagreb, 17.-19. 9. 1989. Zbornik del, strani 63-70.

Andrej VIHTELIČ*

GENERACIJA MREŽE KONČNIH ELEMENTOV S PREDPROCESORJEM INGRID

POVZETEK

Prispevek prikazuje osnovni princip uporabe in delovanja predprocesorja INGRID - tri dimenzionalnega mrežnega generatorja .

FINITE ELEMENT MESH GENERATION WITH INGRID PREPROCESSOR

SUMMARY

In the contribution the basic principle of usage and work of finite element preprocesor INGRID - three dimensional mesh generator is presented.

1. UVOD

Metoda končnih elementov je numerična metoda, ki nam nudi možnost za analizo geometrijsko zapletenih konstrukcij. Pri tovrstnih konstrukcijah praviloma nastopi veliko število vozlišč in elementov, tako da vhodno datoteko tvori ogromna množica števil. Tako datoteko lahko pripravimo ročno. Priprava podatkov bi bila naporna in dolgotrajna. Poleg tega bi obstajala verjetnost, da se pri pripravi le-teh zmotimo. Odkrivanje napake v množici števil tudi ni lahko opravilo. Zato se je elegantneje lotiti priprave vhodne datoteke z uporabo predprocesorja.

2. KAJ JE INGRID

INGRID /1/ je učinkovit paketni in interaktivni tri dimenzionalni predprocesor za generiranje mreže končnih elementov. Z njegovo pomočjo lahko pripravimo celotno vhodno datoteko za programe DYNA3D /2/, NIKE3D /3/ in TOPAZ3D /4/. Predprocesor ima vgrajene "močne" ukaze s pomočjo katerih lahko enostavno in hitro generiramo zapleteno geometrijo. Podobno generiramo robne pogoje, materialne latnosti in obtežbo. V članku se bomo omejili le na prikaz generiranja mreže končnih elementov.

* mladi raziskovalec, FAGG, IKPIR, Ljubljana, Jamova 2

Pri generaciji mreže izhajamo iz enostavne oblike. Lahko je kvader, izsek cilindra ali izsek sfere. Izbira začetne enostavne oblike pogojuje izbiro koordinatnega sistema. Ta je lahko Kartezijev, cilindrični ali sferni. Izbrano enostavno obliko podamo v koordinatnem sistemu in jo razdelimo na posamezna območja. Nadaljujemo s preoblikovanjem, dokler ne dosežemo željene oblike. To delamo postopoma z izbiro ustreznih funkcij predprocesorja. Te delujeo na izbranih območjih. Ko dosežemo željeno obliko lahko le-ta predstavlja naš model ali pa le del modela. Ko določimo vse dele iz katerih je sestavljen naš model jih z ustreznimi ukazi združimo v celoto. Gostoto mreže znotraj vsakega območja kotroliramo s tremi parametri. Spreminjamo jih lahko brez vpliva na spremembo geometrije, robne pogoje, materialne lastnosti in obtežbe.

Zaradi lažjega opisa delovanja INGRIDa vpeljimo nekaj definicij:

Indeksni prostor - je abstrakten koordinatni sistem s celoštevilčnimi vrednostmi večjimi od ena ali enakimi ena v vsaki od treh smeri. Abstraktne koordinate osi so označene z I, J in K, ter koordinate z i,j,k. Vsaka točka indeksnega prostora (i,j,k) predstavlja vozliščno točko. Elemente tvori prostor med bližnjimi vozlišči indeksnega prostora.

Območje - predstavlja z dvema točkama indeksnega prostora omejen blok vozlišč.

Del - je poljubna skupina območij, ki tvorijo celoto, tako da je lahko definirana v enem indeksnem prostoru.

Model - predstavlja celotno našo konstrukcijo. Sestavljen je iz enega ali več delov. Posamezne dele združimo z odstranjevanjem skupnih vozlišč.

3. PRIPRAVA PODATKOV

Za paketno obdelavo pripravimo vhodno datoteko. Ta omogoča uporabo komentarjev in ima neformatni vnos. Vendar se moramo pri pripravi podatkov držati spodaj opisanega vrstnega reda.

V prvo vrstico vhodne datoteke zapišemo *naslov primera*, sledijo

globalni kontrolni ukazi. S pomočjo teh definiramo obliko izhodne datoteke, si vnaprej pripravimo pomožne linije, ploskve in volumne, katere bomo kasneje uporabljali kot parametre funkcij, itd. Ti ukazi so neobvezni. Sledi jim definicija dela konstrukcije, ki se začne z ukazom

START

Nadaljujemo z *indeksi* za I-to smer, podpičje (;), indeksi za J-to smer, podpičje (;), ter indeksi za K-to smer, ki se končajo s podpičjem (;). Nato podanim indeksom

priredimo *koordinate*, ki jih navajamo ločene s presledki, najprej za I-to nato pa še za J-to in K-to smer. Sledijo

kontrolni ukazi za posamezni del. Tem sledijo

funkcije. Vse funkcije se začno s ključno besedo, kateri sledi indeksni opis ter ostali parametri. Indeksni opis določa omejeno območje vozlišč indeksnega prostora nad katerim bo delovala funkcija. S pomočjo funkcij postopoma preoblikujemo obravnavani del do željene oblike, določamo robne pogoje in obtežbo. Definicijo posameznega dela konstrukcije zaključimo z besedo

END

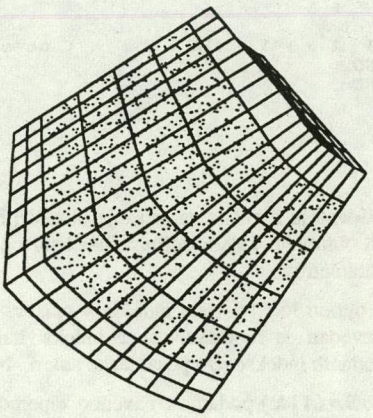
Zgoraj omenjeno definicijo dela konstrukcije pomovimo za dele, ki tvorijo naš model ter zaključimo datoteko z ukazom

END

4. PRIMER

Zaradi lažjega razumevanja principa delovanja si bomo pripravo vhodne datoteke ogledali na primeru. Konstruirali bomo opornik, ki ga prikazuje slika 10. Naloge se bomo lotili postopoma, tako da bomo lahko videli učinek posameznih ukazov. Na levi strani bo vhodna datoteka, na desni pa je prikazan rezultat. Tega dobimo na zaslonu, če koordinatni sistem zasukamo: os x za 160, os y za 20 in os z za -30 stopinj.

```
OPORNIK
C v prvi vrstici je naslov primera
C zacetek komentarja oznacuje znak C

START
C start označuje začetek podajanja
C posameznega dela modela

C podajanje indeksov
1 2 6 7 8 ;      C za I-to smer
1 3 5 6 8 10 ;   C za J-to smer
1 3 4 6 7 9 ;    C za K-to smer

C prirejanje koordinat
C zgoraj podanim indeksom
4.25 5 10 10.5 11
0 8 13.5 16.5 22 30
0 2 3 5 6 8

CYLI    C cilindrične koordinate
END     C konec dela modela
END     C zakljucek
```



slika 1

Zgornjo vhodno datoteko smo opremili s komentarji, ki nam bodo omogočili lažjo razlago načina izbire indeksov ter prirejanje koordinat tem indeksom. Kot vidimo v vhodni datoteki smo z ukazom CYLI izbrali cilindrično podajanje koordinat, kjer nam smeri I, J, K pomenijo osi cilindričnega koordinatnega sistema r, ϕ, z.

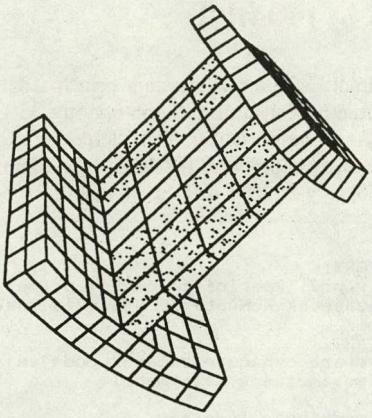
Indekse za posamezno smer moramo podati v naraščajočem vrstnem redu, s tem da prvi indeks običajno vedno podamo 1. Prvi in zadnji indeksi posameznih smeri določajo meje indeksnega prostora v katerem bomo definirali naš del modela. Kot smo že omenili pri definiciji indeksnega prostora, nam vsaka točka le-tega predstavlja vozlišče.

Če si pogledamo I-to smer (koordinata r), vidimo, da je prvi indeks 1 ter zadnji 8. S tem smo v našem primeru določili 8-1= 7 elementov . Vidimo, da z izbiro vrednosti prvega in zadnjega indeksa določimo število vozlišč in elementov v posamezni smeri. Velikost dela modela pa določijo njima prirejene koordinate. Med dvema podanima indeksoma se lega vmesnih vozlišč linearno interpolira. V primeru, ko bi bila podana le prvi in zadnji indeks v določeni smeri, bi dobili v tej smeri vozlišča z enakim razmikom. Če tega nočemo, moramo podati še številko vmesnega indeksa in njemu prirediti željeno koordinato. Po potrebi moramo definirati vmesne indekse tudi zato, da lahko določimo blok vozlišč indeksnega prostora nad katerim bodo delovale funkcije.

Slika 1 nam torej predstavlja model z narisanimi koordinatnimi osmi abstraktnega koordinatnega sistema.

Zaradi razbremenitve pogleda na vhodno datoteko bomo odstranili stare komentarje. Novi komentarji omogočajo lažje razumevanje naslednjega koraka. Datoteko bomo zapisali v nekoliko spremenjeni obliki. Edino bistveno spremembo predstavlja nova funkcija, ki je v vhodni datoteki označena s komentarjem.

```
OPORNIK
START
C Ta komentar je namenjen lažjemu
določanju
C zaporednih številk podanih  indeksov
C bere se po stolpcih
C ---------------------------------
C 1.  2.  3.  4.  5.  6.
C---------------------------------
   1   2   6   7   8 ;        C <- I
   1   3   5   6   8   10 ;   C <- J
   1   3   4   6   7    9  ;  C <- K
4.25 5 10 10.5 11 0 8 13.5 16.5 22 30 0 2
3 5 6 8
CYLI
DI  2 3 ; 1 3 0 4 6 ; ;     C nova funkcija
END
END
```



slika 2

Dodana je funkcija za brisanje območij s ključno besedo DI (Delete Index progression). Deluje na območjih katere definira indeksni opis, ki se imenuje naraščanje indeksov. Funkcija nima parametrov.

Program loči tri vrste *indeksnih opisov*. Imenujemo jih točka, območje in naraščanje indeksov. Zavedati se moramo, da se indeksi indeksnega opisa vedno nanašajo na zaporedne številke podanih indeksov za posamezne smeri. Navedene indeksne opise podamo na sledeč način:

Točko (i j k) podamo z navedbo zaporedne številke podanega indeksa iz vhodne datoteke ločeno za vsako smer. Zaporedne številke naraščajo od 1 naprej v vsaki smeri. Če namesto zaporedne številke navedemo 0, pomeni to, da so v tej smeri mišljeni vsi indeksi.

Območje (i_z j_z k_z i_k j_k k_k) podamo z začetno in končno točko, ki omejuje območje. Izjema je vrednost nič, ki v začetni točki pomeni najmanjši in v končni točki največji indeks v določeni smeri.

Naraščanje indeksov (i_1 i_2 ... i_l ; j_1 j_2 ... j_m ; k_1 k_2 ... k_n) se uporablja za definiranje večjega števila območij po pravilih naraščanja indeksov. Podamo ga z nizom zaporednih številk podanih indeksov , ki ga zaključimo z podpičjem (;). Niz podamo za vsako smer. Posebnost predstavljajo: negativno zaporedno število, ki pomeni, da je indeks konstanten v ravnini, 0, ki pomeni prekinitev ter prazen niz, ki predstavlja vse vredosti.

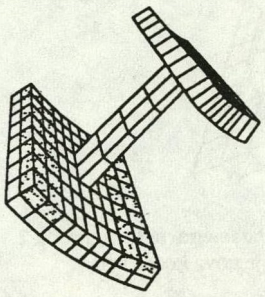
	i_z	j_z	k_z	i_k	j_k	k_k
1. območje:						
zaporedna številka	2	1	0	3	3	0
indeks abstr.k.s.	**2**	**1**	**vsi**	**6**	**5**	**vsi**
2. območje:						
zaporedna številka	2	4	0	3	6	0
indeks abstr.k.s.	**2**	**6**	**vsi**	**6**	**10**	**vsi**

Tabela 1

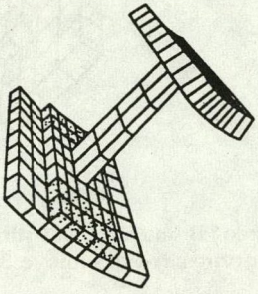
Z upoštevanjem gornjih definicij najprej razdelimo indeksni opis funkcije DI na območja, ki jih predstavlja. Dobimo dve območji. Prvo bi zapisali s števili 2 1 0 3 3 0, ter drugo 2 4 0 3 6 0. V vsakem od navedenih območij pripadajo prva tri števila začetni in zadnja tri števila končni točki meje območja. Ker vemo, da ta števila pomenijo zaporedno številko podanega indeksa za določeno smer, si ogledamo vhodno datoteko in si območje zapišemo z vrednostmi indeksov abstraktnega koordinatnega sistema, ki ga ta predstavlja.

Tabela 1 pomeni, da je 1. območje definirano od 2. do 6. koordinatne črte koordinate i abstraktnega koordinatnega sistema, od 1. do 5. koordinatne črte koordinate j in obsega vse k-te koordinate. Identično velja za 2. območje. Obe območji sta označeni s šrafuro na sliki 1, rezultat funkcije DI pa je viden na sliki 2.

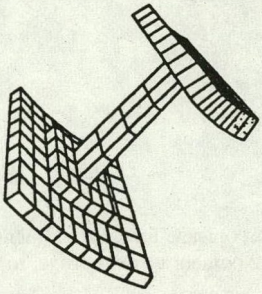
Ker bomo pri nadaljni modifikaciji modela še nekajkrat uporabili isti ukaz za brisanje z drugačnim naraščanjem indeksov, bomo prikazali učinek posameznega ukaza, ki so navedeni v naslednji vhodni datoteki le z zaporedjem slik. Poudarimo, da šrafirano območje v sliki ni rezultat, ki bi ga dobili na zaslonu. Šrafuro uporabljamo le kot pripomoček, ki označuje območja nad katerimi bomo v naslednjih korakih uporabili izbrano funkcijo.



slika 3

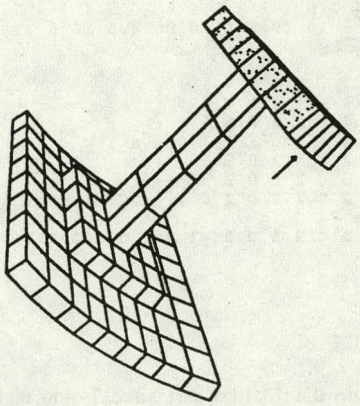


slika 4



slika 5

```
OPORNIK
START
1 2 6 7 8 ; 1 3 5 6 8 10 ; 1 3 4 6 7 9 ;
4.25 5 10 10.5 11 0 8 13.5 16.5 22 30 0 2
3 5 6 8
CYLI
DI 2 3 ; 1 3 0 4 6 ; ;
C nove funkcije
DI 2 3 ; ; 1 3 0 4 6 ;     C na sliki 3
DI 3 4 ; 1 2 0 5 6 ; ;     C na sliki 4
DI 3 4 ; 2 5 ; 1 2 0 5 6; C na sliki 5
DI 1 2 ; 1 2 0 5 6 ; ;     C na sliki 6
END
END
```



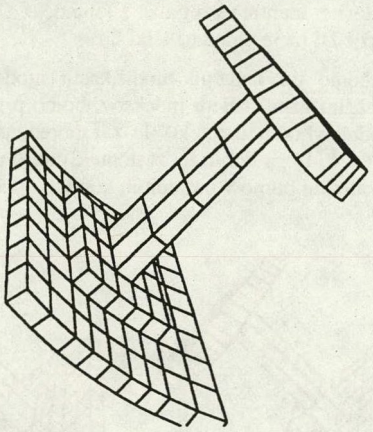
slika 6

Zadnja na novo dodana funkcija v gornji vhodni datoteki povzroči ožanje glave opornika za dva elementa na levi in desni strani. Rezultat ukaza vidimo z podrobnim primerjanjem slike 5 in slike 6.

V naslednjem koraku bomo uporabili funkcijo za premikanje točk. Točke, katere definira indeksni opis funkcije, bomo premaknili v izbrani smeri na določeno koordinato. Smer in koordinata sta parametra funkcije. Velja opomniti, da z indeksnim opisom lahko definiramo samo območja med v vhodni datoteki podanimi indeksi. Premaknemo le koordinate podanih indeksov, koordinate nepodanih indeksov pa se določijo z linearno interpolacijo.

V sliki 6 smo s puščico označili definiranemu območju najbližji indeks s podano koordinato. S tem smo označili območje poteka interpolacije.

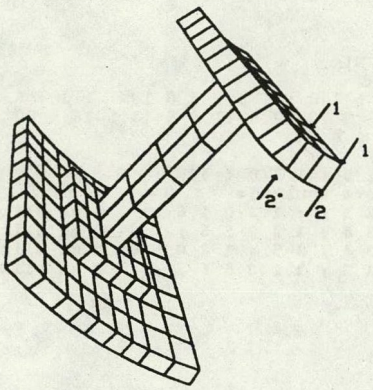
```
OPORNIK
START
1 2 6 7 8 ; 1 3 5 6 8 10 ; 1 3 4 6 7 9 ;
4.25 5 10 10.5 11 0 8 13.5 16.5 22 30 0 2
3 5 6 8
CYLI
DI 2 3 ; 1 3 0 4 6 ; ;
DI 2 3 ; ; 1 3 0 4 6 ;
DI 3 4 ; 1 2 0 5 6 ; ;
DI 3 4 ; 2 5 ; 1 2 0 5 6 ;
DI 1 2 ; 1 2 0 5 6 ; ;
PB 1 5 0 2 5 0 2 30
END
END
```



slika 7

Rezultat opisane funkcije s ključno besedo PB smo prikazali v sliki 7. Parametra te funkcije sta 2 in 30. 2 pomeni v smeri druge, to je J-te oziroma r-te koordinate, 30 pa je nova koordinata r.

```
OPORNIK
START
1 2 6 7 8 ; 1 3 5 6 8 10 ; 1 3 4 6 7 9 ;
4.25 5 10 10.5 11 0 8 13.5 16.5 22 30 0 2
3 5 6 8
CYLI
DI 2 3 ; 1 3 0 4 6 ; ;
DI 2 3 ; ; 1 3 0 4 6 ;
DI 3 4 ; 1 2 0 5 6 ; ;
DI 3 4 ; 2 5 ; 1 2 0 5 6 ;
DI 1 2 ; 1 2 0 5 6 ; ;
PB 1 5 0 2 5 0 2 30
PB 1 2 0 2 2 0 2 0        C simetrično kot
slika 7
MB 2 3 0 2 3 0 2 -1.3 + J 1 2 1.3
END
END
```



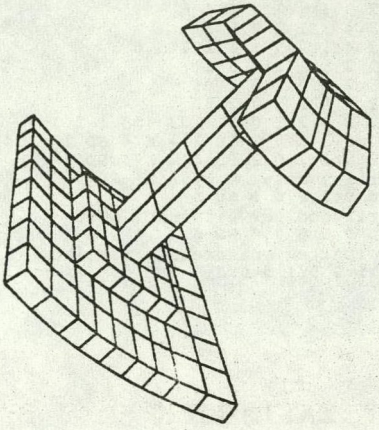
slika 8

Da smo dobili sliko 8 iz slike 7 smo naredili dva koraka. V prvem smo uporabilii zgoraj že opisano funkcijo za premikanje točk PB. S tem smo razširili dve vrsti elementov na desni strani glave opornika. V drugem koraku pa smo spremenili obliko stebra opornika. Uporabili smo funkcijo za premikanje točk s ključno besedo MB. Ta deluje tako kot funkcija PB, le da namesto nove absolutne koordinate podajamo prirastek koordinate. Novost v zgornjem opisu predstavlja dodatek (+J 1 2 1.3). Ta pomeni, da funkcija deluje tudi na območju, ki ga določa indeksni opis

funkcije v J-ti smeri povečan za 1. Za to območje veljajo novi parametri, katere predstavljajo zadnji dve števili (2 in 1.3).

INGRID nam omogoča tudi modifikacijo ploskev modela. To bomo naredili v naslednjem koraku. V ta namen najprej definiramo pomožne ploskve. Uporabimo ukaz SD (Surface Definition). Pomožne ploskve poimenujemo z zaporednimi številkami, sledi ukaz, ki določa obliko ploskve, ter parametri, s katerimi definiramo ploskev. Tako ploskev v obliki plašča stožca določimo z ukazom CONE (conical surface), nato s tremi parametri navedemo točko skozi katero poteka os stožca. Naslednji trije parametri določajo vektor, ki je paralelen osi stožca. Zadnja dva parametra pa določata radij stožca v podani točki, ter kot stožca relativno na os. Ukaz SD spada v skupino globalnih kontrolnih ukazov, zato ga moramo v vhodni datoteki navesti pred ukazom START.

```
OPORNIK
C Definicija pomožnih ploskev
SD 1 CONE 0 0 0 0 0 1.0 35.311
SD 2 CONE 0 0 0 0 0 1 5.667 -35.311
SD 3 CONE 0 0 0 0 0 1 .75 35.311
SD 4 CONE 0 0 0 0 0 1 6.417 -35.311
START
1 2 6 7 8 ; 1 3 5 6 8 10 ; 1 3 4 6 7 9 ;
4.25 5 10 10.5 11 0 8 13.5 16.5 22 30 0 2
3 5 6 8
CYLI
DI 2 3 ; 1 3 0 4 6 ; ;
DI 2 3 ; ; 1 3 0 4 6 ;
DI 3 4 ; 1 2 0 5 6 ; ;
DI 3 4 ; 2 5 ; 1 2 0 5 6 ;
DI 1 2 ; 1 2 0 5 6 ; ;
PB 1 5 0 2 5 0 2 30
PB 1 2 0 2 2 0 2 0
MB 2 3 0 2 3 0 2 -1.3 + J 1 2 1.3
C novi ukazi
C zgoraj definirane ploskve uporabimo
C kot paremetre funkcij SF
SF 1 0 1 1 0 2 SD 2 + K 4 SD 1
SF 2 0 1 2 0 2 SD 4 + K 4 SD 3
END
END
```

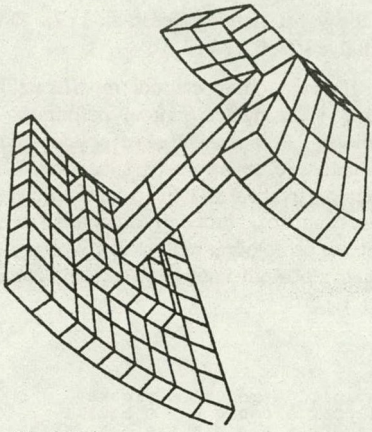


slika 9

Z ukazom SF spremenimo lego vozlišč navedenih v območju, tako da se premaknejo do najbližje točke ploskve, ki jo navedemo kot parameter. Opcijski zapis (+K 4 SD 1) že poznamo. Pomeni, da funkcija deluje tudi na območju, ki ga določa podano območje funkcije z za 4 povečanim indeksom v k-ti smeri. Parameter na tem območju pa je SD 1, ki določa v tretji vrstici vhodne datotekle definirano ploskev. Da smo dobili sliko 9, smo ukaz SF uporabili dvakrat. S prvim modificiramo zgornjo ploskev glave, z drugim pa spodnjo.

Za končno obliko opornika, ki ga prikazuje slika 10, definiramo še dve pomožni ravnini in še dvakrat uporabimo ukaz za modifikacijo ploskev. S tem smo raztegnili glavo opornika do podane ravnine. Dodali smo še dva nova ukaza. Prvi DN3D "prisili" INGRID da izdela izhodno datoteko v obliki, ki jo za vhod potrebuje program DYNA3D /2/. V sliki 10 se učinek tega ukaza ne pozna. Vidimo pa učinek drugega ukaza, s katerim smo zahtevali enak razmak vozlišč zgornjega roba glave opornika v J-ti oziroma ϕ-ti smeri. Funkcija se imenuje CPL (Center Point along Line) in za parameter zahteva oznako smeri v kateri želimo enakomerne razmake.

```
OPORNIK
DN3D        C določitev oblike izhodne
datoteke
SD 1 CONE 0 0 0 0 0 1 0 35.311
SD 2 CONE 0 0 0 0 0 1 5.667 -35.311
SD 3 CONE 0 0 0 0 0 1 .75 35.311
SD 4 CONE 0 0 0 0 0 1 6.417 -35.311
C ravina skozi točko 0,0,0 in normalo v z
smeri
SD 5 PLAN 0 0 0 0 0 1
C ravina skozi točko 0,0,8 in normalo v z
smeri
SD 6 PLAN 0 0 8 0 0 1
START
1 2 6 7 8 ; 1 3 5 6 8 10 ; 1 3 4 6 7 9 ;
4.25 5 10 10.5 11 0 8 13.5 16.5 22 30 0 2
3 5 6 8
CYLI
DI 2 3 ; 1 3 0 4 6 ; ;
DI 2 3 ; ; 1 3 0 4 6 ;
DI 3 4 ; 1 2 0 5 6 ; ;
DI 3 4 ; 2 5 ; 1 2 0 5 6 ;
DI 1 2 ; 1 2 0 5 6 ; ;
PB 1 2 0 2 2 0 2 0
PB 1 5 0 2 5 0 2 30
MB 2 3 0 2 3 0 2 -1.3 + J 1 2 1.3
SF 1 0 1 1 0 2 SD 2 + K 4 SD 1
SF 2 0 1 2 0 2 SD 4 + K 4 SD 3
C prilagoditev k ravnini SD 5
SF 0 0 1 0 0 1 SD 5
C prilagoditev k ravnini SD 6
SF 0 0 6 0 0 6 SD 6
C določitev enakomernih razmikov
CPL 1 2 0 1 5 0 J
END
END
```



slika 10

5. ZAKLJUČEK

V članku smo prikazali osnovne principe delovanja tri dimenzionalnega mrežnega generatorja INGRID in na primeru razložili delovanje le nekaterih izmed množice vgrajenih funkcij. Za uspešno generiranje mreže končnih elementov s predprocesorjem INGRID moramo dobro poznati vgrajene funkcije in model smiselno razdeliti na posamezne dele. Težave pa vseeno nastopijo, če posameznih ploskev modela ne moremo opisati z matematičnimi funkcijami.

Drugačen in za uporabnike enostavnejši način generiranja mreže končnih elementov pa je opisan v /5/. Tu je postopek generacije mreže avtomatski. Izberemo namreč le obliko končnega elementa in podamo plašč modela.

ZAHVALA

Prispevek je omogočilo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije, ki finansira delo v okviru akcije "2000 mladih raziskovalcev". Delo je pod vodstvom prof. dr. Frano Damjanića vključeno v raziskovalni projekt "Numerična analiza konstrukcij in industrijskih procesov" na FAGG, oddelek za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR.

LITERATURA

/1/ D.W. Stillman, and J.O. Hallquist, **"INGRID: A three-dimensional mesh generator for modeling nonlinear systems"**, Univesity of California, Lvrence Livermore National Laboratory, Rept. UCID - 20506, Rev. 1 (1985).

/2/ Hallquist, J.O., **"DYNA3D USER'S MANUAL (Nonlinear Dynamic Analysis of solids in Three Dimensions)"**, Univesity of California, Lvrence Livermore National Laboratory, Rept. UCID - 19592, Rev. 1 (1984).

/3/ Hallquist, J.O., **"NIKE3D: An implicit, finite-deformation, finite element code for analyzing the static and dinamic response of three-dimensional solids"**, Univesity of California, Lvrence Livermore National Laboratory, Rept. UCID - 18822, Rev. 1 (1984).

/4/ Shapiro, A.B., **"TOPAZ3D - A three-dimensional finite element heat transfer code"**, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, Rept. UCID-20484 (1985).

/5/ Javier Bonet, and Jaime Peraire, **"An alternating digital tree (ADT) algorithm for 3D geometric searching and intersection problems"**, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 31, No. 1, pp. 1-17 (1991).

Boris Lutar

PRERAČUN STAVB S PROGRAMOM ELAST IN RAZVOJ PROGRAMA

Izvleček:

V članku je podan opis računalniškega programa ELAST, ki omogoča preračun stavb obremenjenih s statično in dinamično obtežbo. Opisane so teoretične osnove na katerih sloni program in prikazani so elementi knjižnice programa. V strnjeni obliki je opisana podatkovna baza in njen upravljalski jezik, grafični modelirnik in možnost kombinirane uporabe alfanumeričnega predprocesorja in grafičnega modelirnika. Navedeni so cilji razvoja programa za povečanje njegove učinkovitosti in uporabnosti.

BUILDINGS ANALYSIS BY THE COMPUTER PROGRAM ELAST AND ITS DEVELOPMENT

Summary:

The paper gives a description of a computer program ELAST for linear static and dynamic analysis of buildings. The theory underlaying the program is given together with the library elements of the program. The Database manipulation language, the graphical modeler, and the possible combined use of the alfanumerical preprocessor and the graphical modeler are briefly descriebed. Included is the description of our objectives as regards the improvement of the efficiency and applicability of the developed program.

1.0 Uvod

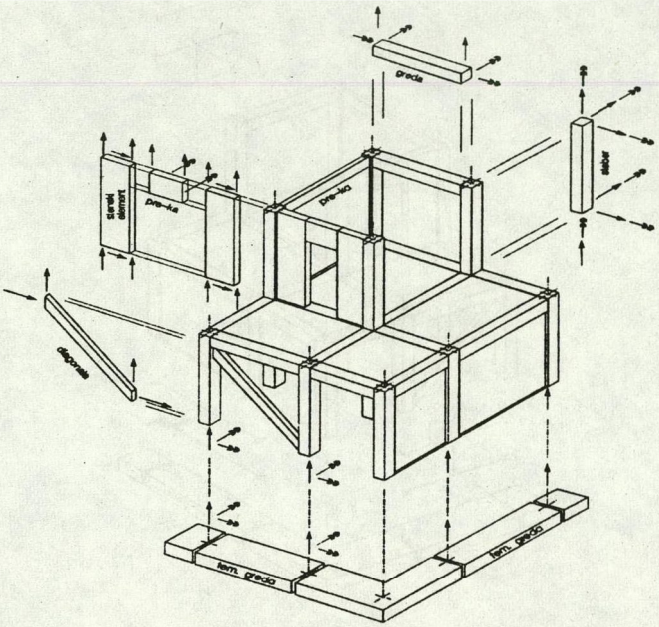
Objekte v visokogradnji, ko si obremenjeni s horizontalno statično in dinamično obtežbo, računamo po metodah z zvezno in diskretno računsko shemo. Prve so primerne za objekte, ki se tlorisno in etažno ne spreminjajo in je moč njihove odzive na vzbujanja opisati z zveznimi funkcijami. Druge so splošnejše, zahtevajo pa več računskega dela. Pri obeh skupinah uvedemo zaradi ekonomičnosti preračunov poenostavitve, ki zmanjšajo obseg računskega dela, ne vplivajo pa bistveno na rezultate. Program ELAST sodi med metode z diskretno računsko shemo. Omogoča prostorsko analizo stavb ob upoštevanju standardnih predpostavk metode nadomestnih okvirov, pseudo-tridimenzionalnega modela preračuna stavb, metode končnih elementov in metode podkonstrukcij. Podrobnejši opis teoretičnih osnov in izpeljave togostnih matrik elementov (gradnikov) so podane v [1].

V okviru dinamične analize je mogoč preračun stavb po metodi s spektrom odziva in sicer po predpisih ali za podan spekter. V okviru statične analize je mogoče upoštevati horizontalno statično obtežbo (veter), lastno težo elementov (gradnikov), temperaturno obtežbo in vertikalno obtežbo gred, prečk in temeljnih gred. Možne obremenitve gred in prečk so prikazane na sliki 2. Knjižnica elementov programa (slika 1), ki jih imenujemo gradnike (z njimi 'gradimo' računski model), vsebuje tudi gredo na elastični podlagi. Z njo lahko opišemo temeljno konstrukcijo oziroma točkovne, pasovne in branaste temelje. Vertikalno obtežbo na stenske gradnike (stene) ne moremo prenašati direktno ampak preko prečk, ki leže nad njimi. Gradnike lahko poljubno stikujemo, pri tem pa moramo upoštevati smiselnost medsebojnih povezav. Trenutna verzija programa tega še ne preverja, v razvoju pa nameravamo to kontrolo vključiti v program. Računamo lahko stenaste, skeletne ali stenasto-skeletne stavbe.

---

doc. dr. Boris Lutar, Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta, OE Gradbeništvo

Omejitev pri okvirnih konstrukcijah je trenutno ta, da morajo stebri biti vertikalni (vzporedni z osjo - z- stavbe). Kljub omejitvam lahko preračunamo večino stavb. Stavbo moramo razdeliti le na primerno število makroelementov ali podkonstrukcij. Okvirne konstrukcije lahko direktno opišemo in v računu zajamemo tudi njihovo vertikalno obremenitev. Z možnostjo kombinacij obtežnih primerov lahko za gradnike izračunamo potrebne statične količine. Program tako tudi pri zahtevnejših konstrukcijah, ki jih moramo preračunati natančneje, nudi grobo presojo ob razmeroma majhnem vloženem delu za opis računskega modela.

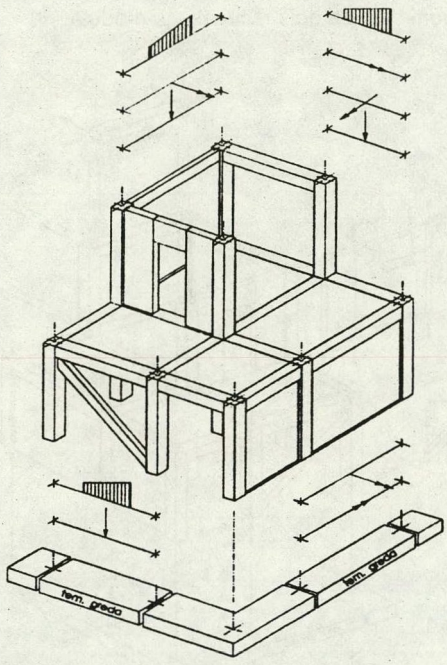


Slika 1: Gradniki in elementi topološkega opisa programa ELAST

2.0 Podkonstrukcija in gradniki

Gradniki programa so končni elementi, ki imajo v vozliščih prostostne stopnje. Med njimi se nekatere zaradi uvedenih poenostavitev izražajo kot linearna kombinacija translatornih pomikov etaž in njihovih rotacij. Zaradi posebnosti računskih modelov stavb so običajni elementi topološkega opisa v metodi končnih elementov (številke elementov in vozlišč) nadomeščeni s pojmi niz, etažna pripadnost in polje. Primarnega pomena so osi in etažna pripadnost. Steber pripada etaži, nanaša se na os, v vertikalni smeri pa tvori niz. Podobno velja za preostale gradnike. Tako uporabnik praktično ne zazna lokalnih koordinatnih sistemov elementov, ker jih program lahko definira iz podanih elementov topološkega opisa sam. Na sliki 1 smo prikazali na primeru idealizirane zgradbe gradnike in elemente topološkega opisa stavbe. Ker je uporabljena metoda podkonstrukcij, lahko togostno enake dele zgradbe generiramo, z razdelitvijo zgradbe na podkonstrukcije pa je omogočen preračun velikih konstrukcij. Med pomanjkljivostmi trenutne verzije programa smo omenili, da morajo biti vsi stebri vertikalni. Iz navedenega sledi, da je to

omejitev mogoče brez težav odpraviti. Vertikalne obremenitve gradnikov smo prikazali na ponovljeni sliki idealizirane stavbe (na sliki 2). Pri vseh gradnikih lahko razen tega upoštevamo še lastno težo in temeperaturno obremenitev. Obtežne primere lahko med seboj kombiniramo, vsak pa je v programu definiran s šifro, ki obsega dva alfanumerična znaka in na katero se sklicujemo.



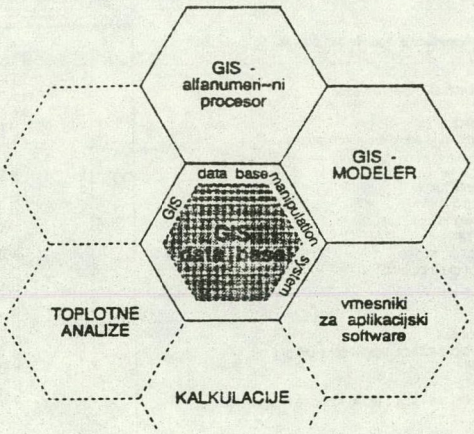
Slika 2: Možne obremenitve gred in prečk

3.0 Podatkovna baza

Zaradi posebnosti podatkovnega modela smo se odločili za izdelavo lastne podatkovne baze, ki je po strukturi tesno povezana s podatkovnim modelom. Vsa programska orodja za komunikacijo z bazo so prirejena tako, da je podatkovni tok med aplikacijo in podatkovno bazo kar najbolj enostaven. Računski model lahko opišemo s pomočjo nepostopkovnega jezika oziroma z uporabo alfanumeričnega predprocesorja, ki s pomočjo učinkovitih ukaznih stavkov in možnosti njihovega redefiniranja ter z uporabo programskih orodij za komunikacijo z bazo omogoča opis problema v celoti ali pa le delno. Opis modela namreč lahko dokončamo z uporabo grafičnega modelerja. Z njim lahko tudi preverimo smiselnost podanih podatkov z alfanumeričnim predprocesorjem. Program trenutno omogoča kombinacijo paketne obdelave in uporabo grafičnega modelerja, kar ni cilj ampak posledica razvoja programskega orodja. To slabost nameravamo z razvojem grafičnega modelerja odpraviti in tako povečati učinkovitost programa in zagotoviti kar največjo udobnost dela. Pri tem bomo morali nadomestiti osnovno orodje za grafične prikaze (GKS) s sodobnejšim in zlasti primernejšim, sam razvoj pa bo morda postavil zahteve po uporabi in vključitvi ustreznejšega orodja za bazo podatkov. Na sliki 3 prikazujemo bazo in navezavo programa ELAST na njo, na sliki 4 pa načrt navezave drugih programskih orodij na njo.



Slika 3: Program ELAST in baza



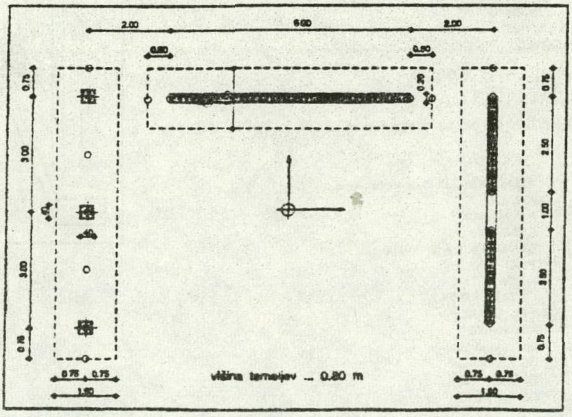
Slika 4: Baza in bodoča programska orodja

4.0 Alfanumerični predprocesor (priprava podatkov)

Za stavbo, ki jo nameravomo preračunati s programom, moramo izbrati računski model. Primerno je, da so podkonstrukcije oziroma makroelementi primerno veliki. S tem dosežemo večjo hitrost izračuna ob upoštevanju napak, ki jih pri tem storimo. Te so nekompatibilnost osnih deformacij v stebrih, kjer se stikuje več okvirov (ravninskih ali prostorskih), v robovih sten, kjer se stikuje več sten in podobno. Navedene napake so pri pseudo-tridimenzionalnem modelu preračuna stavb nujnost, saj drugače stavbe ne moremo preračunati. Običajno so majhne in ne vplivajo bistveno na rezultate preračuna. V programu lahko uporabimo tudi pseudo-tridimenzionalni model preračuna, če to želimo. To pomeni, da so vsi makroelementi (stene, okviri) ravninski in da prevzemajo torzijske obremenitve stavbe s svojo upogibno odpornostjo. Na primeru idealizirane stavbe, ki ustreza omenjenemu modelu, bomo prikazali računski model in podatke, ki jih moramo pripraviti za alfanumerični predprocesor. Obremenitev gred in prečk z lastno težo ali vertikalno obremenitvijo pri tem ne bomo upoštevali.

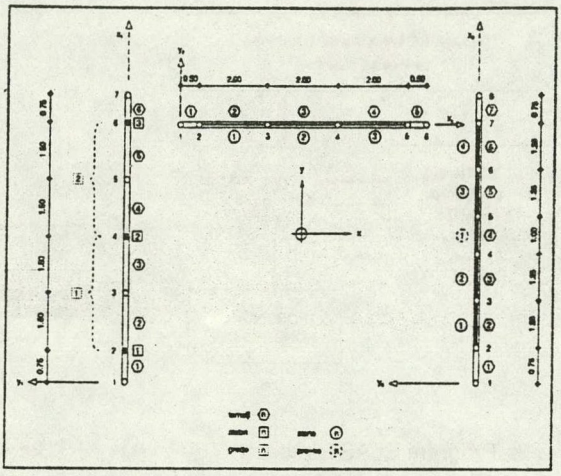
Primer podatkov za program ELAST:

```
KONSTRUKCIJA PSEUDO-TRIDIMENZIONALNI MODEL
'
' Konstrukcijo tvorijo tri ravninske podkonstrukcije:
'              -ravninski okvir
'                                  -stena z odprtino
'              -konzola
'                                  '
'                                  '
'                                  '
'                                  '
'
   PROSTORSKA
   STATIKA SPEKTER
   OBLIKE 9
   KONSTANTE E=3.00E7 G=1.2E7
   VISINE
     ETAZA 1 DO 6 H=3.00
   KONEC
   MASE
     ETAZA 1 DO 6 M=60.00 MM=680.00
   KONEC
KONEC
```

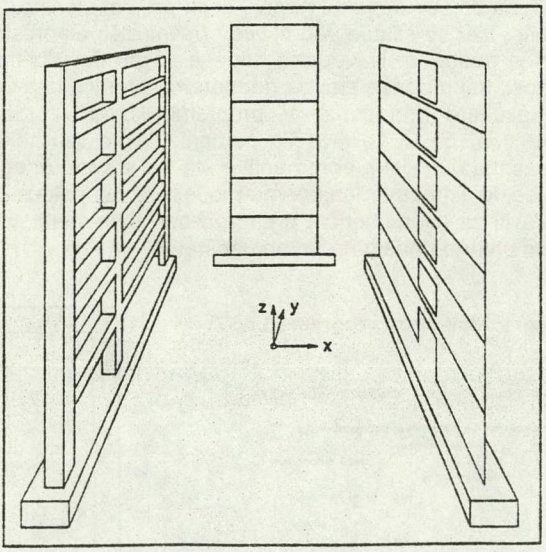


Slika 5: Tloris idealizirane stavbe

```
Podatki za podkonstrukcijo RAVNINSKI OKVIR

PODKONSTRUKCIJA Ravninski okvir
  GLOBALNI
    RAVNINSKA X
    IZHODISCE X -5.00 Y -3.00 KOT 90.0 S
    ETAZE 6
  KONEC
  ENAKOST ETAZ
    ETAZA 1 DO 6
  KONEC ENAKOSTI
  KOORDINATE
    OS 1 X 0.00 Y 0.00
    NIZ 3 OS 1 DO 3 DL 3.00
  KONEC
  ELEMENTI
    STEBRI
      TOPOLOGIJA
        NIZ 1 DO 3 ETAZA 1 DO 6 OS 1 DO 3
      KONEC
      TIPI
        NIZ 1 DO 3 ETAZA 1 DO 6 AZ=0.16 IY=0.00213
      KONEC
    KONEC
    GREDE
      TOPOLOGIJA
        POLJE 1 DO 2 ETAZA 1 DO 6 NIZI 1 DO 2 NIZJ 2 DO 3
      KONEC
      TIPI
        POLJE 1 DO 2 ETAZA 1 DO 6 IY=0.00213
      KONEC
    KONEC
  KONEC
KONEC

Podatki za podkonstrukcijo KONZOLA

PODKONSTRUKCIJA Konzola
  GLOBALNI
    ETAZE 6
    RAVNINSKA X
    IZHODISCE X -3.00 Y 3.00
  KONEC
  ENAKOST ETAZ
    ETAZA 1 DO 6
  KONEC ENAKOSTI
  KOORDINATE
    OS 1 X 0.0
    OS 2 X 6.00
  KONEC
  ELEMENTI
    STENE
      TOPOLOGIJA
        POLJE 1 ETAZA 1 DO 6 OSI 1 OSJ 2
      KONEC
      TIPI
        POLJE 1 ETAZA 1 DO 6 T=0.20
      KONEC
    KONEC
  KONEC
KONEC

Podatki za podkonstrukcijo STENA Z ODPRTINO

PODKONSTRUKCIJA Stena z odprtino
  GLOBALNI
    RAVNINSKA Y
    ETAZE 6
    IZHODISCE X 5.00 Y 0.00
  KONEC
  ENAKOST ETAZ
      ETAZA 1 DO 6
  KONEC ENAKOSTI
  KOORDINATE
    OS 1 Y -3.00
    OS 2 Y -0.80
    OS 3 Y 0.80
    OS 4 Y 3.00
```



Slika 6: Računski model stavbe



Slika 7: Makroelementi stavbe v pogledu

```
KONEC
ELEMENTI
  STENE
    TOPOLOGIJA
      POLJE 1 ETAZA 1 DO 6 OSI 1 OSJ 2
      POLJE 2 ETAZA 1 DO 6 OSI 3 OSJ 4
    KONEC
    TIPI
      POLJE 1 DO 2 ETAZA 1 DO 6 T=0.20
    KONEC
  KONEC
  PRECKE
    TOPOLOGIJA
      POLJE 1 ETAZA 1 DO 6 OSI 2 OSJ 3 POLJEI 1 POLJEJ 2
    KONEC
    TIPI
      POLJE 1 ETAZA 1 DO 6 T=0.20 H=0.60
    KONEC
  KONEC
KONEC
KONEC
```

```
Podatki za obtežne primere

OBTEZBA STATICNA V SMERI X-X FX=100.00 ETAZA 6
  STATICNA
    ETAZA 6 FX=100.00
  KONEC
KONEC

OBTEZBA STATICNA V SMERI Y-Y FY=100.00 ETAZA 6
  STATICNA
    ETAZA 6 FY=100.00
  KONEC
KONEC

OBTEZBA SPEKTER PO PREDPISIH (Potres v X smeri)
  YUSPEKTER
    KO 2 KT 1 MCS 9 TK 1 KOT 0.0 S
  KONEC
KONEC
KONEC
```

5.0 Grafični modelirnik

Modelirnik omogoča podajanje geometrije objekta na enostaven način. Z meniji aktiviramo njegove funkcije, pri čemer so stanja posameznega okenca prikazana v različnih barvah. Te označujejo ali je določena funkcija aktivna, ali je na razpolago ali pa trenutno ni. V posamezna okenca vnašamo meje ključnih atributov, za vpisovanje alfanumeričnih podatkov pa je na razpolago alfanumerično okno. Izberemo lahko do šest oken, v katerih si lahko prikažemo z grafičnimi ukazi koordinate osi, številke osi, aktivne gradnike, računski model v različnih pogledih in podobno. Okna aktiviramo, deaktiviramo ali brišemo iz zaslona. Uporabimo lahko pomožno mrežo pri vnašanju točk, če je kazalec v oknu pa lahko s pritiskom na tipko miške vidimo vrednosti koordinat točke. Kot osnovno orodje za grafične prikaze je uporabljen GKS (Graphical Kernel Systems). Teoretične osnove izdelane baze in grafičnega modelirnika so podane v [2] .

6.0 Zaključek

Nova verzija programa ELAST omogoča enostaven in pregleden opis računskih modelov stavb. Podatkovna baza omogoča navezavo drugih aplikacij, kar prva verzija ni. V nadaljnjem razvoju programa bomo omogočili grafični prikaz rezultatov programa in izboljšali selektivni pristop do rezultatov in njihovega izpisa.

7.0 Literatura

[1] Lutar B.: Statična in dinamična analiza stavb z upoštevanjem prostorskih makroelementov, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FAGG, 1988

[2] Rebolj D.: Modeliranje objektov v visokogradnji, magistrsko delo, Univerza v Mariboru, TF VTO ERI, 1989

Vojko Kilar[1]

EAMODEL - GRAFIČNI PREDPROCESOR ZA PROGRAM EAVEK

POVZETEK

V članku je na kratko predstavljen program EAMODEL, grafični interaktivni predprocesor za program EAVEK. Predprocesor omogoča pripravo vseh podatkov o konstrukciji, risanje elementov in izračun njihovih geometrijskih karakteristik, izračun podatkov o masah in podajanje podatkov o obtežnih primerih. Vse podane elemente in celotno konstrukcijo lahko tudi narišemo na tiskalnik. Slike so pregledne in so primerne kot dodatek k projektni dokumentaciji. Rezultat programa je vhodna datoteka za program EAVEK.

EAMODEL - GRAPHICS PRE-PROCESSOR FOR PROGRAM EAVEK

SUMMARY

In the paper the graphics interactive pre-processor for program EAVEK is presented. The pre-processor enables drawing of elements, determining their geometrical characteristics and calculating data for masses. Within the program also the common data for the building and data for static or dynamic loading cases can be prepared. Element or whole construction can be plotted on the paper. The result of the program is the input file for the program EAVEK.

1. UVOD

Tako razvoj znanosti, kot tudi nagel razvoj računalništva v zadnjih letih, povzročata, da se program EAVEK [1] nenehno razvija in dopolnjuje. Februarja 1989 je bil v okviru nove verzije programa EAVEK 2.0 [2], [3] predstavljen interaktivni predprocesor EAINP (EAvek INPut), ki uporabnika pa določenem vrstnem redu sprašuje o podatkih in postopoma tvori vhodno datoteko.

V letu 1992 bo izšla nova verzija programa EAVEK. Pomembnejše novosti verzije EAVEK 3.0, glede na verzijo 2.0 so:

1) Dodan je interaktiven grafični predprocesor EAMODEL.

2) Dodan je nov makroelement EWALL. Element omogača račun posebnega tipa horizontalno obtežnih stenastih podkonstrukcij v visokogradnji - dveh vzporednih sten, ki sta pravokotno na smer obtežbe elastično povezani s prečno steno. Pri horizontalni obtežbi prečna stena deluje kot elastična povezava, ki prenaša prečne sile med vzdolžnima stenama. Stopnja povezave je odvisna od dimenzij prečne stene in jo lahko določimo z enostavnimi izrazi. Pri zelo togi povezavi vzdolžnih sten lahko element računamo kot običajno steno, v nasprotnem primeru pa element razrežemo in ga računamo kot dve ločeni steni. V vseh vmesnih primerih element računamo z novim makroelementom EWALL.

3) Program EAVEK je bil dopolnjen tako, da je mogoče direktno upoštevati elastično vpetost posameznih elementov ali celotne konstrukcije v temeljna tla. V obeh primerih predpostavimo, da so temelji povsem togi in da lahko vpliv zemljine pod celotnim temeljem nadomestimo z eno samo vzmetjo. Programu moramo podati ustrezne podajnosti vzmeti, ki jih lahko določimo z enostavnimi izrazi ali pa po točnejših metodah mehanike tal.

V tem članku je podrobneje predstavljen predprocesor EAMODEL, drugi dve opisani dopolnitvi pa sta bili podrobneje opisani v [4] in [5].

---

(1) raziskovalec, mag., dipl. ing. gradb., Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Ljubljana, Jamova 2

2. OPIS PROGRAMA EAMODEL

Program EAMODEL omogoča modeliranje računskega modela konstrukcije za račun s programom EAVEK. Program teče pod uporabniškim okoljem WINDOWS 3.0 [6], [7] in deluje v menu tehniki. Interaktivna zasnova programa in uporaba računalniške grafike omogočata enostavno in pregledno delo s programom.

Uporabljamo lahko večino makroelementov iz programa EAVEK: stene (element CANTILEVER), stene z odprtinami (element SWALL), okvirje (element FRAME) ter posebne elemente za katere podamo podajnostno ali togostno matriko (elementa FLEXIBILITY in STIFFNESS).

Pri stenah in stenah z odprtinami, prereze sten ter položaj odprtin v posameznih etažah podamo z miško, nato pa program avtomatično izračuna vse geometrijske karakteristike sten oziroma prečk, ki so potrebne za račun elementa s programom EAVEK. Pri podajanju okvirjev moramo v posebnih oknih podati ustrezne geometrijske karakteristike posameznih etaž (element FRAME je primeren le za račun pravilnih ortogonalnih okvirjev). Za elementa FLEXIBILITY oziroma STIFFNESS podamo ime podajnostne oziroma togostne matrike, ki jo izračunamo z nekim drugim programom. Če podajnostno oziroma togostno matriko določimo s programom OKVIR, lahko v programu EAMODEL vidimo tudi geometrijo vključenega elementa. Opisani način predstavlja najenostavnejšo povezavo programov EAVEK in OKVIR.

Podane makroelemente s pomočjo rastrov in miške postavimo v tloris konstrukcije. Tako pri prostorskih konstrukcijah določimo tlorisni položaj elementov.

Podane makroelemente, oziroma tlorise konstrukcije, lahko narišemo tudi na tiskalnik. Slike so pregledne in dobro dokumentirane ter so primerne za projektno dokumentacijo.

S programom lahko pripravimo tudi ostale podatke, ki jih potrebujemo za račun konstrukcije s programom EAVEK, kot so: splošni podatki o konstrukciji, podatki o elastični vpetosti konstrukcije ali elementov, podatki o vertikalni obtežbi iz katere program izračuna podatke o masah konstrukcije ter podatki o statičnih ali dinamičnih obtežnih primerih.

Vse podatke, ki so potrebni za obnovitev primera shranimo na posebno datoteko (končnica .KAR). Rezultat programa je vhodna datoteka za program EAVEK (končnica .EAV).

3. DELOVANJE PROGRAMA EAMODEL

Potek priprave podatkov usmerjamo z izbiranjem točk iz glavnega menuja in iz stranskih menujev na desni strani. Program nam v vsakem trenutku dopušča le izbiro trenutno možnih točk iz glavnega menuja, ostale pa zasenči, kar pomeni, da jih trenutno ni mogoče izbrati (npr. elementov ne moremo postavljati v tloris, dokler nismo podali vsaj enega elementa). O tem kaj program od nas pričakuje, nas sproti obvešča v spodnji vrstici ekrana. Glavni menu sestavlja šest podmenujev.

DATOTEKA	SLIKA	KONSTRUKCIJA	ELEMENT	OBTEZBA	RISI
NOVA	MEJE	RACUNSKI MODEL	IZBERI	IZBERI	KONSTR.
OBSTOJECA	RASTER IZBERI	ETAZNE VISINE	NOV	NOVA	ELEMENT
SHRANI	RASTER NOV	MASE	BRISI	BRISI	DOKUMENT.
KONEC	MREZA	VERT. OBTEZBA	KOPIRAJ		
	SKOK OFF	TLORIS ETAZE	POSTAVI		
	SPODNJA ETAZA				
	ZGORNJA ETAZA				

DATOTEKA - začnemo s podajanjem novega primera ali izberemo že obstoječi primer, shranjujemo pripravljene podatke in končamo z delom.

SLIKA - podajamo meje tlorisa konstrukcije ter izbiramo ali podajamo rastre v tlorisu konstrukcije. V primeru, da je razmak med rastrskimi črtami konstanten, lahko izberemo točko MREŽA ter podamo le koraka za X in Y smer. Tu vklapljamo in izklapljamo skok na vozlišča rastra in(ali) mreže ter skačemo v spodnjo ali zgornjo etažo.

KONSTRUKCIJA - določimo splošne podatke o računskem modelu, podamo etažne višine, sprožimo menu za podajanje vertikalne obtežbe za račun mas, podamo vertikalno obtežbo za račun po teoriji II reda ali račun

stabilnosti in narišemo tloris vseh postavljenih elementov.

ELEMENT - podajamo nove elemente, izbiramo med že podanimi elementi ter brišemo, kopiramo ali postavljamo podane elemente v tloris konstrukcije.

OBTEŽBA - podajamo nov obtežni primer, izbiramo med že podanimi obtežnimi primeri ter brišemo podane obtežne primere.

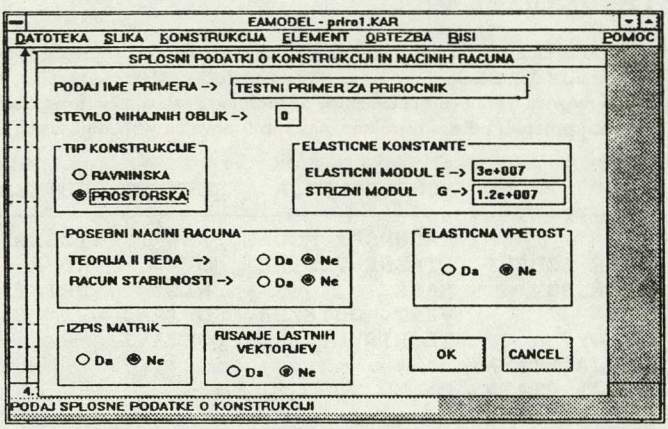
RIŠI - rišemo izbrano etažo ali niz etaž tlorisa konstrukcije oziroma elementa na tiskalnik. S točko DOKUMENTACIJA zahtevamo risanje celotne dokumentacije primera (tloris konstrukcije v prvi etaži in vsi elementi).

4. PODAJANJE SPLOŠNIH PODATKOV O KONSTRUKCIJI

Splošne podatke o konstrukciji določimo v posebnem dialognem oknu (v podmenuju KONSTRUKCIJA, pod točko RAČUNSKI MODEL). V dialognem oknu (slika 1) lahko:

- podamo ime in tip konstrukcije,
- podamo število nihajnih oblik, ki jih želimo upoštevati,
- podamo elastični in strižni modul konstrukcije,
- zahtevamo posebne načine računa (teorija II reda in račun stabilnosti),
- zahtevamo izpis togostnih in podajnostnih matrik konstrukcije,
- zahtevamo risanje lastnih vektorjev in
- povemo ali je konstrukcija elastično vpeta. V primeru elastično vpete konstrukcije v posebnem oknu podamo konstante elastične vpetosti.

Če splošnih podatkov o konstrukciji ne podamo, program (glede na tip konstrukcije in število podanih etaž) izračuna število nihajnih oblik , izbere vgrajene vrednosti modulov za beton, opusti vse dodatne ukaze in upošteva, da je konstrukcija togo vpeta.

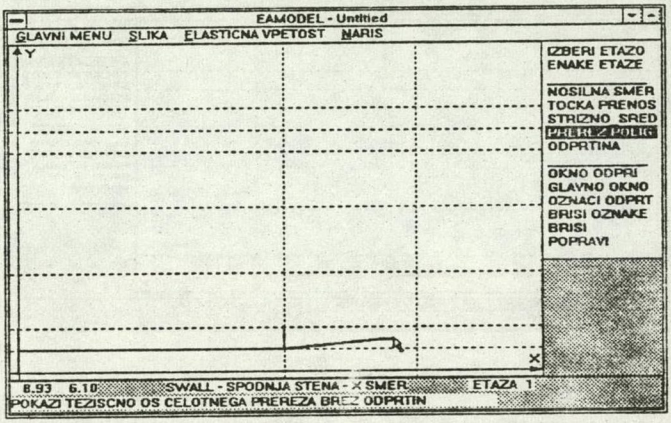


Slika 1: Dialogno okno v katerem podajamo splošne podatke o konstrukciji

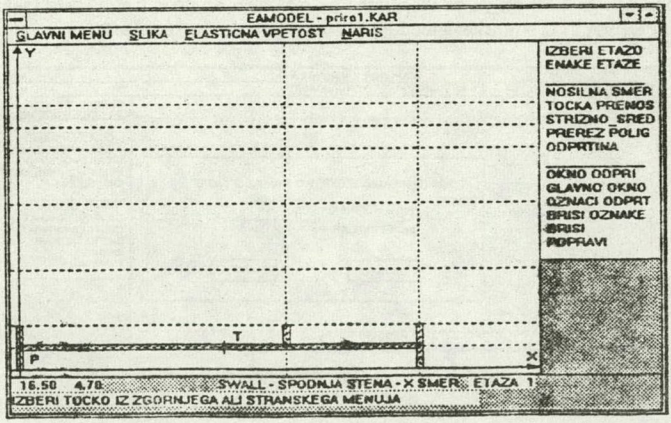
5. PODAJANJE ELEMENTOV

Iz podmenuja ELEMENT pod točko NOV podamo ime in izberemo tip elementa, ki ga želimo podajati. Namesto glavnega menuja dobimo nov horizontalni menu in na desni poseben stranski menu. Z obema menujema usmerjamo delo pri podajanju elementa. Podrobneje si poglejmo podajanje sten z odprtinami (podobno podajamo tudi stene brez odprtin).

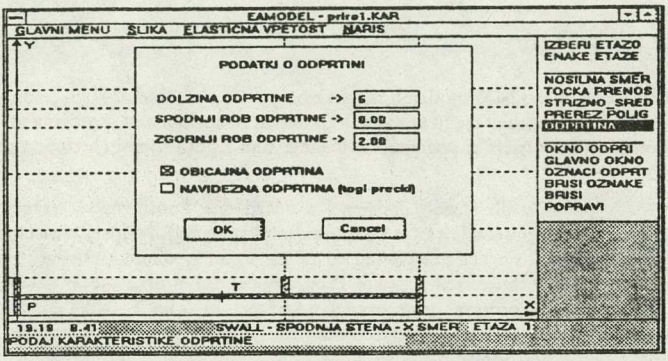
Prereze makroelementov v posameznih etažah narišemo z miško. Za enostavnejše risanje z miško, si lahko pomagamo z rastri oziroma mrežo (mreža je raster s konstantnimi razmaki). Najprej narišemo prerez stene brez odprtin. Z miško pokažemo središčne osi prereza stene (slika 2) in podamo debeline posameznih odsekov. Podajanje prereza zaključimo z desno miškino tipko. Program celotni prerez stene nariše in izračuna njene geometrijske katakteristike. Težišče prereza stene označi s križcem in črko T (slika 3). Nato izberemo točko ODPRTINA v stranskem menuju in podamo podatke o odprtini (slika 4). Z miško pokažemo začetek odprtine v tlorisu stene brez odprtin. Program odprtino nariše in prvotno steno razdeli na dve steni, izračuna vse njune geometrijske karakteristike ter označi težišča obeh sten s križcem in črko T (slika 5). Vsako od dobljenih sten lahko z odprtino znova razdelimo na dve steni in tako postopek nadaljujemo (največ lahko podamo sedem odprtin).



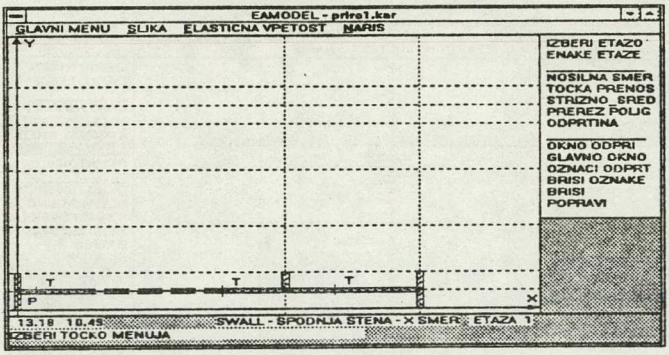
Slika 2: Podajanje prereza stene (podajamo središčne osi posameznih pravokotnikov in njihove debeline)



Slika 3: Prerez stene brez odprtin

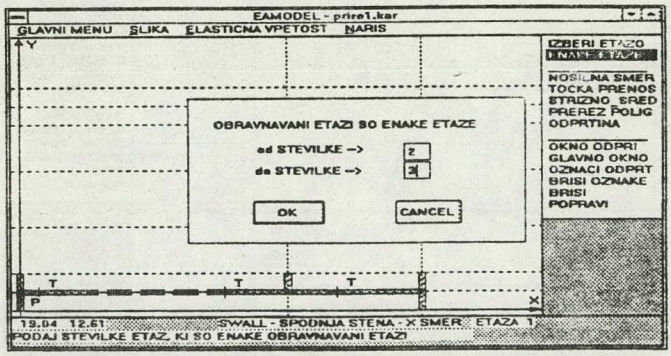


Slika 4: Podajanje podatkov o odprtini

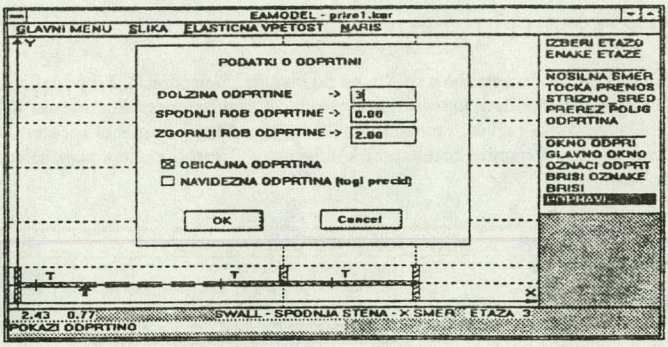


Slika 5: Stena z eno odprtino

Tako smo podali prvo etažo stene z odprtinami. Podobno poteka podajanje višjih etaž elementa. Vzemimo, da ima obravnavani element tudi drugo etažo enako prvi etaži, v tretji etaži pa je odprtina nekoliko manjša. Možnosti je več. Z ukazom ENAKE ETAŽE lahko iz stranskega menuja skopiramo prvo etažo v drugo etažo, nato pa posebej podamo še tretjo etažo. Druga možnost je, da skopiramo prvo etažo v drugo in tretjo etažo (slika 6), nato pa v tretji etaži izberemo točko POPRAVI iz stranskega menuja in popravimo dolžino odprtine (slika 7).

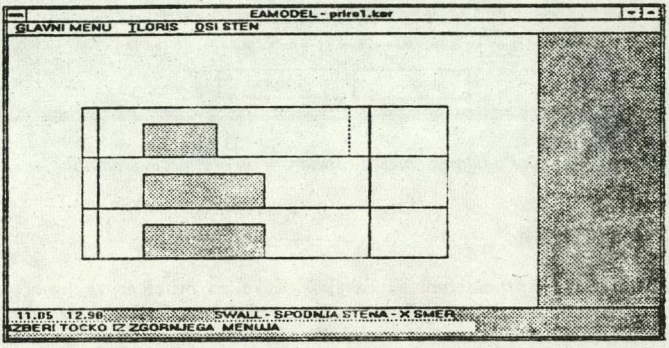


Slika 6: Kopiranje prve etaže v drugo in tretjo etažo



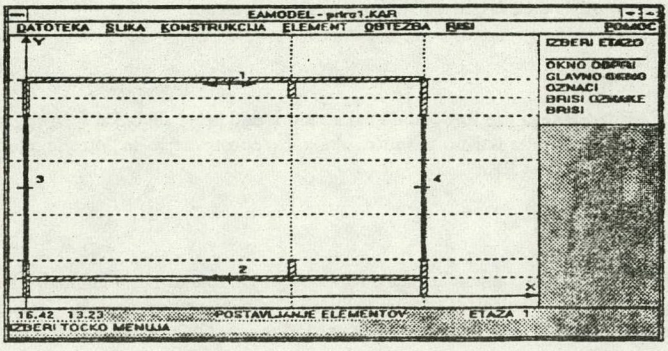
Slika 7: Popravljanje odprtine v tretji etaži

Naris celotnega elementa lahko narišemo s točko NARIS iz zgornjega horizontalnega menuja. Z navpičnimi tankimi prekinjenimi črtami so v narisu označene osi (težišča) posameznih etaž sten, z debelejšimi polnimi črtami pa skupne osi sten, ki jih upošteva program (slika 8).



Slika 8: Naris tri-etažne stene z eno vrsto odprtin

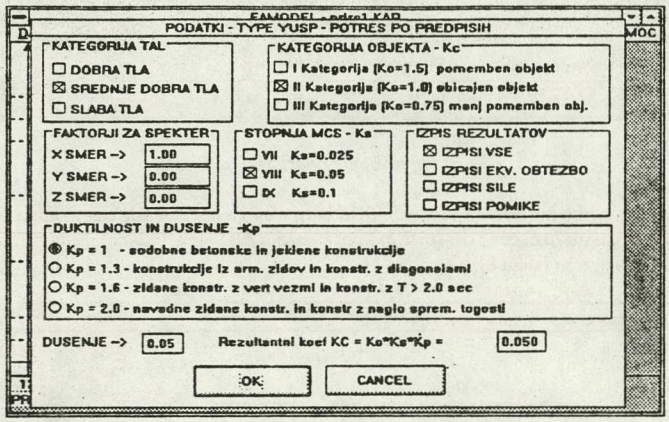
Pri prostorskih konstrukcijah je potrebno za vsak element določiti tudi njegov tlorisni položaj. Tega določimo tako, da element postavimo v tloris konstrukcije. Slika 9 prikazuje štiri elemente postavljene v tloris konstrukcije.



Slika 9: V tloris konstrukcije smo postavili štiri elemente

6. PODAJANJE OBTEŽNIH PRIMEROV

Podajamo lahko statično obtežbo in obtežbo s spektrom po obstoječih predpisih. Pri podajanju obtežbe s spektrom po obstoječih predpisih moramo podati: kategorijo tal, vrednost rezultantnega koeficienta KC, koeficient dušenja (za račun CQC kombinacije vpliva različnih nihajnih oblik) ter množilne faktorje za spekter. Določiti moramo tudi rezultate, ki jih želimo izpisati. Program rezultantni koeficient KC sproti računa sam, lahko pa odtipkamo tudi drugačno vrednost (slika 10).



Slika 10: Podajanje obtežbe s spektrom po obstoječih predpisih

7. IZPIS DOKUMENTACIJE

Podane makroelemente lahko narišemo tudi na tiskalnik. Slike so prirejene za format A4 ter so ustrezno dokumentirane in so primerne za projektno dokumentacijo. Pred risanje podamo etažo ali niz etaž, ki jih želimo risati. Slika 11 prikazuje dokumentacijo za element tipa SWALL, ki smo ga podali v prejšnjih poglavjih. Program pri risanju elementov sam ugotovi, če je več etaž elementa, ki jih želimo risati, enakih in riše le medseboj različne etaže. V zgornji tretjini slike elementa so splošni podatki o elementu, v srednji tretjini je narisan prerez etaže (ali niza etaž), v spodnji tretjini slike pa so izpisane karakteristike elementa. Podobno je oblikovan tudi izpis drugih tipov elementov.

Na tiskalnik lahko narišemo tudi tloris izbrane etaže konstrukcije. Posamezni makroelementi so označeni z zaporednimi številkami in puščicami, ki označujejo nosilno smer elementa.

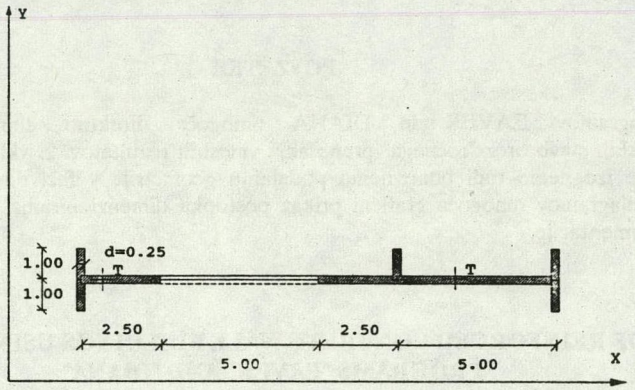
8. ZAKLJUČKI

Kratek in zato grob opis izdelanega predprocesorja žal ne more dati jasne slike, kaj vse program nudi in omogoča. Program EAMODEL s svojo interaktivno zasnovo omogoča enostavnejše in hitrejše modeliranje računskega modela za račun s programom EAVEK.

ZAHVALA

Delo o katerem poročamo v tem članku, financira Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije v okviru akcije 2000 novih raziskovalcev. Delo je vključeno v raziskovalni projekt "Računalnik v gradbenem inženirstvu in Potresno inženirstvo" na FAGG, oddelek za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR.

```
FAGG IKPIR              P R O G R A M   E A M O D E L        STRAN:  1
PRIMER: priro1.KAR          DATUM: 12 2 92

   ELEMENT
   IME :                        SPODNJA STENA - X SMER
   TIP :                        SWALL
   LOKALNA NOSILNA SMER :       X
   STEVILO VSEH ETAZ :          3
   ZAPOREDNA STEVILKA :         2
   ETAZA :                      1  do  2
```




```
      GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE STEN
      1          2

A     1.12       2.63
As    0.519      1.56
I     0.754      15.3
xt    2.95       14.1
yt    3.26       3.31

      GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRECK
      1

l     5
h     1
d     0.25
As    0.208
I     0.0208
```

Slika 11: Risanje elementa tipa SWALL na tiskalnik

LITERATURA

1) Fajfar P., "EAVEK - Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij", Publikacija IKPIR FAGG št. 13, Ljubljana, 1987.

2) Fajfar P., Kilar V., "EAVEK - Dopolnila in spremembe za verzijo 2.0", Publikacija IKPIR št. 31, FAGG, februar 1989.

3) Kilar V., "Dopolnitve programa EAVEK", 10. zborovanje gradbenih konstrukterjev Slovenije, Bled, 15. september 1988, Zbornik, str. 165 - 172.

4) Kilar V., Fajfar P., "Ewall - nov makroelement v programu EAVEK", 11. zborovanje gradbenih konstrukterjev Slovenije, Bled, 20. oktober 1989, Zbornik, str. 216 - 223.

5) Kilar V., Fajfar P., "Račun elastično vpetih objektov visokogradnje s programom EAVEK", 5. seminar "Računalnik v gradbenem inženirstvu", Ljubljana, april 1990, Zbornik, str. 274 - 279.

6) Microsoft Corporation, "MICROSOFT WINDOWS SOFTWARE DEVELOPMENT KIT 3.0", USA, Microsoft Press, 1990.

7) Petzold C., "PROGRAMMING WINDOWS", USA, Microsoft Press, 1988.

Tatjana Isaković, dipl. ing. gradb.
Izr. prof. dr. Matej Fischinger, dipl. ing. gradb.
Univerza v Ljubljani, FAGG, OGG
Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo
Ljubljana, Jamova 2

POVEZAVA PROGRAMOV "DIANA" IN "EAVEK" ZA RAČUN STENASTIH ARMIRANOBETONSKIH STAVB

POVZETEK

Povezava programov EAVEK in DIANA omogoča direktno dimenzioniranje stenastih armiranobetonskih stavb brez "ročnega" prenašanja vmesnih rezultatov. Z vključitvijo predprocesorja EAMODEL se izognemo tudi ponovnemu podajanju geometrije v fazi dimenzioniranja. Uporaba interakcijskih diagramov omogoča grafični prikaz postopka dimenzioniranja in izdelavo kompaktne projektne dokumentacije.

ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE WALL BUILDINGS USING THE COMBINED PROGRAMS "EAVEK" AND "DIANA"

SUMMARY

Programs EAVEK and DIANA were combined to enable the direct dimensioning of reinforced concrete buildings with structural walls. No transfer of intermediate results is needed and (if pre-processor EAMODEL is used) the geometry of cross sections need not to be redefined in the phase of dimensioning. The use of interaction diagrams enables graphic representation of the dimensioning process and project documentation.

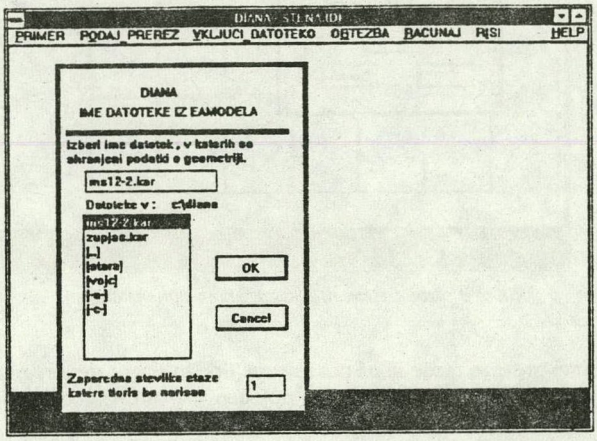
1. UVOD

Armiranobetonske stene so pogost konstrukcijski element v večini stanovanjskih in poslovnih objektov, ki se gradijo v Sloveniji. Zaradi osvojene tehnologije, pa tudi odličnih izkušenj s tovrstnimi konstrukcijami med močnimi potresi (npr. Črna Gora ali Čile), bodo stenaste stavbe še naprej prevladovale v slovenskem prostoru.

Kljub temu, da se program EAVEK za račun obremenitev stavb pri horizontalni obtežbi uporablja že dobrih 15 let, pa poteka dimenzioniranje armiranobetonskih sten še vedno pretežno "ročno". Tudi dosedanja verzija programa DIANA (DImenzioniranje in ANaliza Armiranobetonskih konstrukcij) je omogočala le povezavo s programom OKVIR ter dimenzioniranje stebrov in gred. Zato smo program DIANA razširili na dimenzioniranje stenastih stavb v povezavi s programom EAVEK, ki direktno izračuna obremenitve sten pri horizontalni obremenitvi. Pri pripravi podatkov je vključen tudi predprocesor programa EAVEK - EAMODEL.

2. PRIMER DIMENZIONIRANJA ARMIRANOBETONSKIH STEN S PROGRAMOM DIANA

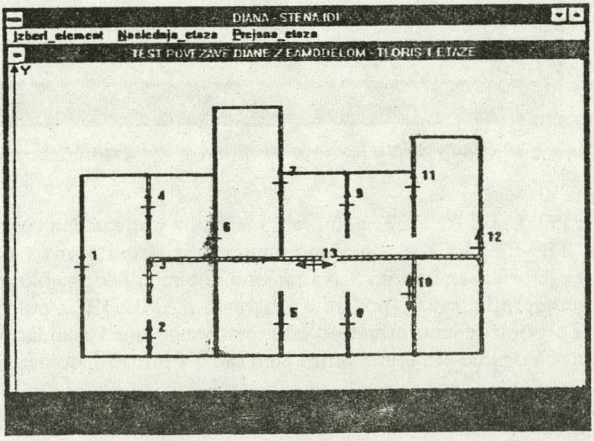
V nadaljevanju prikazujemo primer dimenzioniranja stene s pomočjo programa DIANA.
Najprej izberemo ime datoteke, ki jo pripravi program EAMODEL, v kateri so shranjeni vsi podatki o geometriji konstrukcije. Način izbire datoteke je prikazan na sliki 1.



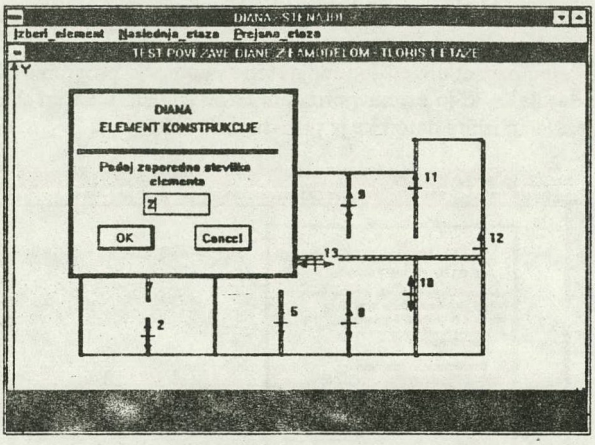
Slika 1 : Izbira datoteke v kateri so shranjeni podatki o geometriji konstrukcije

V dialognem oknu na sliki 1 moramo podati še številko etaže katere tloris bo narisan. V naslednjem koraku se na zaslonu nariše tloris izbrane etaže v katerem so prikazani vsi podani elementi označeni z zaporedno številko (slika 2). Za vsak element je prikazana tudi nosilna smer. Z izbiro točk menuja "Naslednja_etaža" in "Prejsnja_etaža" lahko pregledujemo tlorise po posameznih etažah. Z izbiro točke menuja "Izberi_element" izberemo element, ki ga bomo dimenzionirali. Na zaslonu se prikaže dialogno okno v katerem navedemo zaporedno številko tega elementa (slika 3).

Nato zapremo okno v katerem je prikazan tloris izbrane etaže, na zaslonu pa se izriše naris izbranega elementa. Okno v katerem je prikazan naris se lahko prikaže v dveh velikostih: v spodnjem desnem kotu zaslona ali preko celega zaslona (slika 4).

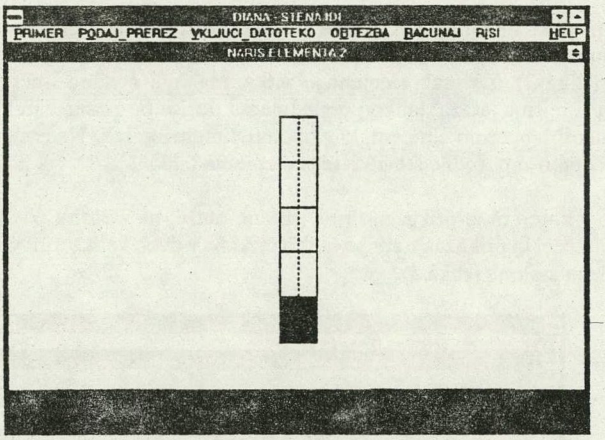


Slika 2 : Tloris izbrane etaže



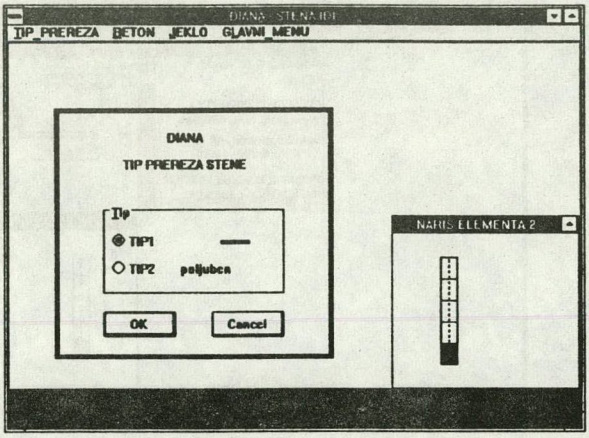
Slika 3 : Izbira elementa, ki ga želimo dimenzionirati

V programu DIANA smo prereze razdelili na posamezne tipe in sicer : steber, greda, stena, plošča. Vsak izmed tipov prereza je razdeljen na podtipe, ki so določeni na osnovi geometrije prereza in oblike in vrste armature. V narisu elementa označimo etaže, ki bodo imele enako armaturo oz. enak tip prereza.

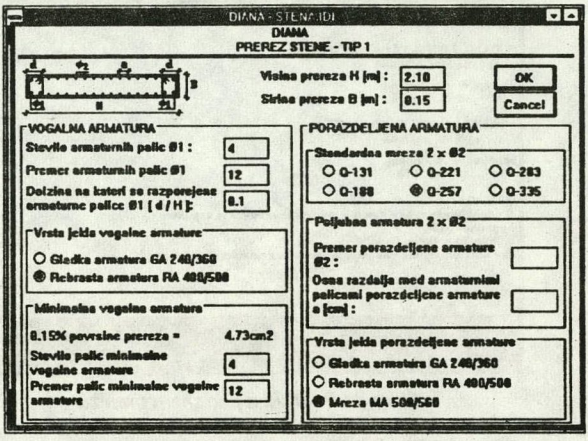


Slika 4 : Naris izbranega elementa in izbira etaže

Z izbiro točke menuja PODAJ_PREREZ, definiramo ime tipa prereza. Na voljo dobimo novi menu. Z izbiro točke menuja TIP_PREREZA, določimo najprej tip (stena) nato pa še podtip prereza (pravokotna). Postopek je prikazan na sliki 5. Na zaslonu dobimo dialogno okno (slika 6), v katerem so že izpisani podatki o geometriji prereza (podani v programu EAMODEL), potrebno pa je definirati še armaturo v prerezu. Za porazdeljeno armaturo izberemo eno izmed standardnih mrež, ali določimo neko poljubno armaturo. Vogalno armaturo definiramo samo v primerih določenih s predpisi.



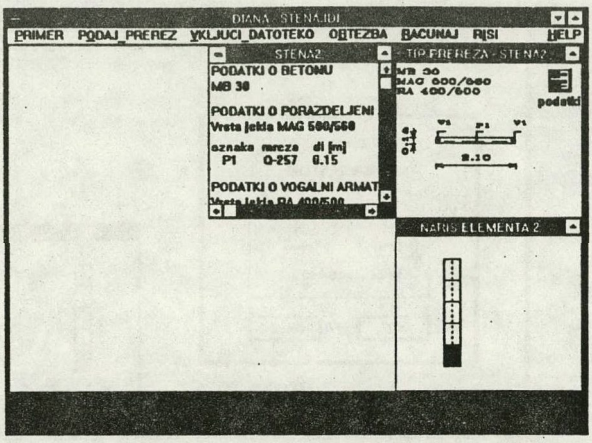
Slika 5 : Izbira tipa prereza stene



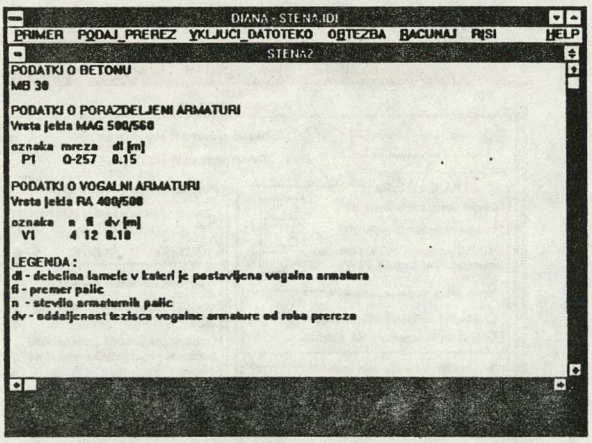
Slika 6 : Podajanje armature v prerezu

V naslednjem koraku se na zaslonu nariše podani prerez (slika 7). Na sliki prereza so izpisani osnovni podatki o geometriji prereza in kvaliteti betona in jekla. Podana armatura je prikazana shematsko. Oznaka V1 je oznaka vogalne, P1 pa oznaka porazdeljene armature. Z izbiro gumba "podatki" na zaslonu dobimo okno, v katerem so izpisani bolj podrobni podatki o prerezu. To okno lahko povečamo na dimenzije celega zaslona (slika 8). Povečamo lahko tudi okno v katerem je narisan podani prerez (slika 9).

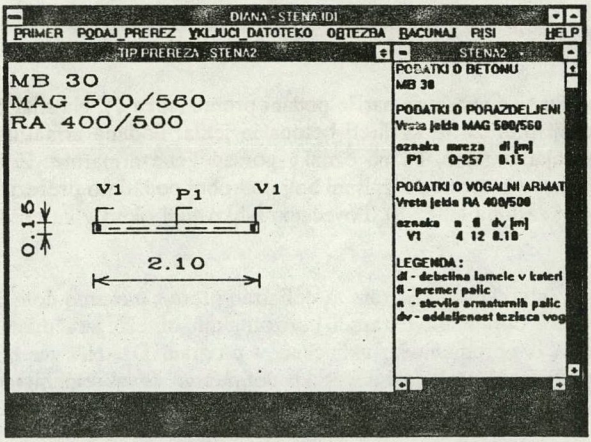
Preden izračunamo interakcijski diagram za definiran prerez, moramo določiti še obremenitve prereza. Kot je že omenjeno, obremenitve zaradi horizontalnih obtežb izračunamo s programom EAVEK. Datoteko s podatki o obremenitvah vključimo v program DIANA na enak način kot datoteko iz programa EAMODEL. V naslednjem koraku definiramo še obremenitve zaradi vertikalnih obtežb (običajno jih določimo s perprosto porazdelitvijo obtežbe na posamezne stene).



Slika 7 : Slika podanega prereza, okno s podatki o prerezu

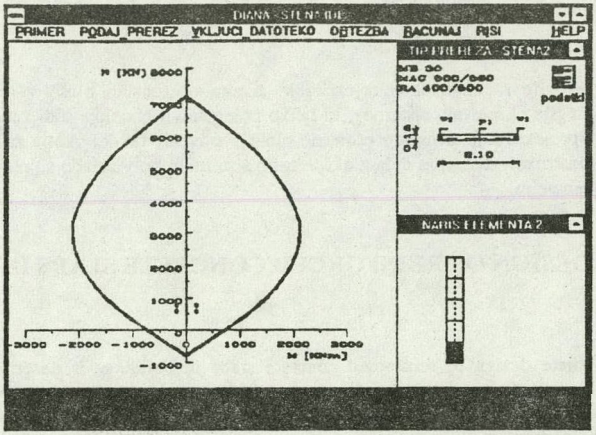


Slika 8 : Podatki o podanem prerezu



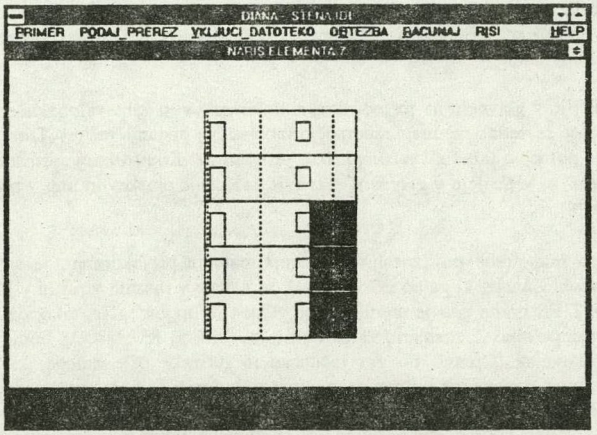
Slika 9 : Podani prerez in podatki o prerezu

Naslednji korak je račun in risanje interakcijskih diagramov. Program DIANA izračuna interakcijski diagram za podano in minimalno armaturo, ter mejne obremenitve prereza in jih izriše na zaslon (slika 10). Opisani postopek ponovimo za vse ostale elemente v konstrukciji.



Slika 10 : Interakcijski diagram za podano in minimalno armaturo,mejne obremenitve

Prikazani postopek dimenzioniranja armiranobetonskih sten je trenutno rešen le za pravokotne konzolne stene, dopolnjen pa bo za vse ostale tipe sten, ki so vgrajeni v program EAVEK (slika 11) tako, da bo mogoče dimenzionirati stene poljubnih prerezov.



Slika 11 : Naris stene tipa SWALL

3. ZAKLJUČEK

Statiki smo si že dolgo želeli avtomatizacijo postopka projektiranja armiranobetonskih stavb. Z opisanim delom je opravljena pomembna faza te avtomatizacije. Uporabnik pride do projektne dokumentacije za PGD brez kakršnegakoli ročnega prenašanja podatkov in vmesnih rezultatov.
Program DIANA je še zlasti primeren za dimenzioniranje stenastih konstrukcij, ker uporaba interakcijskih diagramov omogoča hkratno dimenzioniranje vseh etaž izbrane stene naenkrat ob avtomatski kontroli minimalne armature, ki pri stenah pogosto zadošča za prevzem vseh obremenitev. Tak postopek omogoča tudi pripravo zelo kompaktne projektne dokumentacije.

Vlado Oštir*

RAČUNALNIŠKO PROJEKTIRANJE ARMIRANOBETONSKIH PLOŠČ V STAVBAH

Povzetek

Opisan je postopek za celovito računalniško projektiranje armiranobetonskih plošč v stavbah. Projektiranje bo izvedeno z uporabo tehnologije ekspertnih sistemov, ki lahko poleg števil obdeluje tudi znanje. Ekspertni sistem, ki bo vodil celoten postopek projektiranja armiranobetonskih plošč v stavbah, bo del okolja za računalniško integrirano projektiranje gradbenih konstrukcij. Rezultat dela z ekspertnim sistemom bo v skladu s predpisi izdelana in ustrezno shranjena tehnična dokumentacija.

COMPUTER DESIGN OF REINFORCED CONCRETE SLABS IN BUILDINGS

Summary

The process for the complete design of reinforced concrete slabs in buildings is described. The design will be performed with the application of the tehnology of expert systems, that besides numbers work knowledge as well. The expert system, that will lead the whole design process of the reinforced concrete slabs in buildings will be a part of the environment for the computer integrated design of structures in civil engineering. The result of the work will be the tehnical documentation , prepared according to codes and properly kept.

1. UVOD

Obstoječe projektiranje armiranobetonskih plošč v stavbah predstavlja iskanje predpisanih obtežb po različnih pisanih virih (pravilniki, standardi, priporočila, tabele) in uporabo računalniških programov (analiza, dimenzioniranje, risanje) ter "peš" metod. Posamezni programi so v glavnem izdelani neodvisno drug od drugega, tako, da je potrebno podatke zanje posebej pripravljati.

Programi za analizo temeljijo v glavnem na metodi končnih elementov in zahtevajo izkušenega uporabnika, zato se posamezne enostavne plošče še vedno računajo s pomočjo tabelarično podanih rešitev. Dimenzioniranje se izvaja po metodi mejnih stanj [8] s pomočjo tabel ali računalniških programov. Konstruiranje armature je možno "peš" ali z raznimi risarskimi programi, ki vsebujejo v glavnem le znanje za risanje ploskev in linij v prostoru, ne pa tudi znanje za konstruiranje armature [8].

Zaradi celovitosti procesa in potrebe po zanesljivem in optimalnem projektiranju, je smiselno zasnovati ES za projektiranje plošč v stavbah. Znanje, ki ga bo ES vseboval, se nahaja v pisanih virih in v glavah strokovnjakov. To znanje je zelo neurejeno. Z ES bomo znanje uredili na pregleden in urejen način, tako, da bo vanj mogoče vnašati morebitne spremembe in dopolnila. Z znanjem, ki ga bomo izvabili od izvedencev, bomo poskrbeli, da se bo ES obnašal kot izkušen strokovnjak. Opravil bo vse računske in rutinske dele naloge, ki jih mora sicer opraviti projektant, vendar bo možnost napake zmanjšana na minimum. Izognili se bomo tudi napakam, ki lahko nastanejo zaradi utrujenosti, pozabljivosti itd. Ob morebitnih spremembah posameznih parametrov računa, se bo ves postopek avtomatično ponovil, spremembe bodo dokumentirane in posredovane tudi ostalim projektantom. ES za projektiranje plošč v stavbah se bo torej obnašal podobno kot skrben projektant, ki je soočen z reševanjem konkretnega problema. V zasnovi ES bodo upoštevani pravilniki, standardi in priporočila [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10], [11],[12].

2. ZASNOVA EKSPERTNEGA SISTEMA ZA PROJEKTIRANJE ARMIRANOBETONSKIH PLOŠČ V STAVBAH

Faze projektiranja armiranobetonskih plošč v stavbah delimo na:
- zasnovo,
- določitev računskega modela,
- določitev obtežbe,

---

* Mladi raziskovalec, FAGG, IKPIR, Jamova 2, Ljubljana

- analizo,
- konstruiranje,
- oceno in optimizacijo.

2.1 ZASNOVA KONSTRUKCIJE

Zasnova obsega v splošnem opis vseh lastnosti konstrukcije in pogojev, ki jim mora ustrezati. V tej fazi se arhitekt in konstrukter dogovorita o nosilnem sistemu plošče. Konstrukter določi primeren razpored nosilnih elementov, ki podpirajo ploščo ter debelino plošče. Na osnovi teh podatkov se izdela geometrijski model, ki vsebuje vse geometrijske podatke o plošči in služi kot osnova za nadaljne delo.

Debelina plošče

Najpomembnejša odločitev, ki jo je potrebno sprejeti v fazi zasnove plošče je njena debelina. Določitev debeline je pomembna zlasti zato, ker bomo na osnovi njene vrednosti definirali višinske kote in upoštevali lastno težo v nadaljnih fazah. Pravilnik o tehničnih normativih za beton in armirani beton [8] predpisuje določitev potrebne debeline a.b. plošč z ozirom na vrsto plošče, vrsto obtežbe, razpetino in način podpiranja.

Linijsko podprte plošče

Minimalna debelina statično enakomerno obtežene plošče znaša 7 cm, izjemoma je lahko debelina strešnih plošč minimalno 5 cm. Minimalna debelina plošč, po katerih vozijo vozila, je za osebna vozila 10 cm in za tovorna vozila 12 cm.

Po kriteriju razpetine plošče velja za kontinuirne in vpete plošče, pri katerih se stanje deformacij (upogibkov) posebej ne dokazuje, naslednje: Minimalna debelina plošče, ki se računa v eni ali dveh smereh mora znašati 1/35 manjšega razpona oziroma razdalje ničelnih momentnih točk. Če za razdaljo ničelnih momentnih točk ni podatka, lahko vzamemo, da znaša 4/5 razpona. V primeru, da se po plošči hodi samo občasno (zaradi čiščenja in popravil), lahko njena debelina znaša najmanj 1/40 razpona oziroma razdalje ničelnih momentnih točk, toda ne manj kot 5 cm.

Gobaste plošče

Pri ploščah, ki so podprte s stebri in so brez ali s kapitlom (gobaste plošče), debelina plošče ne sme biti manjša od 15 cm, oziroma mora znašati v primeru, če se posebej ne dokazuje stanje deformacij (upogibkov) 1/35 večje razdalje med sosednjimi stebri. Pri ploščah, ki so podprte s stebri, je potrebno definirati tudi stranico (premer) stebra, ki ne sme biti manjši od 1/20 ustreznega manjšega razmika med stebri, niti manjši od 1/15 nadstropne višine in ne manjši od 30 cm. Koristna priporočila v zvezi z oblikovanjem kapitla lahko najdemo v [6].

Včasih nastopijo primeri, ko po predpisih določena debelina plošče ne zadošča. To se lahko zgodi takrat, kadar imamo opravka z večjimi obtežbami ali pri običajnih razponih, če uporabljamo le sorazmerno nizke marke betona. V teh primerih moramo izvršiti kontrolo s približno določitvijo notranjih sil in dimenzioniranjem betonskega prereza. Način kontrole je odvisen od kompliciranosti računskega modela.

Pri sistemu enostavnih kontinuirnih plošč lahko izračunamo vpetostne momente na robovih za značilno ploščo in nato preverimo s približnim računom velikost deformacij v betonu. V primeru, ko so deformacije v betonu večje od dovoljenih za predpisano marko betona, povečamo ali marko betona ali pa debelino plošče. Pri geometrijsko zelo razgibanih ploščah in pri ploščah z zelo velikimi in raznovrstnimi obtežbami, je edina možnost določitve debeline s pomočjo iteracijskega postopka na natančnejšem modelu. Pri ploščah, ki so obtežene s koncentriranimi silami izvedemo tudi kontrolo preboja. Računske kontrole izvajamo za maksimalno dovoljeno marko betona v odvisnosti od vrste objekta, ki ga projektiramo.

Na podlagi tako opisanih metod dobimo debeline plošč, ki se razlikujejo med seboj, zato jih moramo optimizirati. Način optimizacije se razlikuje od primera do primera. Za optimalno določitev debeline plošče v fazi zasnove je treba imeti tudi določeno mero znanja iz izkušenj. Nepraktično je pri ploščah, katerih razponi se le malo razlikujejo med seboj, predpisati debeline različne le za kakšen cm, smiselno pa je skupine plošč s približno enakimi razpetinami in obtežbami optimizirati na enake debeline.

Zaščitni sloj betona

Pravilnik [8] določa za plošče debelino zaščitne plasti betona 1.5 cm s korekcijami, ki so odvisne od stopnje agresivnosti okolja, marke betona, protipožarnih zahtev, obdelave vidne plasti in načina opaževanja. Zaščitni sloj

betona je treba običajno posebej definirati za vsako stran plošče. Najtanjše zaščitne plasti betona so lahko odvisne tudi od zahtev po odpornosti proti požaru (debelina zaščitnega sloja je določena v elaboratu o požarnem varstvu) in od drugih zahtev pri konstrukcijah v okoljih s povečano stopnjo agresivnosti.

Mejno stanje razpok

Definiranje potrebnih parametrov za račun obsega tudi določitev največje širine razpok. K računu razpok pa lahko pristopimo šele takrat, ko smo izvedli analizo in določili potrebno armaturo. Največja dovoljena širina razpok se določi na osnovi [8] in zahtev iz projektne naloge ali tehnološkega, arhitektonskega in drugih projektov objekta. Največja širina razpok je odvisna od stopnje agresivnosti okolja in dolžine trajanja vpliva. Znaša od 0.05 mm za konstrukcijo v močno agresivnem okolju, do 0.4 mm pri majhni agresivnosti okolja. Vmesne vrednosti so podrobneje opisane v [8] - tab. 18. Agresivnost okolja je majhna, srednja ali močna, odvisno od izpostavljenosti vlagi, atmosferskim in korozijskim vplivom. Največje vrednosti mejnih širin razpok se nanašajo na elemente z najtanjšimi zaščitnimi plastmi betona. Za elemente z debelejšimi zaščitnimi plastmi betona smemo največje vrednosti mejnih širin razpok sorazmerno povečati do največ petdeset odstotkov vrednosti iz tabele 18 [8], vendar največ do 0.4 mm.

Kadar analiziramo plošče z enostavnimi metodami po teoriji elastičnosti, se v nekaterih primerih izkaže, da račun po mejnem stanju razpok ni potreben. Zato bi enostavne metode vsebovale tudi kontrolo potrebnosti računa razpok po čl. 114 [8].

Mejno stanje deformacij

Izračun po mejnem stanju upogibkov temelji na dokazu, da največji upogibki plošče med uporabo (pri tem se upoštevajo tudi vplivi krčenja in tečenja) niso večji od mejnih upogibkov (čl. 115 - 118 [8]. V tej fazi se določi dovoljena velikost upogibkov za posamezna polja plošč. Ta je odvisna od razpona. Račun upogibkov po [8], to je račun z upoštevanjem razpokanosti betonskega preseka, se izvede po končani analizi in določitvi armature v presekih, pri čemer se upoštevajo izračunani elastični pomiki. Pred tem je seveda smiselno izdelati kontrolo potrebnosti računa upogibkov (čl. 118 [8]).

2.2 DOLOČITEV RAČUNSKEGA MODELA

Za določitev računskega modela služi kot osnova geometrijski model plošče z vsemi kotami, pri čemer lahko manjše odprtine v plošči zanemarimo. Pri določanju razpetin velja, da se v primeru, če razponi plošč niso natančno določeni s konstrukcijskimi ukrepi, vzame svetla odprtina, ki se poveča za 5 odstotkov. Pri kontinuirnih ploščah se vzamejo za razpone osne razdalje sten, gred, stebrov ipd. Če so širine gred, sten ali stebrov večje od 10 odstotkov svetle odprtine, se za razpone kontinuirnih plošč lahko vzamejo svetle odprtine povečane za 5 odstotkov.

Kot linijske podpore upoštevamo vse nosilne linijske elemente, ki podpirajo ploščo, kot točkovne podpore pa vse stebre, katerih oblika in togost ustrezata zahtevam za gobaste plošče. Krožne plošče manjšega razpona lahko analiziramo kot kvadratne, ki prenašajo obtežbo v dveh smereh, pri čemer se za izračun upošteva, da je stranica kvadratne plošče a = 0.9 D, kjer je D premer krožne plošče. Računski model vsebuje vse podatke o geometriji plošče in robnih pogojih.

2.3 DOLOČITEV OBTEŽBE

To delo je precej obsežno in ga moramo opraviti pred pričetkom analize. Za definiranje in račun obtežbe potrebujemo podatke o legi plošče v prostoru, sestavi tlakov, ometih, predelnih stenah, sekundarnih stropovih, inštalacijah in namembnosti prostorov nad obravnavanimi ploščami. [12] predpisuje vplive, za katere je potrebno analizirati nosilne konstrukcije, ne glede na to, da so lahko te vrednosti različne od dejanskih. Po spreminjanju v času in prostoru so lahko vplivi stalni, spremenljivi in nezgodni (trenutni), po načinu obnašanja pa statični in dinamični.

Stalni vplivi so tisti, pri katerih je v primerjavi s srednjo vrednostjo v odvisnosti od časa, sprememba vrednosti zanemarljivo majhna. V to skupino spadajo lastna teža, teža nenosilnih elementov, deformacije, nastale kot posledica načina vgraditve, vplivi nastali zaradi posedanja podpor, krčenje in tečenje betona. Podatki za račun obtežbe zaradi stalnih vplivov so v projektu arhitekture, projektni nalogi, [8] in v rezultatih že izvedenih analiz.

Med spremenljive vplive štejemo koristno obtežbo, lastno težo delov konstrukcije, ki so na konstrukciji le med graditvijo, sile, ki jih povzročajo temperaturne spremembe, premične obtežbe in stranski vplivi, ki jih te povzročajo, veter, sneg in led. Za določitev obtežbe zaradi spremenljivih vplivov je potrebno poznati namembnost prostorov,

faznost gradnje in obtežbe (teže) elementov, ki so na konstrukciji med gradnjo, temperaturne spremembe, obtežbo zaradi snega (odvisna od naklona plošče, nadmorske višine in geografske lege) in obtežbo zaradi vetra (odvisna od vetrne cone, izpostavljenosti, višine objekta in naklona plošče).

Za ugotovitev koristne obtežbe bodo vgrajene v zbirko znanja definicije in vrednosti obtežb iz standardov [9], [10], [11] in pravilnikov [8] iv [12]. Te vrednosti so definirane kot enakomerna zvezno porazdeljena obremenitev po celotni površini plošče. Pri določanju koristne obtežbe skladišč in proizvodnih prostorov lahko dobimo potrebne podatke tudi v projektu tehnologije ali inštalacij.

Delitev vplivov na stalne in spremenljive je bila opisana tako, kot to predpisuje [12]. Za analizo in dimenzioniranje bo potrebno obtežbo razdeliti in pripraviti v smislu [8], ki deli vplive na podlagi katerih se izvaja dimenzioniranje na:
- vpliv lastne in stalne teže;
- vpliv spremenljivih obtežb : koristne premične obtežbe (statične in dinamične), obtežbe s snegom in vetrom;
- vpliv drugih obremenitev: spremembe temperature, krčenje betona, razmikanje in posedanje podpor.

Koncentrirana obtežba

Standardi zahtevajo [9] in svetujejo [10] račun plošč tudi za koncentrirano obtežbo, ki deluje v najbolj neugodnem položaju. Koncentrirana obtežba se upošteva (v kolikor ni drugega podatka) v obliki koncentrirane sile, ki deluje na kvadratu s stranico 0.1 * 0.1 m pravokotno na ravnino plošče in ima velikost:
- 1.5 kN za stropne konstrukcije stanovanjskih in javnih zgradb;
- 1.0 kN za obešene stropove, strehe, terase in balkone stanovanjskih in javnih zgradb;
- 0.5 kN za krovne plošče, ki so dostopne samo preko posebnih dostopov;
- p kN za skladišča in proizvodne prostore, pri čemer je p koristna obtežba, ki deluje na 1 m^2 (priporočilo).

Pri skladiščih in proizvodnih prostorih se izvaja analiza na to koncentrirano obtežbo tudi v primeru, če so podatki za kakšno drugo vrsto koncentrirane obtežbe. Za koncentrirane obtežbe se lahko računa z razširitvijo površine obtežbe skozi sloje nasutja, konstrukcije podov ipd. do srednje ravnine plošče pod kotom 45 stopinj.

Minimalna koristna obtežba za skladišča in proizvodne prostore [10]

Pri skladiščih in proizvodnih prostorih znaša najmanjša koristna obtežba:
- min 3.0 kN/m2 za delavnice z lahko opremo (stroji, ki niso težji od 5 kN), garaže za parkiranje potniških avtomobilov in lahkih kamionov, katerih skupna bruto teža ne presega 25 kN.
- min 5.0 kN/m2 za skladišča in ostale vrste garaž ter proizvodnih prostorov, kot so npr. delavnice v tovarnah.

Dinamična obtežba [3,12]

V odvisnosti od značaja objekta se lahko v izračunih konstrukcij premične koristne obtežbe štejejo za mirne. Kadar je potrebno, se velikosti premične obtežbe povečajo z dinamičnim faktorjem, oziroma se izvede analiza z natančnejšimi metodami.

Garaže in druge prostore, po katerih se odvija promet, se analizira v skladu s tipiziranimi vrednostmi kolesnih pritiskov vozil, ki se povečajo z dinamičnim faktorjem [12]. Dinamične vplive, ki jih povzročajo stroji, se računa glede na tip in velikost stroja oziroma po podatkih proizvajalca. Upošteva se faktor dinamičnosti od 1 do 2, odvisno od tega, če stroj deluje mirno ali v močnih sunkih.

Obtežba s predelnimi stenami [9]

Obtežbo s predelnimi zidovi vzamemo v račun kot enakomerno razporejeno obtežbo v vrednosti 0.5 kPa, če predelni zid ni težji kot 2.5 kN/m. V vseh drugih primerih se vplivi predelnih zidov upoštevajo z dejansko obtežbo, položajem in načinom pritrjevanja na nosilno konstrukcijo.

Horizontalna obtežba [9]

Najmanjša horizontalna obtežba po enoti dolžine na ograje in balkone ima sledeče vrednosti:
- 0.5 kN/m za stanovanjske zgradbe, vrtce, bolnice in druge zdravstvene ustanove;
- 1.5 kN/m za športne dvorane;
- 0.8 kN/m za ostale vrste objektov.

Za razne dostope kot so servisni platoji, mostovi za pešce, ograje na strehah, kjer imajo občasen dostop samo posamezniki, upoštevamo koncentrirano horizontalno obtežbo 0.3 kN v katerikoli točki ograje ali ovire.

2.4 ANALIZA PLOŠČE

Analiza plošče obsega:
- izbiro metode po kateri se bo izvajala analiza,
- določitev merodajnih obtežnih kombinacij za račun statičnih količin,
- račun notranjih sil v prerezih plošče,
- dimenzioniranje presekov na upogib in strig po metodi mejnih stanj in kontrola preboja,
- račun razpok in deformacij.

Posamezna opravila kot je določitev merodajnih obtežnih kombinacij, račun notranjih sil v prerezih in dimenzioniranje, se večkrat odvijajo v zanki. Na to vpliva tudi kompliciranost problema.

Izbira metode po kateri se bo izvajala analiza obsega določitev najprimernejše metode računa plošče oziroma izbiro primernega programa. Za osnovo bomo uporabili računski model, ki ga bomo dopolnili s posebnostmi, ki jih bo zahtevala izbrana metoda. [8] predvideva račun upogibnih momentov, prečnih sil in reakcij podpor v ploščah po teoriji elastičnosti, teoriji plastičnosti ali nelinearni teoriji.

Pri računanju vplivov po teoriji elastičnosti lahko vzamemo za Poissonov koeficient vrednost med 0 in 0.2.

Račun statičnih vplivov po teoriji plastičnosti velja praviloma za mejna stanja loma pri delovanju nezgodnih obtežb (eksplozije, udari itd.) in se uporablja pri zaščitnih konstrukcijah (zaklonišča), kjer se za izračun lahko uporabijo statične in kinematične metode.

[8] nam ne predpisuje, kdaj naj se izvaja nelinearna analiza. Glede na to, da izvajamo dimenzioniranje plošč po metodi mejnih stanj, bi bilo pravilno, da bi tudi obremenitve plošč določili z nelinearno analizo, ki upošteva geometrijsko nepopolnost in nelinearnost konstrukcije, fizikalno nelinearnost materialov, reologijo in razpokanost prerezov. V večini primerov izvajamo namreč linearno analizo plošč, dimenzioniramo pa po metodi mejnih stanj (nelinearna metoda). S takšnim pristopom metoda mejnih stanj nima pravega pomena oziroma je natančnost celotnega postopka pri statično nedoločenih konstrukcijah, kar plošče večinoma so, zmanjšana.

Približni postopki [8]

Približni račun plošč po metodi trakov, ki prenašajo obtežbo v eni ali dveh pravokotnih smereh, je dovoljen le, če je obtežba plošč enakomerno razporejena.

Gobaste plošče s pravokotnim razporedom stebrov in enakomerno razporejeno obtežbo se lahko računajo s približnim postopkom po metodi nadomestnih kontinuirnih okvirjev (toga zveza med ploščo in stebri) ali po metodi nadomestnih kontinuirnih grednih nosilcev (členkasta zveza med ploščo in stebri), če razmerje med seboj pravokotnih osnih razmakov stebrov lx in ly izpolnjuje pogoj: 0.75 <= lx/ly <= 1.33. Za širino prečke okvirja oziroma širino grednega nosilca se upošteva osni razmik med stebri ustrezne smeri, za višino pa debelina plošče.

Pri določanju statičnih vplivov v nadomestnem kontinuirnem okviru oziroma grednem nosilcu, se vzame za vsako smer skupna ustrezna obtežba, pri tem pa se upošteva najbolj neugodna lega pomične (koristne) obtežbe (čl. 219 [8]). Porazdelitev statičnih vplivov z nadomestnega kontinuirnega okvirja oziroma grednega nosilca na posamezne dele (trakove) plošče, se računa po teoriji plošč (čl. 219 [8]).

Toga zveza med prečko in stebri se upošteva takrat, če je premer (stranica) kapitela na spoju s ploščo večji od 0.3 lmin, kjer je lmin manjši osni razmak med stebri in če je nagib stožca ali piramide, ki oblikuje kapitel, glede na ravnino plošče večji ali enak 1:3. Toga zveza med ploščo in stebri se ne glede na velikost kapitla uporabi tudi takrat, ko togost stebrov glede na togost prečk "ni majhna". V primeru, da zgornji pogoji niso izpolnjeni, se upošteva členkasta zveza med prečko in stebri (račun po metodi nadomestnih kontinuirnih grednih nosilcev).

Na podlagi lastnih izkušenj menim, da lahko analiziramo plošče z enostavnimi metodami, ki bazirajo na rešitvah v tabelah (teorija elastičnosti), kadar imamo sisteme kontinuirnih plošč v eni ali dveh smereh (polja so približno enako velika) ali posamezne plošče majhnih do srednje velikih razponov obtežene z enakomerno zvezno obtežbo. Geometrija plošč in robni pogoji morajo ustrezati rešitvam v tabelah. V primeru kontinuirnih plošč morajo sosednja polja vzdolž posameznih robov potekati kontinuirno. Dovoljena so le manjša odstopanja. Če imamo plošče z večjimi

razponi in niso izpolnjeni pogoji iz zgornjega odstavka, potem je potrebno izvajati analizo po metodi končnih elementov.

Pri določanju obtežbe plošč se postavi vprašanje o natančnosti predpisane obtežbe. Z uvajanjem računalniško podprtega projektiranja se povečuje natančnost izračunanih vplivov. Vsi ti natančno izračunani vplivi seveda nimajo pravega pomena, če smo že pri obtežbi naredili večjo napako. Obtežba plošč je definirana kot enakomerno razporejena obremenitev po celotni površini plošče. Če pogledamo v realni svet, lahko z gotovostjo trdimo, da takšna nenatančnost pri določevanju obtežbe in kasnejša natančnost pri analizi ne prinašata pričakovanih prihrankov. Iz tega zornega kota lahko upravičimo tudi približne metode računa enostavnih plošč.

Določitev obtežnih kombinacij

Določitev obtežnih kombinacij pomeni definiranje kombinacij obtežb, ki so sestavljene iz vplivov po [8] in plan razporeditve obtežb po tlorisu plošče. Posamezna polja plošč je potrebno obtežiti z verjetnimi obtežnimi kombinacijami tako, da bomo dobili v posameznih presekih plošče ekstremne vrednosti notranjih sil. Pri enostavnih kontinuirnih ploščah določimo ekstremne vrednosti statičnih količin s šahovsko razporeditvijo obtežbe. Za ekstremne momente v poljih obtežimo posamezna polja šahovsko (izmenično). Za določitev ekstremnih upogibnih momentov na podporah je običajno dovolj točno že, če obtežimo celotno površino plošče z maksimalno obtežbo.

V splošnem je potrebno za določitev ekstremnih vrednosti notranjih sil uporabiti vplivnice. Vplivnico določimo za posamezno statično količino in določeno točko plošče. Ordinata vplivnice predstavlja velikost posameznega vpliva na določenem mestu plošče. Vplivnice za statične količine pri ploščah so ploskve v prostoru. Določanje statičnih količin z vplivnicami bi bilo za plošče v splošnem zelo zamudno opravilo. Zato bo primerneje s pomočjo vplivnic določiti le položaje najbolj neugodne obtežbe in nato izračunati količine z običajnimi metodami.

Račun notranjih sil

Račun notranjih sil v prerezih plošče je po izbiri metode računa odvisen od vrste programa, ki ga bomo uporabili za račun oziroma od analitične ali tabelarične rešitve. Rezultati analize so momenti, prečne sile, reakcije v podporah, glavni momenti, zasuki in vertikalni pomiki. Pri računu vertikalnih pomikov je pri elastičnih teorijah upoštevana le togost homogenega betonskega prereza. Zato je glede na [8], v primeru, da je račun deformacij potreben, treba dodatno upoštevati delež deformacij zaradi pojava razpok v betonu.

Pri metodah, ki bazirajo na metodi končnih elementov, je potrebno upoštevati navodila izdelovalca programa o tem, kako gosto mrežo je potrebno izbrati pri sestavi matematičnega modela s katerim bomo modelirali ploščo. Velja tudi, da je potrebno ob "motnjah" (odprtine, koncentrirane obtežbe, točkovne podpore, nepravilna geometrija, ipd.) mrežo končnih elementov zgostiti. Pri metodi končnih elementov bi bili rezultati urejeni po elementih in vozliščih, pri ostalih metodah pa po referenčnih točkah. Pri analizah z metodo končnih elementov je nujen poprocesor za prikaz rezultatov, ki nam izračunane veličine izriše in s tem omogoči boljšo kontrolo.

Dimenzioniranje

Dimenzioniranje presekov plošče na upogib in strig se bo izvajalo na osnovi veljavnega pravilnika [8]. Notranje sile se bodo množile z ustreznimi varnostnimi faktorji, ki so odvisni od vrste vpliva, dosežene deformacije najbolj tegnjene ali najmanj tlačene armature in od tega ali stalna teža na mejno nosilnost prereza deluje ugodno ali neugodno.

Vhodni podatki za račun so geometrija betonskega preseka (običajno računamo plošče na 1 m širine) zaščitni sloj betona, marka betona, kvaliteta jekla, upogibni momenti in prečne sile. Program bo nato sam določil dovoljene napetosti v odvisnosti od marke betona, kvalitete jekla in debeline plošče ter potrebno upogibno in strižno armaturo. Dimenzioniranje se bo izvajalo za vsak mogoč in predviden obtežni primer, merodajna armatura v posameznih prerezih plošče, pa bo določena na osnovi največje vrednosti v posameznem prerezu. Pri dimenzioniranju plošč, ki prenašajo obtežbo v dveh smereh velja, da se armatura za prevzem večjega upogibnega momenta položi bližje površini plošče. Za gobaste plošče velja, da se sme v primeru, če ima kapitel nagib večji od 1:3, v računu upoštevati samo tista višina, ki ustreza nagibu 1:3.

Minimalna armatura plošč

Včasih se zgodi, da je izračunana armatura v plošči manjša od minimalne potrebne, ki jo določajo predpisi [8]. Minimalna armatura plošč je odvisna od vrste armature in vrste plošče. Zanjo velja naslednje: Plošče nosilne v eni

smeri (razmerje med stranicami večje od 2) morajo imeti v conah največje obremenitve, če so armirane z gladko armaturo, prerez armature najmanj 0.15 odstotka betonskega preseka, če so armirane z rebrasto armaturo najmanj 0.1 odstotka betonskega preseka in prerez armature najmanj 0.075 odstotka, če so armirane z mrežno armaturo. Razdelilna armatura plošč ne sme biti manjša od ene petine prereza glavne armature (za gladko armaturo min. 0.1 odstotka betonskega prereza in za rebrasto armaturo min. 0.075 odstotka).

Plošče nosilne v dveh smereh (razmerje med stranicami manjše ali enako 2) morajo imeti v conah največjih obremenitev presek armature najmanj 0.1 odstotka betonskega prereza, če so armirane z rebrasto armaturo in presek armature najmanj 0.075 odstotka betonskega prereza, če so armirane z mrežami.

2.5 KONSTRUIRANJE

Konstruiranje armature se bo izvajalo na osnovi izračunane armature v posameznih presekih, geometrijskega modela in znanja, ki ga je potrebno obvladovati pri izdelavi armaturnega načrta. Končni cilj te faze je izdelava armaturnega načrta. Način razporeditve armature v plošči zavisi predvsem od vrste armature, ki jo bomo uporabili, od geometrijske oblike plošče (plošče nosilne v eni smeri, v dveh smereh, okrogle plošče, gobaste plošče, kombinirane plošče) in od vrste obtežbe. Pri tem je potrebno poleg splošnega znanja za armiranje plošč s palicami in mrežami poznati tudi pravila za sidranje in stikovanje armature [8].

Armiranje z armaturnimi palicami [8]

Razmiki med palicami glavne armature v conah največjih napetosti ne smejo biti pri enakomerno porazdeljeni obremenitvi večji od 2d oziroma 1.5d pri koncentrirani obtežbi (d-debelina plošče). Kjer je armatura manjša zaradi zmanjšanja momentov, razmik med palicami ne sme biti večji od 40 cm. Čisti razmik med palicami armature ne sme biti manjši od 4cm.

Na krajnih prostih podporah plošč je treba zakriviti eno tretjino do ene polovice glavne armature in jo voditi preko podpore v zgornjo cono. Na koncih palic je treba izdelati kljuke. Krivljenje potrebne armature nad prosto podporo se lahko nadomesti z armaturo, ki se vodi preko podpore, tako, da lahko prevzame morebitne momente nasprotnega predznaka.

Na srednjih podporah plošč se lahko, če to dopuščajo glavne natezne napetosti, opusti krivljenje armature iz polja. V tem primeru se momenti iz polja pokrivajo z dodajanjem ravnih armaturnih palic. Palice spodnje glavne armature, ki se končujejo na prostih podporah, morajo imeti kljuke in sidrno dolžino v skladu z [8]. Vzdolž prostega roba plošče brez podpore je treba zaradi konstrukcijskih razlogov poleg potrebne armature za prevzem upogibnih momentov predvideti tudi vzdolžno armaturo, ki je sestavljena iz najmanj ene palice v zgornjem in spodnjem vogalu. Vzdolžne palice ob robu debelejših plošč se razporedijo tudi po višini plošče. Prečna armatura, ki obdaja vzdolžno armaturo, je sestavljena iz stremen "lasnic", zaprtih stremen ali armature, pravokotne na prosti rob plošče.

Enaka določila veljajo tudi za armiranje odprtin v plošči, pri čemer se okoli odprtine v ravnini plošče doda tudi poševno položena armatura (prevzem koncentriranih napetosti okoli odprtine).

Plošče nosilne v eni smeri [8]

Razmik razdelilne armature ne sme biti večji od 4d, če je na plošči enakomerno porazdeljena obtežba, oziroma ne večji od 3d, če je na plošči koncentrirana obtežba. Ta razmik ne sme znašati na mestih največjih obremenitev več kot 30 cm oziroma ne več kot 40 cm v področju podpor.

Plošče nosilne v dveh smereh [8]

Robni pasovi plošč, ki prenašajo obtežbo v dveh pravokotnih smereh, se lahko armirajo s polovico ustrezne armature, ki je za posamezno smer potrebna v sredini plošče. Širina teh pasov je enaka četrtini manjšega razpona plošče. Pri drugih vrstah enakomerno porazdeljenih ali koncentriranih obtežb je treba armaturo razporediti glede na računske upogibne momente. Krožne plošče manjšega razpona lahko armiramo kot kvadratne, ki prenašajo obtežbo v dveh pravokotnih smereh, sicer se krožne plošče armirajo praviloma z obročno in radialno armaturo.

Armiranje z armaturnimi mrežami

Pri armiranju z armaturnimi mrežami je bistvena izbira ustrezne mreže. Pri pretežno kvadratnih ploščah je običajna izbira mrež z enakim presekom armature v obeh smereh (Q mrže), pri ploščah, ki so bližje pravokotni obliki

(lx/ly=2), pa se izkaže, da je racionalneje uporabiti mreže, ki imajo v eni smeri bistveno večji presek armature (R mreže).

Gobaste plošče [8]

Za razmik med palicami armature in najmanjši odstotek armiranja gobastih plošč veljajo enaka določila kot za plošče nosilne v eni ali v dveh smereh. Poleg tega moramo upoštevati še naslednje: Najmanj 50 odstotkov armature iz polja se mora voditi naravnost, brez krivljenja vzdolž razpona lx ali ly. Ploščo je treba v kritičnem preseku ojačiti pred prebojem. Vzame se, da je v tlorisu kritični presek krog na razdalji hs/2 (hs je statična višina plošče) od roba krožnega stebra s premerom ds. Natančen postopek ojačitve kritičnega preseka in ukrepanja v primeru različnih vrednosti strižnih napetosti, je opisan v čl. 220 in 221 [8].

2.6 OCENA IN OPTIMIZACIJA

Ko se izvršijo vse prej opisane faze projektiranja, lahko na podlagi izračunanih količin armature in betona ter dela potrebnega za realizacijo ocenimo izbrano etažno konstrukcijo. Končni cilj ocene je seveda določitev cene etažne konstrukcije, ki naj bi bila čim nižja. Seveda pa ni nujno, da bo plošča, ki bo izdelana iz najmanjše količine betona in armature tudi najcenejša. Kontinuirne plošče v eni ali dveh smereh, ki so podprte z linijskimi podporami imajo kritični presek na podpori. Če bi ploščam na podpori vutasto povečali debelino, bi na ta način dobili znaten prihranek na betonu v sredini polja, cena opaženja pa bi se seveda povečala.

Enostavni pokazatelj ekonomičnosti projektirane rešitve je količina potrebne armature za 1 m3 betona. S pomočjo le tega lahko kasneje za podobne konstrukcijske zasnove izdelamo grobe ocene (predhodne ponudbe). V primeru, če armiramo ploščo z mrežami, so možne variante, kar se tiče izkoriščenosti izbrane armaturne mreže z ozirom na debelino plošče. Lahko spreminjamo debelino plošče tako, da je armaturna mreža optimalno izkoriščena.

Na osnovi teh razmišljanj se lahko z nekoliko spremenjenim konceptom reševanja problema vrnemo na fazo zasnove in ponovimo proces projektiranja do optimalne rešitve.

3. SKLEP

Sedanje stanje na področju projektiranja armiranobetonskih plošč v stavbah je omejeno na uporabo posameznih programov. Z uvajanjem ekspertnih sistemov, uporabo računalnika za povezavo med posameznimi fazami projektiranja in uporabo skupnih podatkovnih baz, bomo izločili možnost pojavljanja napak pri prehodu iz ene faze na drugo, časovno zamudno vmesno kontrolo, poenotili videz tehnične dokumentacije in v končni fazi zmanjšali tudi čas za izdelavo projektne dokumentacije.

LITERATURA

1. D.A.Waterman, A Guide to Expert System, Addison- Wesley (1986).
2. J.Duhovnik, Ekspertni sistemi v gradbeništvu, Gradbeni vestnik št.9-10, 1989.
3. Začasni tehnični predpisi za obtežbo stavb (Ur. list FNRJ 61/48).
4. S. Romič, Krstasto armirane konstrukcije, Naučna knjiga, Beograd 1989.
5. J. Duhovnik, Ekspertni sistemi za projektiranje gradbenih konstrukcij, Zbornik 3.seminarja Računalniško projektiranje gradbenih konstrukcij, Ljubljana 1986.
6. S. Romič, Pečurkaste i kasetirane konstrukcije, Naučna knjiga, Beograd 1986.
7. Tehnični predpisi o delovanju vetra na nosilne jeklene konstrukcije (Ur. list SFRJ 41/64).
8. Pravilnik o tehničnih normativih za beton in armirani beton (Ur. list SFRJ št. 11/87).
9. JUS U.C7.121 - Koristna opterećenja stambenih i javnih zgrada.
10. JUS U.C7.122 - Odredivanje koristnog opterećenja u proizvodnim pogonima i skladištima.
11. JUS U.C7.123 - Sopstvena težina konstrukcija, nekonstrukcionih elemenata i uskladištenog materiala koji se uzima u obzir pri dimenzioniranju.
12. Pravilnik o tehničnih normativih za obtežbe nosilnih gradbenih konstrukcij (Ur. list SFRJ 26/88).

Igor Grdina[1], Jernej Cimperšek[2]

PROGRAMSKA OPREMA ZA RAČUN MOSTNIH KONSTRUKCIJ

POVZETEK

V nalogi sta prikazana računalniška programa P-MUPDI in P-CURDI za elastično analizo prednapetih škatlastih mostnih konstrukcij. Program P-MUPDI je namenjen analizi ravnih škatlastih mostov po metodi zgibanih plošč, program P-CURDI pa analizi mostnih konstrukcij s konstantno horizontalno ukrivljenostjo po metodi končnih trakov. Oba programa upoštevata tudi vzdolžno ali prečno prednapenjanje.Prikazan je tudi program SNOOPY za grafično prikazovanje notranjih statičnih količin, pomikov in napetosti v poljubnih prerezih mostnih konstrukcij. Te količine so lahko rezultati programov P-MUPDI in P-CURDI ali drugih podobnih programov.Na primeru viadukta Hreljin je prikazana uporabnost programov. Na tem primeru je opravljena študija vpliva velikosti krivine na rezultate.

PROGRAM EQUIPMENT FOR THE ANALYSIS OF BRIDGES

ABSTRACT

Two computer programs for the analysis of prismatic bridges P-MUPDI and P-CURDI are described in the work. The program P-MUPDI for the analysis of straight prismatic bridges uses the folded plate elasticity method and P-CURDI for the analysis of circularity curved prismatic bridges uses the finite strip method. Both longitudinal and transverse prestressing may be specified in both programs.The computer program SNOOPY, which enables the drawing of transverse axial forces and moments, displacements and longitudinal stresses in the arbitrary cross-sections of bridges and other structures, was developed as well. The program SNOOPY helps us to review the results of the programs P-MUPDI and P-CURDI or other similar programs.An example of the viaduct Hreljin demonstrates the capabilities of the P-MUPDI, P-CURDI and SNOOPY. This example also shows us the effect of the horizontal curvature of the structure.

1.0 DELOVANJE PROGRAMOV

1.1 Modeliranje konstrukcije

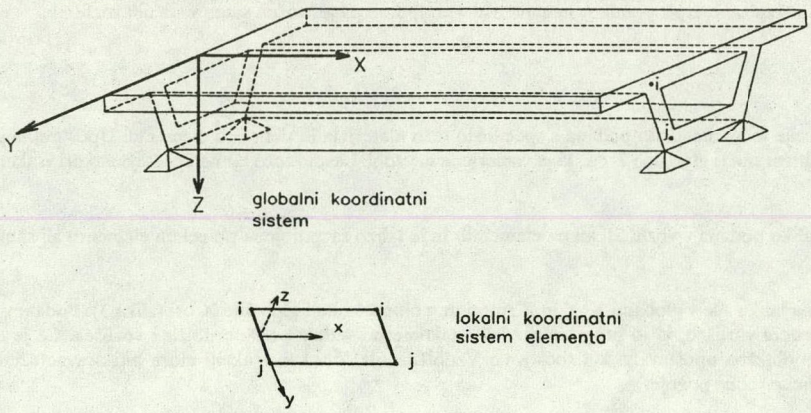
Sistem je kombinacija konstrukcije iz lupinastih elementov (prizmatičnih ali izseki rotacijskih lupin) in podpornih konstrukcij iz diafragem ali prečnih okvirjev. Prvi korak je določitev števila teh treh tipov konstrukcije. Sistem lupinastih elementov mora biti raven ali v krožni krivini in vrtljivo podprt na obeh koncih, prerez mostu pa je lahko poljuben vendar konstanten vzdolž osi. Diafragma in prečni okvirji so lahko nameščeni kjerkoli prečno na sistem elementov. Na začetku in koncu konstrukcije so elementi priključeni na robni diafragmi, ki sta togi v svoji ravnini.

Sistem je sestavljen iz pasovnih lupinskih elementov, ki upoštevajo membransko in upogibno togost. Elementi segajo po celotni dolžini konstrukcije in so povezani z vozlišči vzdolž vzdolžnih robov. Elastična teorija je uporabljena za izotropne elemente (P-MUPDI) in ortotropne elemente (P-CURDI). Zvezne in koncentrirane obtežbe ter prednapetje se lahko upošteva kjerkoli na konstrukciji.

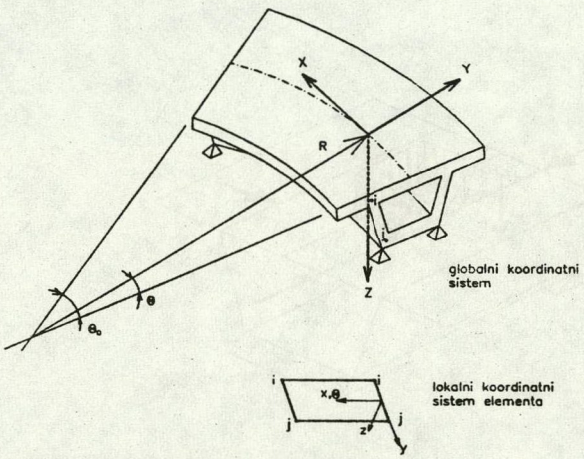
Pri modeliranju mostu moramo upoštevati, da ima posamezni element konstantno debelino. V program podamo

1) dipl.ing., PROJEKTIVA INŽENIRING Piran
Univerza v Ljubljani, FAGG - Katedra za mehaniko
2) mag., ul. Bratov Učakar 56, Ljubljana

koordinate vozlišč, lastnosti materialov in lokacijo elementov.



Slika 1 : Koordinatni sistem programa P-MUPDI



Slika 2 : Koordinatni sistem programa P-CURDI

Vozlišča določajo razdelitev prečnega prereza na elemente in jih najprej postavimo v stike reber z zgornjo in spodnjo konstrukcijo. Dodatna vozlišča med stiki reber lahko dodamo, če imamo prečno napenjanje, velike skoke v debelini zgornje plošče ali če potrebujemo točnejši vpliv koncentriranih obtežb med rebri. Vmesna vozlišča na stojinah se uporabijo, če je stojina krožna, prednapeta ali je na njej koncentrirana obtežba. Oštevilčenje vozlišč in elementov je lahko poljubno, vendar se priporoča čim manjša razlika med sosednjimi vozlišči in da so elementi z istimi karakteristikami oštevilčeni skupaj.

1.2 Vrste podpor

Vmesne podpore sistema so lahko definirane kot toge podpore ali pa kot pomični okvirji, ki morajo ležati vzporedno z ravnino Y-Z. Takšne vmesne podpore podpirajo konstrukcijo le v ravnini Y-Z, zato je kompatibilnost

pomikov med podporami in konstrukcijo zagotovljena samo za pomike v smeri Y in Z in rotacije okoli osi X in ne za pomike v smeri X. To pomeni, da lahko upoštevamo prečni vpliv vmesnih podpor, vzdolžnega vpliva pa ne.

Na podporni konstrukciji ni dovoljena nobena druga obtežba razen sil medsebojnega vpliva s konstrukcijo. Sile medsebojnega vpliva so izpisane, izpis pomikov in napetosti v podporah pa je možen samo v stičnih vozliščih.

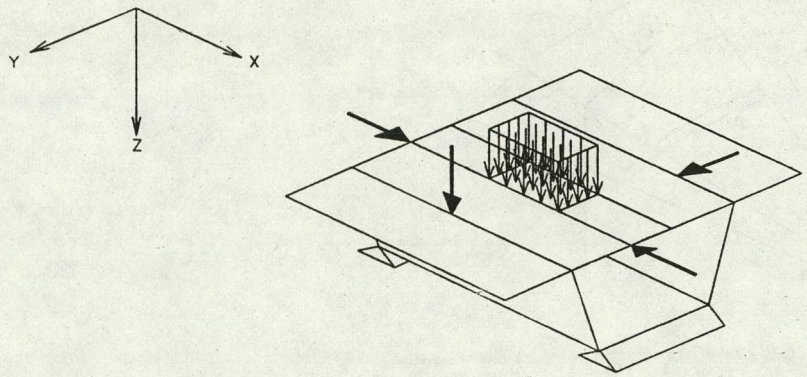
1.3 Vrste obtežb

Lastna teža konstrukcije je avtomatično podana s specifično težo materiala in debelino elementa. Upoštevana je tako, da deluje v pozitivni smeri globalne Z osi, ki je usmerjena navzdol. Lastno težo lahko upoštevamo pri vsakem obtežnem slučaju.

Splošna obtežba je lahko podana v vozliščih ali na elementih in je lahko razporejena po celem elementu ali samo na njegovem delu.

Vozliščna obtežba ima lahko sile v globalni X, Y in Z smeri in momente okoli globalne X osi (slika 3). Podane so kot obtežbe v določenem vozlišču, ki jo program razdeli enakomerno vzdolž podane dolžine vozlišča. Če je ta dolžina enaka nič, je obtežba upoštevana kot točkovna. Vzdolžna sila X v konstrukciji mora biti uravnotežena glede na predpostavljene robne pogoje.

Površinsko obtežbo predstavljajo sile v globalni Y in Z smeri. Podane so kot intenziteta obtežbe na površino in sicer tako, da podamo X koordinato začetka delovanja in dolžino delovanja, prečno po elementu pa je obtežba pri P-MUPDI-ju enakomerno razporejena, pri P-CURDI-ju pa lahko poteka linearno. Če je dolžina delovanja nič, se upošteva kot prečna linijska obtežba.



Slika 3 : Vrste obtežb na konstrukcijo

Poseben obtežni primer predstavljajo kabli za prednapetje. Ti so lahko vzdolžni ali prečni. Vzdolžni kabli lahko ležijo v katerem koli elementu prečnega prereza in potekajo po celotni dolžini ali samo delu konstrukcije. Prečni kabli so ravno tako lahko v vseh elementih ali samo v delu in morajo biti vzporedni z ravnino Y - Z.

Vsak vzdolžni kabel je enakomerno razdeljen na točke, kjer deluje na element akcijska sila kabla v smeri X, Y in Z. Te vozliščne sile kabla se spremene v statično enakovredno nadomestno obtežbo, ki deluje v obeh vozliščih elementa.

Nadomestno obtežbo uporabimo v vozliščih kot delno zvezno obtežbo na majhni dolžini. Dolžina te delne obtežbe je odvisna od razmaka med točkami kabla, lahko pa je tudi poljubno podana. Uporabe te kratke zvezne obtežbe namesto koncentrirane, omogoča hitrejšo konvergenco in bolje prikaže dejansko obtežbo med napenjanjem.

Realne lokalne napetosti zaradi sidranja niso upoštevane, ker je konstrukcija v resnici izpostavljena sidrnim silam

vzdolž osi, ki delujejo pod sidrno ploščo. V analizi konstrukcije pa so lahko predstavljene samo kot vozliščne prečne sile, ki delujejo na vzdolžna vozlišča blizu sidra. Cepilne sile moramo obravnavati ločeno.

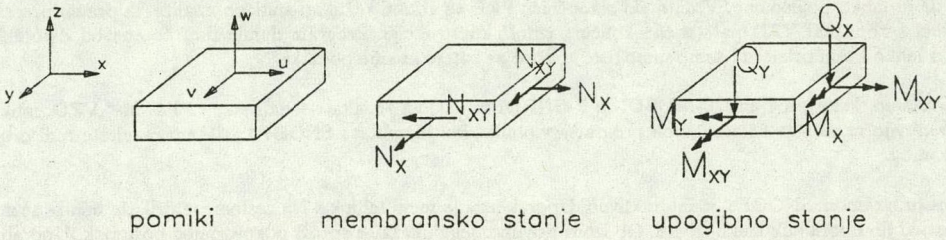
Pri prečnih kablih delujejo kabelske točkovne sile v ravnini Y - Z. Te sile nadomestimo statično vozliščno obtežbo in momenti v vozlišču konstrukcije.To nadomestno statično obtežbo uporabimo v vozliščih kot enakomerno razporejeno obtežbo po dolžini skupine kablov. Če je dolžina skupine kablov enaka nič, je obtežba točkovna.

Programa računata takojšnje izgube napenjalne sile v kablih zaradi dveh glavnih vzrokov : trenje med kablom in cevjo in zdrs kabla pri zaklinjanju. Oba vzroka zmanjšujeta napenjalno silo vzdolž kabla.

1.4 Rezultati programov

Izpis vsebuje pomike vozlišč, napetosti in notranje sile v prerezih. Pomiki vozlišč v X, Y in Z smeri, rotacija okoli X osi so izpisani za vsa vozlišča vzdolž X osi. Notranje sile v elementih so lahko izpisane na podanih mestih vzdolž X osi ali pa na enakih razmakih prečno po elementu.

V izpisu po elementih dobimo pomike u,v,w v lokalnem koordinatnem sistemu. Notranje sile N_x, N_y, N_{xy}, Q_x, Q_y, M_x in M_{xy} in napetosti σ_x, σ_y in σ_{xy} so izpisane in delujejo v lokalnih smereh. Notranje napetosti v elementih so numerično integrirane v izbranih prerezih, da dobimo skupno osno in prečno silo ter upogibni moment celotnega prečnega prereza.



Slika 4 : Notranje sile v elementu

Notranje sile za celotni prečni prerez so podane v globalnem koordinatnem sistemu. Dobimo jih z integriranjem po prečnem prerezu.

Pri integraciji je uporabljeno trapezno pravilo. Natančnost računa je odvisna od izbranega intervala, posebej pri izrazito nelinearno razporejenih napetostih. Če želimo veliko natančnost integracije, je priporočljivo povečati število elementov.

1.5 Potek računa

Programa P-MUPDI in P-CURDI na začetku zahtevata ime datoteke s podatki, ki ima končnico *.DAT. Med izvajanjem programa se na zaslonu izpisuje, kateri del računskega postopka se trenutno izvaja in tako lahko hitro ugotovimo napako v vhodni datoteki.

Potek računa :

1. Postavitev baze podatkov, naslov problema.
2. Podatki o razdelitvi prereza na elemente, koordinate vozlišč, robni pogoji, materiali, podatki o zahtevanih rezultatih, vozliščne in ploskovne obtežbe in definicija diafragem in prečnih okvirjev.
3. Podatki o legi in silah v vzdolžnih kablih ter računnadomestne obtežbe.
4. Podatki o legi in silah v prečnih kablih ter račun nadomestneobtežbe.
5. Podatki o prečnih okvirjih, koordinate vozlišč, robni pogoji,podatki o materialu, prerezih in legah elementov. Sestavitev matrike okvirja in račun notranjih sil okvirja.

6. Podatki o diafragmah in sestavitev matrike podajne diafragme.
7. Rešitev harmonične analize za zunanjo obtežbo ter medsebojno delujoče sile. Komponente začetnih pomikov vozlišč zaradiposameznih členov vrste spravimo na disk.
8. Seštevanje podajnosti konstrukcije in matrike začetnih pomikov zaradi harmonične analize. Transformacija teh matrik zaradipomikov pomičnih diafragem.
9. Sestavljanje skupne podajnostne matrike iz podajnostnih matrik konstrukcije, pomičnih okvirjev in pomičnih diafragem.
10. Reševanje sistema zaradi medsebojno delujočih sil, transformacija teh sil v sile na pomičnih diafragmah.
11. Seštevanje pomikov sistema, notranjih sil zaradi zunanje obtežbe in medsebojno delujočih sil po posameznih členih vrste in po obtežnih primerih.
12. Za vsak obtežni primer poišče pomike prečnih okvirjev in notranje sile okvirja zaradi medsebojno delujočih sil med okvirjem in konstrukcijo.

1.6 Program SNOOPY

Uporabnik, ki želi uporabljati program SNOOPY, mora najprej izvršiti statično analizo konstrukcije z enim od programov P-MUPDI ali P-CURDI.

Po končanem računu bosta programa, poleg datoteke rezultatov, izpisala še datoteki s končnicama *.PRE in *.VZD. Ti datoteki predstavljata vhodne podatke za program SNOOPY. Datoteki sta izpisani v ASCII znakih, tako da ju lahko pogledamo. V datoteki s končnico PRE so zbrani rezultati statične analize za prečni prerez, v datoteki s končnico VZD pa statične količine vzdolž konstrukcije. Program deluje tudi če ene od datotek ni, vendar lahko v tem primeru rišemo samo tiste količine za katere imamo podatke.

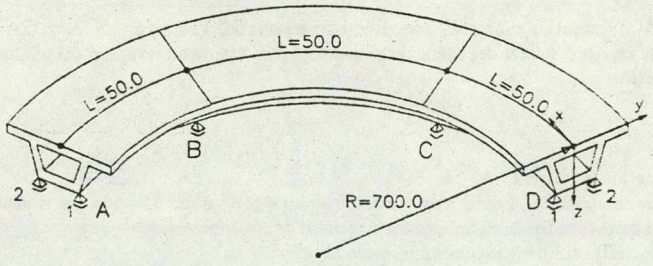
Če poznamo, kako programa P-MUPDI in P-CURDI zapisujeta rezultate v datoteki *.PRE in *.VZD, lahko z preureditvijo rezultatov katerega koli programa v obliko, kot jo zahteva SNOOPY, rišemo rezultate tudi drugih programov.

Delo s programom SNOOPY je interaktivno. Uporabljena je meni tehnika. Na zaslonu se prikaže meni - seznam ukazov, ki jih uporabnik lahko izbere. Ob izbiri posameznega ukaza se sproži odgovarjajoč postopek. Uporabnik postopoma kreira vsebino slike, ki jo nato nariše na izbrano grafično napravo.

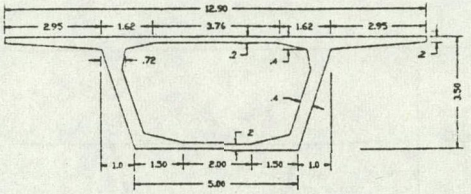
2.0 Računski primer

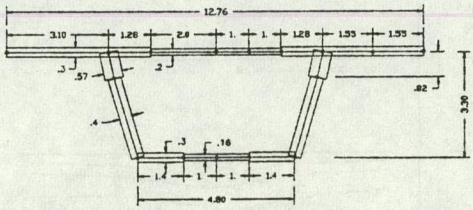
Viadukt Hreljin se nahaja na trasi avtoceste Karlovac - Rijeka. Skupna dolžina viadukta je 535.0 m. Prečni prerez viadukta je škatla širine 12.90 m, dolžina konzolnih kril je 2.95 m, Višina škatle je 3.50 m in je konstantna po celotni dolžini konstrukcije. Konstrukcija je v vzdolžni smeri in prečni smeri (zgornja plošča) prednapeta s kabli tipa IMS - SPB.

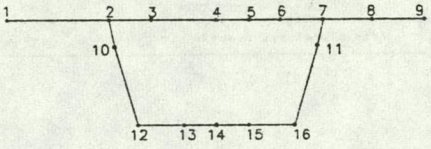
Za račun prečne smeri s programom P-MUPDI smo se pri računskem modelu omejili na tri razpone (3 x 50.0 m), s tem da smo obravnavali srednje polje modela.

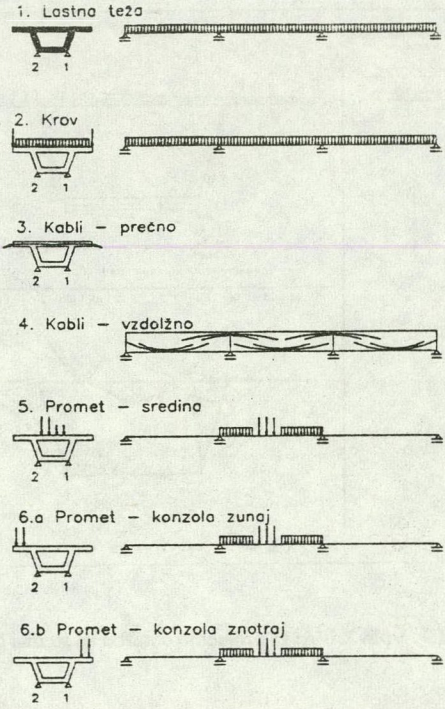


Slika 5 : Računski model viadukta Hreljin



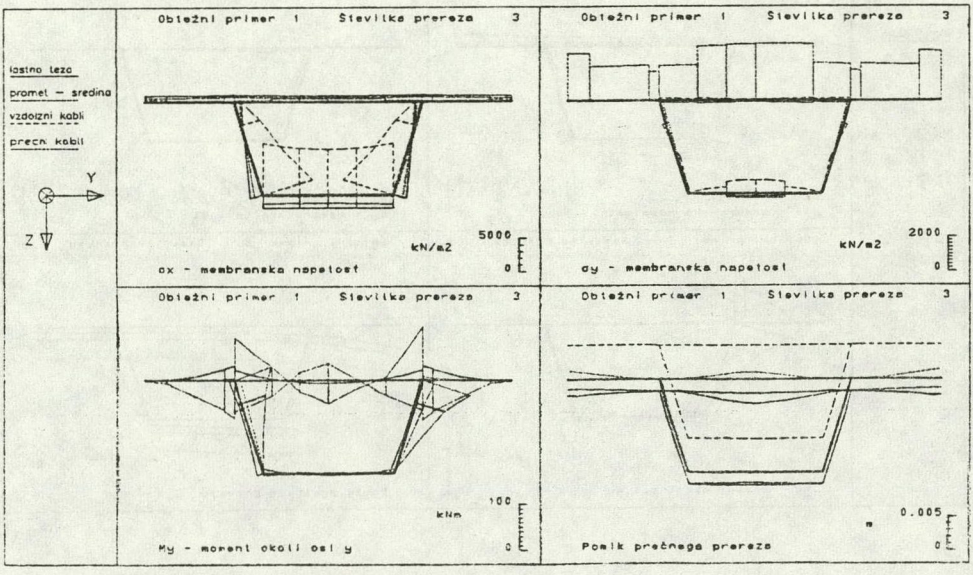




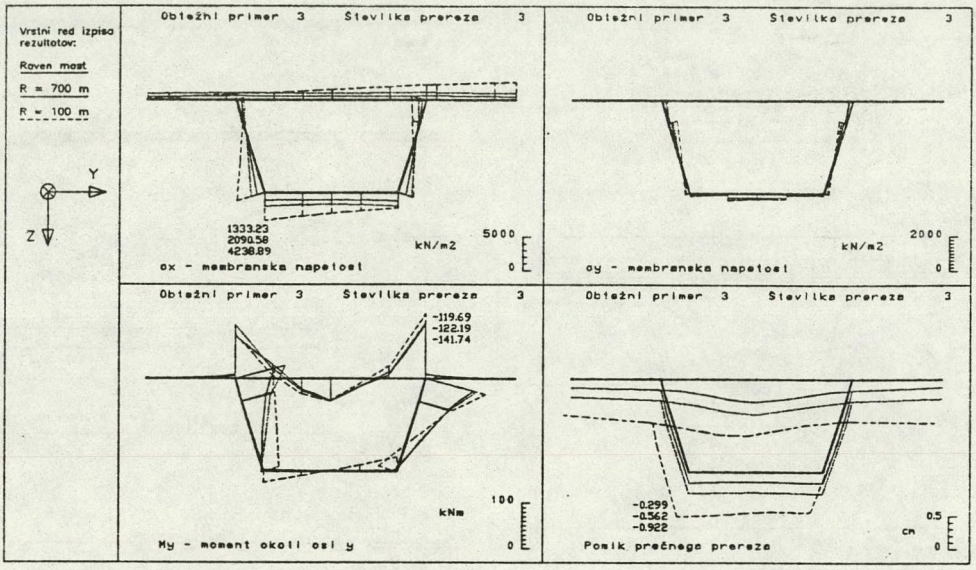


Slika 6 : Modeliranje prereza

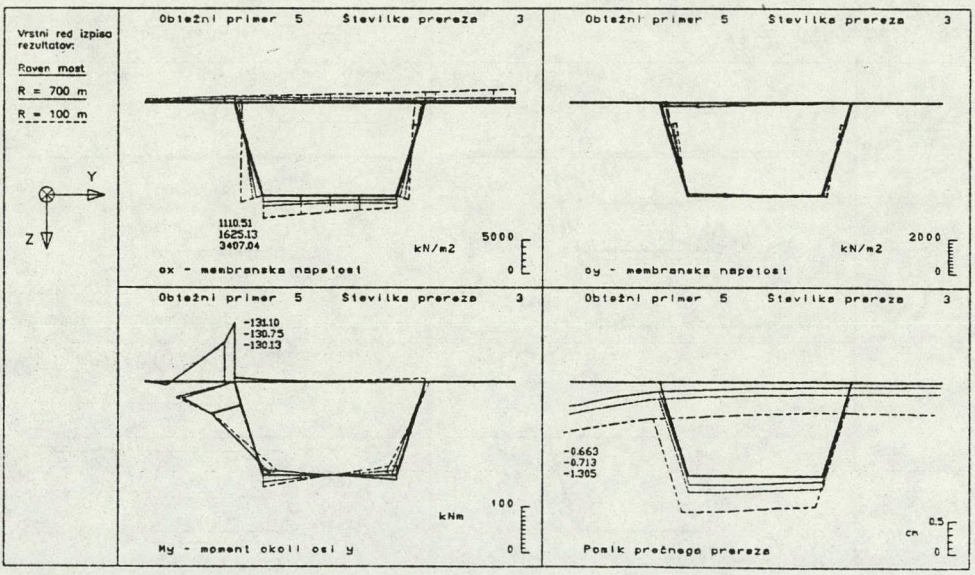
Slika 7 : Obtežni primeri



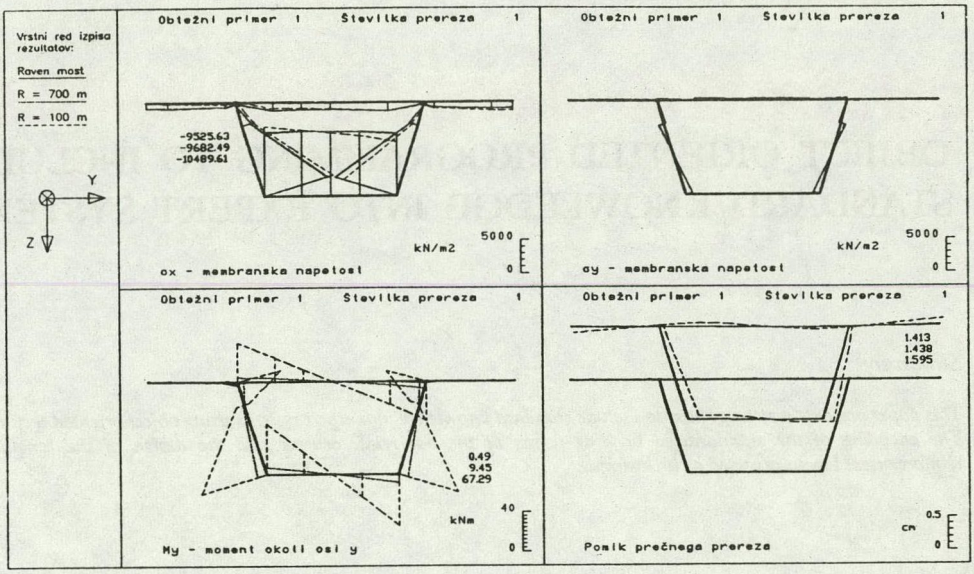
Slika 8 : Velikosti vpliva posameznih obtežnih primerov



Slika 9 : Vpliv krivine za prometno obtežbo na sredini škatle



Slika 10 : Vpliv krivine za prometno obtežbo na notranji konzoli škatle



Slika 11 : Vpliv krivine za vzdolžne kable

3.0 Zaključek

Analiza konstrukcije na prostorskem modelu je možna tudi z drugimi računalniškimi programi (SAP84). Programa P-MUPDI in P-CURDI sta v prednosti pred bolj splošnimi programi (metoda končnih elementov) zaradi enostavnejše priprave podatkov, hitrejšega računa in neposrednega upoštevanja prečnih in vzdolžnih kablov s podajanjem geometrije kablov. Vse te prednosti izvirajo iz uporabe metode končnih trakov, vendar je zaradi uporabe te metode dodatna omejitev in sicer, da se prečni prerez ne sme spreminajti vzdolž osi konstrukcije.

Iz dobljenih rezultatov za viadukt Hreljin smo zaključili, da moramo prečno smer na škatlastih mostovih računati s prostorskim modelom. Le na ta način zajamemo vpliv vzdolžne smeri na prečno smer. Pri ločenem obravnavanju prečne in vzdolžne smeri predvsem zanemarimo vpliv kablov in sicer prečnih pri vzdolžni smeri, kar ni tako hudo in vzdolžnih pri prečni smeri, kar pa je lahko zelo narobe, tembolj, če je konstrukcija v krivini.

Za tak prostorski način računa škatlastih mostov s konstantno višino je program P-MUPDI zelo primeren. Za konstrukcije s konstantno višino, ki imajo vzdolžno os v horizontalni krivini, pa uporabljamo program P-CURDI, ki ravno tako uporablja metodo končnih trakov.

4.0 Literatura

1 Scordelis A.C., Chan E.C., Ketchum M.A., van der Walt P.P.: Computer Programs for Concrete Box Girder Bridges, Report No.UBC/SESM-85/02, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, 1985

2 Cimperšek J.: Elastična analiza prednapetih mostnih konstrukcij, magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, FAGG, junij 1991, Ljubljana

3 Grdina I., Cimperšek J.: Viadukt HRELJIN, statični račun prečne smeri, GRADIS Biro za projektiranje Maribor, februar 1991, Ljubljana

Christoph Meinecke[1], Dejan Žlajpah[2]

OBJECT ORIENTED PROGRAMMING TO INCLUDE STANDARD KNOWLEDGE INTO EXPERT SYSTEMS

Summary

This paper presents a strategy how to include standard knowledge into expert systems using object oriented techniques. The encoding of the standardized bending forms of the bar reinforcement and the design of the longitudinal reinforcement layout are used as an example.

1. INTRODUCTION

The layout of the reinforcement in concrete members is regulated by standards [5], [3] and additive text books [2]. So knowledge is reproduced in a lingual manner and not as an algorithm. In a modern constructive CAD - system the greater part of this knowledge must be integrated to ensure system supported or computer aided construction. This integration can be realized as a linkage between an expert system and the CAD system. Expert systems are especially suitable to represent lingual knowledge.

The AI (artificial intelligence) research in the field of expert systems changes its view about an expert system from only rulebased [12] to hybrid systems [1], [7], [11]. Such a system contains a data base which today should be object oriented and a rulebase which dynamically manages the data base and develops the required solution.

The detailing of reinforced concrete structures is a design process. Design is one major work of an engineer. But it is not easy to adjust this process to the computer aided data representation. One attempt to formulate this complex process is demonstrated in this paper.

1) Assistent, Civ.Eng.,
Institut fuer Massivbau und Baustofftechnologie,
University of Karlsruhe, Germany
E-mail: gd11@rz.uni-karlsruhe.de

2) Assistent, MSCE,
FAGG-IKPIR, University of Ljubljana, Slovenia

2. OBJECT ORIENTED PROGRAMMING

In an object oriented system only objects exists. These objects always have a certain inheritance relationship to each other. The typical data structure for the object oriented programming is the hierarchy: superordinated objects leave knowledge to subordinated objects. In contrast to the traditional two-valued local data structure (variable -> value) the global data structure of the object oriented programming is three-valued (object -> property -> value). Assigned to these objects there can be procedures or programmes (demons), which are dependent on the specific data status. They can manipulate the own object's data set or the data of different objects by sending messages to them.

With its three valued data structure the object oriented programming models the human imagination: for us things (OOP: objects) have specific qualities (OOP: properties) which, at least, can have certain values (= OOP). The abstract and only with temporary availability equipped classical data structure (variable -> value) can effort this modeling - if possible at all - only limited.

Knowledge is stored only one time in a well shaped taxonomy: the place is the object where it is general to all subordinated objects to which the knowledge is left. So if a fact must be changed this change is to be made only one time and it will be left to all succeeding objects.

There are two different kinds of objects in an object oriented data base. The first one is used as template

to store the knowledge for the description of things. The second one represents actual things which exists in reality, they represent the last level of an taxonomy. Furthermore, the objects used as templates will be called classes and the other ones will be called instances.

An example for a taxonomy or an inheritance hierarchy is shown in Figure 1: the taxonomy of the concrete structures as an extract of the geometry taxonomy is presented. For more information see [10].

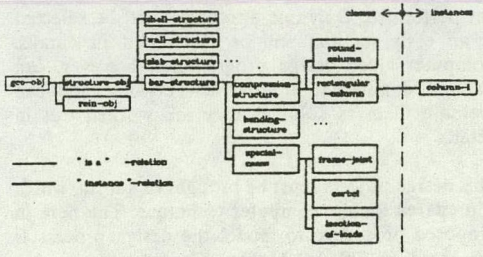


Figure 1: Geometry taxonomy

2.1 Encoding the standardized bending forms of the bar reinforcement

The reinforcement forms, which can be build in the various members of concrete structures, are of a great diversity. The German standard DIN 1356 (drawings for concrete reinforcement)[4] defines the reinforcement forms to make them suitable for the data acquisition (Figure 2).

DIN 1356 structures the forms in six groups depending on the mechanical use and the geometrical form of the bar:

A:	bars with parts which always run rectangular to each other
B:	ties and stirrups
C:	bars with parts which run oblique to each other
D:	auxiliary bars
E:	bars with circular parts
X:	special forms: bars with free geometry

The parameter "H" describes the anchorage of he bar, the parameter "D" describes the ratio of the bar's bending diameter to the diameter of the bar itself.

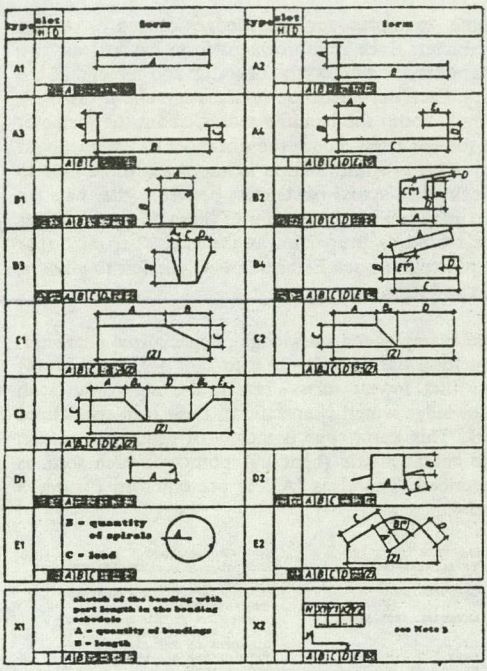


Figure 2: Table 1 DIN 1356 part 10 [4]

Because of its hierarchical structure this Table is highly suitable to be encoded in a object oriented form.

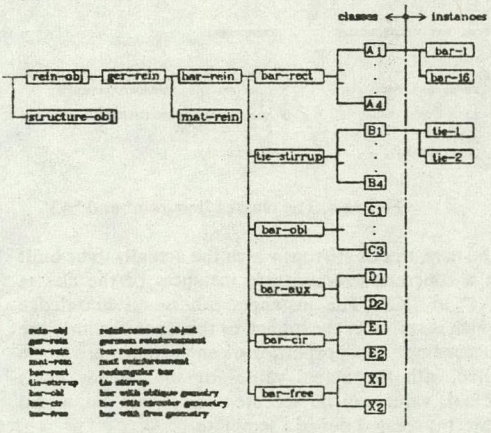


Figure 3: Bar reinforcement taxonomy

Figure 3 presents the reinforcement taxonomy with the focus on the bar reinforcement. The superordinated classes leave their knowledge, which is of more general character, to the subordinated ones, where knowledge of more specialized character is stored.

Some examples for knowledge of more general character: Each reinforcement form has at least two characteristic points (the begining and the end of the bar). Each bar needs the information about the hook length, about the bending radius, about the diameter of the bar itself, about the distances to its neighbour bar. This last information is important to be able to check the actual distances between the bars in accordance with the standard. These general qualities are stored as properties at the class "bar-rein" (bar reinforcement, see Figures 3 + 4) and left to all bars, ties and stirrups.

The examples for knowledge of specialized character: The local classes "A1" - "A4" to "X1" + "X2" (they stay on the lowest class level) contain only such knowledge which is specific to their own specialized task. This knowledge is mostly of geometric nature, the characteristic (bending) points of each form is described. The class "A3" is presented in Figures 3 and 4.

```
{( BAR-REIN                    ; NAME OF THE CLASS
   IS-A: REIN-OBJ              ; LINK TO THE SUPERORDINATED
                               ; CLASS
   IS-USED-IN:                 ; DEMON LINK TO THE REINFORCED
                               ; CONCRETE-MEMBER
   MATERIAL: BST-500-S         ; DEMON LINK TO THE MAT.-TAX.
                               ; WITH A DEFAULT VALUE
   DS:                         ; DIAMETER OF THE BAR/TIE
   TYPE:                       ; TYPE OF THE BAR DIN 1356
   H:                          ; HOOK-LENGTH
   D:                          ; RATIO BENDING RADIUS TO
                               ; DIAMETER OF THE BAR
   N:                          ; NUMBER OF THE BAR
   DS:                         ; DIAMETER OF THE BAR
   DELTA-L:                    ; DISTANCE TO THE NEXT BAR LEFT
   BAR-L:                      ; NAME OF THE NEXT BAR LEFT
   CORNER-DIS:                 ; DISTANCE TO THE CORNER
   X1:                         ; CARTESIAN COORDINATES OF
   ....                        ; 2 POINTS SCMC
   Z2:                         ;       -"-
   ....
   COM: BAR-REINFORCEMT        ; COMMENTARY
))

{(A3                           ; NAME OF THE CLASS
   IS-A: BAR-RECT              ; LINK TO THE SUPERORDINATED
                               ; CLASS
   X3:                         ; ADDITIONAL COORDINATES OF
   ....                        ; 2 POINTS SCMC
   Z4:                         ;       -"-
   COM: BAR-A3                 ; COMMENTARY
))
```

Figure 4: The classes "bar-rein" and "A3"

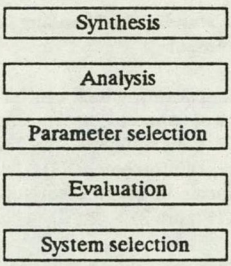
The bars, ties or stirrups which the actually to be built in a concrete structure are instances of the classes "A1" to "X2". The instances inherit all knowledge which is stored in the branch of the taxonomy they are succeeding. The properties of an instance are to be filled with the actual values or the already given default value can be accepted (material). So, a real object is created out of a template.

3.0 REPRESENTATION OF DESIGN PROCESSES

The design process is a very complex activity. More than one alternative usually exists for a certain demand. The alternatives must be estimated before being worked out in details. It makes no sense to elaborate an alternative which is mechanically useless. Decision criteria, which allows to eliminate early certain alternatives, must be found. Elaborated alternatives must be constrained to eliminate those alternatives which are unfeasible. The remaining alternatives must be evaluated by an catalogue of constraints to find the most adapted choice. So the alternative, which fits best to a given demand, can be selected.

If the elaboration of the alternatives is made by man, the elaboration of several alternatives, which first seems to be equally adjusted to the demand, is often not performed. Only one alternative will be selected at an early stadium and be elaborated in details. Computer aided design programmes, however, can elaborated different alternatives very fast and can evaluate them as soon as they are worked out in details.

This design process must be brought in a form, which is prepared for the computer technique. The here in proposed procedure to model the design process is presented in [8] by Maher. The idea is to use hierarchical planning to illustrate the process. The design task is decomposed in five subtasks:



The first subtask generates all possible different alternatives, in the second subtask the constraints to check the feasibility and the quality of the alternatives are formulated. The parameter selection task defines all parameters of the given alternatives. The feasible alternatives are determined. The evaluation task judges each alternative and gives it numerical value. The system selection subtask selects one of the feasible alternatives depending on the numerical number found by the fourth task.

2.1 Reinforcement layouts for concrete columns

The German textbook Heft 220 [2] provides four different layouts for the reinforcement of concrete columns:

a) reinforcement distributed along two side of the column
a1) reinforcement distributed along the four sides of the column with different steel areas As1 and As2 (only with certain load conditions)

b) reinforcement concentrated in the corners of the column
c) reinforcement distributed along the four sides of the column

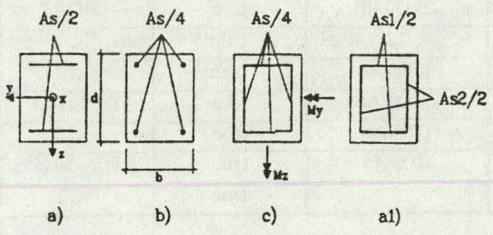


Figure 4: Distribution of longitudinal reinforcement

The first layout (a) is due to reinforce columns with uniaxial or with almost uniaxial load, the next two layouts (b) and (c) are used to reinforce columns with biaxial load, the layout (a1) is due to reinforce columns with special load conditions.

The text book [2] allows an unsymmetrical reinforcement distribution for the proposal with the corner concentrated reinforcement (Version (b) Figure 4). But a column with an unsymmetrical reinforcement layout tends to become crooked induced by a redistribution of the inner forces conditioned by the creep of the concrete. So only symmetrical reinforcement layouts are taken into consideration [6].

3.2 Design task for the longitudinal reinforcement layout

The reinforcement layout is made by a programme or in other words a demon which is attached to the property "layout" (reinforcement layout) of the actual instance "column-1" of the class "rectangular-column" (see Figure 1). It uses the design process model with five subtasks:

3.3 Synthesis subtask

The first subtask generates all possible alternatives for the reinforcement layout of a concrete column. For each possible reinforcement layout alternatives are created. The system eliminates those alternatives which are in conflict with the mechanical constraints (e.g. layout A for biaxial loads) or with a designer decision (e.g. if the designer has decided in advance to take one special layout). This subtask is intended to simulate the designer's intuitive process [8].

3.4 Analysis subtask

In this task the constraints to judge the alternatives of the actual design task are searched in the data base. Having collected them they are connected with the parameter selection function and the evaluation function. So there must be two constraints sets to be implemented into the system for each design process. One set of hard constraints (evaluates true or false)[8] to check the feasibility of an alternative and one set of soft constraints (evaluates a numerical value to rank the constrained feasible alternatives).

3.5 Parameter selection subtask

In this subtask all parameters of each alternative are determined or calculated, the diameter of the longitudinal reinforcement bars is determined. The required area of reinforcement steel (As) which is depending on the load, the shape of the column (b/d) and at least on the reinforcement layout is calculated. Atfer this the amount of the reinforcement bars is computed. The necessary instances for the bars are created and entered into the data base. The material values (concrete and bars), the coordinates of the bars and the distances between the bars each other are determined.

All alternatives are constrained and only those alternatives, which are fulfilled, are regarded as feasible alternatives. Unfeasible alternatives are going to be deleted. In Table 1 the criteria of this test are presented. All listed constraints are evaluated by an operator to a qualified value. If a test is estimated to be true, the alternative is unfeasible and will be not considered furthermore.

The criteria are taken from the European standard EC 2 [5] and the German standard DIN 1045 [3]; the later is only taken into consideration if the criteria (EC 2 to DIN 1045) are different or the EC 2 is too vague.

3.6 Evaluation subtask

In this subtask the feasible alternatives are going to be evaluated and ranked. The criteria which are considered are shown in the Table 2. For each feasible alternative one evaluation value is going to be calculated. A small value is an indicator for a good alternative, on the contrary, a large value is an indicator for an unfavourable alternative. In Table 2 the column "Remarks" presents the reasons for each constraint criterion (see also notes to Table 1). Another example of an evaluation technique is described in [9].

Tested Constraints	Operator	Qualified Value	Selection Value	Standard
b [mm]	>	4 d	true	EC 2
d and b [mm]	<	200 (140)	true	EC 2
diameter of longitudinal bars [mm]	<	12	true	EC 2
As [mm**2]	<	0.006 Ac	true	EC 2
As [mm**2]	<	0.008 Ac	true	DIN 1045
As [mm**2]	>	0.08 Ac	true	EC 2
As [mm**2]	<	0.09 Ac	true	DIN 1045
quantity of longitudinal bars [-]	<	4	true	EC 2
Remarks: d, b: with and depth of the column Ac: area of concrete Ac = b * d As: area of steel				

Table 1: Parameter selection constraints

Tested Constraints	Operator	Qualified Value	Evaluation Value	Standard	Remarks
Ranking: (little to large)					
quantity of bars [-]	-	-	1.5 (0 to (n-1))		economy
steel area [mm**2]	-	-	1.0 (0 to (n-1))		economy
diameter of the bars [mm]	-	-	0.8 (0 to (n-1))		bound
Testing:					
distance between main bars and d and b [mm]	> >	300 400	6	DIN 1045	economy 1)
quantity of bars [-]	>	20	4	EC 2	economy 2)
corner distance [mm]	>	15 d_tie	4	DIN 1045	economy 2)
Remarks: n: quantity of feasible alternatives d, b: with and depth of the column d_tie: diameter of the tie 1) to prevent additional constructive reinforcement 2) to prevent additional ties					

Table 2: Evaluation constraints

3.7 System Selection subtask

This last subtask selects the best evaluated alternative (minimum value of the property "evaluation value") and presents it to the user. If he accepts the alternative, the system goes on with the next design task (constructive or tie reinforcement: the next task depends on the demands of the chosen alternative). If the user rejects the alternative, the system presents the next best feasible alternative.

4.0 CONCLUSION

To evaluate the practical use of the above described techniques, they should be built in to the different expert systems. The expert systems for reinforcement design, which are being developed now in two different shells (Knowledge Craft and KAPPA), will show how the object oriented encoding of the standards can improve the efficiency of the whole system.

5.0 REFERENCES:

1 Carnegie Group Inc., Manual of Knowledge Craft 3.2, Pittsburgh, 1989.

2 Deutscher Ausschuss fuer Stahlbeton (DAfStb), Heft 220: Guideline for the construction of reinforced concrete members, Verlag Ernst & Sohn, 1979.

3 Deutsches Institut fuer Normung e.V., DIN 1045: German standard for reinforced concrete structures, Beuth, 1988.

4 Deutsches Institut fuer Normung e.V., DIN 1356 Teil 10: Building and civil engineering drawings; drawings for concrete reinforcement, Beuth, 1991

5 Deutsches Institut fuer Normung e.V., Vornorm DIN V18932 Teil 1, Eurocode 2: Design of Conrete Structures, Beuth, 1991.

6 G. Franz, K. Schaefer, Konstruktionslehre des Stahlbetons, Springer, 1988.

7 IntelliCorp Inc., KEE-Manual Version 3.1, Mountain View, 1988.

8 M. L. Maher, HI-RISE: A Knowledge-Based Expert System For The Preliminary Structural Design Of High Rise Buildings, Carnegie-Mellon University Pittsburgh, 1984.

9 M. J. Mehrafza, R.J. Scherer, Regelbasierte Formulierung von Variantenelementen in der Stahlbetondetaillierung, Dortmunder Experten-systemtage '91, Verlag TUV.

10 Ch. Meinecke, R. J. Scherer, Architecture of a knowledge-based-system for the detailing of reinforced concrete columns, CAAD futures '91 Proceedings (to be published), Vieweg Verlag.

11 F. Puppe, Einfuehrung in Experten-systeme, Springer, 1988.

12 E. H. Shortliffe, Computer-Based Medical Consultations: MYCIN, Elsevier, 1976.

doc.dr. Aleš Krainer
Silvija Kovič, dipl.ing.arh.
Miha Tomšič, dipl.ing.gr.

FAGG OGG, Jamova 2, Ljubljana
Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente

SOLARNO NAČRTOVANJE URBANEGA OKOLJA

IZVLEČEK

Preverjanje vpliva arhitekturnih zasnov na svetlobne pogoje v okolici in na sosednje objekte je nujno že v sami fazi načrtovanja, ko lahko objektom še spreminjamo lego, orientacijo, obliko, dimenzije in jih pravilno razporedimo. Pri revitalizaciji določenega urbanega okolja se ponavadi srečujemo z že vnaprej določenimi osnovnimi karakteristikami, na katere niti ne moremo vplivati, lahko pa s pomočjo analiz pravilno zasnujemo energetski koncept objekta. Z geometrijsko analizo senc objektov in terena okolice objektov se ukvarja računalniški program SENCE , ki smo ga razvili na FAGG, KSKE. S programom lahko analiziramo sence, ki jih povzroča opazovani objekt na urbano okolje in obratno.

SOLAR DESIGN OF URBAN ENVIRONMENT

ABSTRACT

Already during the design process it is necessary to verify the influence of architectural schemes on luminous conditions in the surroundings and on adjacent buildings. At this level it is still possible to change the site, the orientation, the shape, the dimensions and the disposition of all objects. On the other hand, when revitalizing a certain urban environment we usually can't change its basic characteristics but by doing some requisite analyses we can design the energetical concept of a building correctly. A computer program SENCE, developed at FAGG, KSKE, is used for geometrical analysis of either the shadow of an object in the urban environment or the shadow cast on a building by its surroundings.

1.0 UVOD

Sonce je eden najpomembnejših faktorjev, ki vplivajo na zasnovo principa in sistema bivalne mestne strukture. Solarno načrtovanje urbanega okolja upošteva čas trajanja osončenja in osenčenja, dostop sončne svetlobe do objekta in njegove okolice, položaj objektov, ulic, zelenic in ostalih površin, neposredno in posredno osvetlitev zunanjih in notranjih prostorov v objektih, sončne in svetlobne ovire ter energetske vidike snovanja pasivne solarne arhitekture.

Od tega, kako so razporejeni objekti v urbanem okolju oz. njihove sence, so odvisne tudi lokalne temperature obdajajočega okolja ter vlažnost in hitrost obdajajočega zraka. Temperatura zunanjega ovoja objekta je najpogosteje neposredno odvisna od lastnosti njegove površine in od sončnega sevanja. Sprememba temperature zunanje površine ovoja pogojuje spremembo temperature notranje površine ovoja in klimatske razmere v notranjem bivalnem okolju.

Na vzpostavljanje energetskega ravnotežja med zunanjim urbanim okoljem in notranjim grajenim okoljem ter s tem na samo mikrolokacijo objekta vplivajo:
- posebnosti grajenega in praznega volumna (oblika, velikost, odprtine in sence)
- zunanji klimatski pogoji (osončenje, temperatura in nihanje zunanjega zraka in nihanje temperature, hitrost in smer vetra)
- termofizične lastnosti objekta in komponente okolja (toplotna prehodnost, absorptivnost, refleksija)

2.0 VPLIV LETNIH IZOSENC IN ORIENTACIJE NA GOSTOTO ZAZIDAVE

Kakšna je gostota zazidave v določenem urbanem okolju, nam natančneje pokaže razmerje med stanovanjsko površino objekta in velikostjo predpisane celotne zazidalne površine (z objektom in senco objekta za vse leto). To razmerje je odvisno od geometrijskih karakteristik objektov: oblike in velikosti (število etaž, tlorisna površina, naklon in oblika strehe), ter razmaka med objekti; od orientacije objektov, stopnje dovoljene osenčenosti in opazovanega dneva.

21.december predstavlja tisti dan v letu, ko nastopi zimski solsticij in so stopnje osončenosti najbolj kritične. Razmerje med celotno stanovanjsko površino in predpisano zazidalno površino objektov je takrat skoraj neodvisno od višine objektov, kar pomeni, da z velikim številom etaž, ki so pogojene z večjim razmakom med objekti, ne izboljšamo razmerja v prid velikosti celotne stanovanjske površine [1].

Na količino osončenosti in osenčenosti objektov vpliva tudi orientacija. Kadar so ulice ali vzdolžne fasade objektov orientirane od vzhoda proti zahodu, moramo paziti, da med njimi določimo dovolj veliko razdaljo. Zaradi nizke elevacije sonca pozimi so sence objektov in ovir zelo dolge, kar lahko povzroči popolno osenčenost objektov in obdajajočega terena. Ker višje zgradbe mečejo daljše sence, je racionalneje graditi nižje, seveda pa to ni edini razlog, ki govori v prid nižjih volumnov objektov. Opoldanska senca je kratka, zato sta merodajni daljša jutranja in večerna senca [1].

Pomembna faktorja osončenosti in osenčenosti sta tudi topografija in vegetacija. Sence ovir in objektov so manjše na terenih, ki padajo proti jugu, zato je gostota razporeditve objektov lahko večja. Višja nadmorska višina in ustrezna topografija npr. na hribovitih terenih povzroči daljši čas osončenja. Količino direktnega ali indirektnega sončnega sevanja lahko zelo uspešno uravnavamo s pravilno razporeditvijo dreves. Najboljši dinamični sistem poletne protisončne zaščite predstavljajo listavci, ki sledijo ciklusu štirih letnih časov. Iglavci zadržujejo hlad in pozimi umetno znižujejo temperaturo okolice, zato so za protisončno zaščito v urbanem okolju neprimerni.

Večnadstropni objekti potrebujejo več zelenih površin med objekti kot tisti z manj nadstropji. Pri enaki mestni površini in pri enakem kotu osvetljenosti narašča z višino objekta tudi število stanovanjskih enot. Če ohranjamo enak vpadni kot osvetljenosti in enako število stanovanjskih enot, se potrebna mestna površina manjša z naraščanjem števila nadstropij. Kadar ostajata potrebna mestna površina in število stanovanj nespremenjena, se vpadni kot osvetljenosti manjša s povečevanjem števila nadstropij.

Mnenje, da z visokimi večnadstropnimi stanovanjskimi objekti (pri enaki količini stanovanjske površine) porabimo manj brutto zazidalne površine kot z nižjimi objekti, je netočno. Z drugačnim tipološkim vzorcem in nižjimi urbanimi strukturami lahko oblikujemo boljše mikroklimatske pogoje v zunanjem in notranjem okolju ter s tem tudi kvalitetnejši bivalni standard.

2.1 Analiza s programom SENCE

Program SENCE [2] omogoča:

- izračun celodnevnega položaja sonca na nebu za poljubno izbran dan v letu
- izris tlorisa sence posameznega objekta ali skupine objektov za poljubne ure in dneve v letu
- izris dnevnih in letnih izosenc (izosence so črte, ki povezujejo točke v okolici objekta z enakim procentom osenčenja)
- izris aksonometrične projekcije, ki za določeno uro in dan v letu projicira vse objekte na ravno ploskev iz smeri sonca (s to projekcijo lahko preverjamo, če nek objekt v določenem času osenčuje drugi objekt)
- izris cilindrične kotne ali izris fish-eye projekcije, ki omogoča prikaz osenčenosti ali osončenosti določene točke v prostoru (opazovališče) s senco objektov v okolici za določen dan ali več dni v letu

S pomočjo analize celoletnih izosenc objektov določene tlorisne geometrije, različnih višin in različne orientacije smo določili nove kriterije za gostoto zazidave v urbani strukturi. Osnovno merilo razmaka med objekti predstavljajo celoletne izosence, ki povezujejo točke z istim procentom osenčenja v tlorisu obdajajočega ravnega terena.

V analizo smo vključili objekte enake tlorisne površine (10m x 48m), treh različnih višin (P+1, P+3, P+7, etažna višina 2.5m, dvokapna streha 16^0) in treh različnih orientacij vzdolžne osi (V-Z, S-J, SV-JZ).

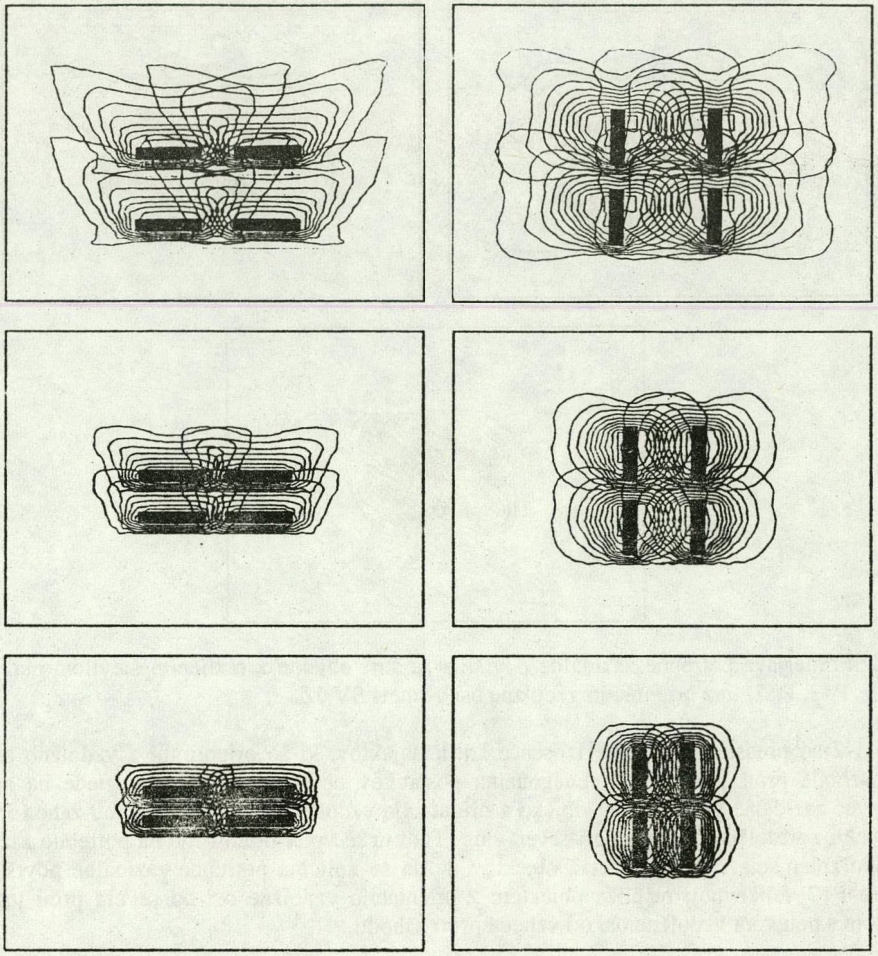
Več objektov z vrisanimi letnimi izosencami smo združevali v majhne urbane strukture, pri čemer smo dopuščali maksimalno 20% osenčenost objekta. To pomeni, da smo zanemarili tiste točke na linijah izosenc, ki so bile osenčene od 0-20% časa v letu.

Za kriterij maksimalne 20% dopustne osenčenosti smo se odločili zaradi tega, ker linije maksimalnega 10% deleža letnih izosenc nikoli ne bi posegale v območje objekta ali pa bi se ga v najslabšem primeru samo dotikale, tak kriterij pa je zaradi naraščajoče razgibanosti geometrije izosenc z manjšanjem procenta osenčenosti prav gotovo premalo zahteven.

3.0 ZAKLJUČEK

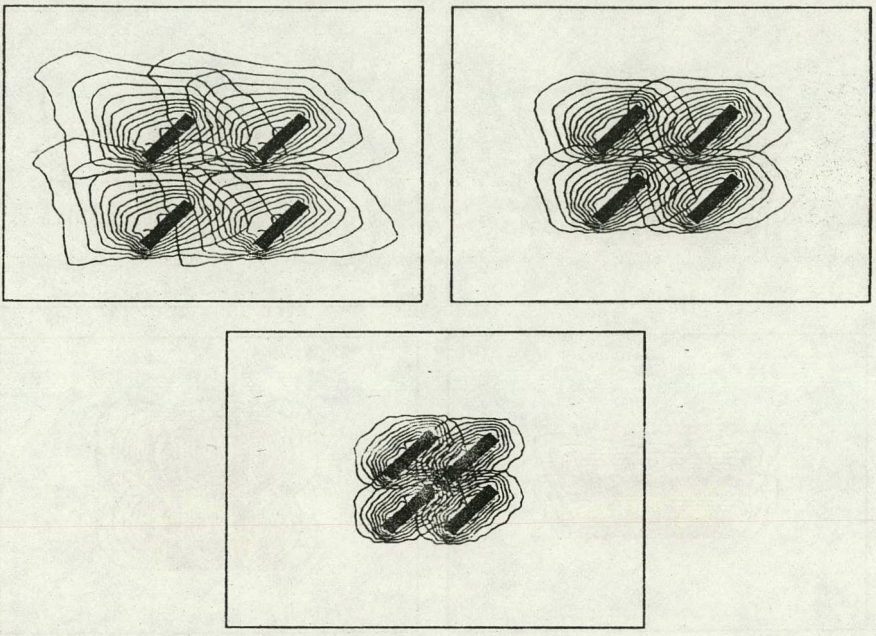
Objekti, ki so orientirani z vzdolžno osjo vzhod - zahod, zavzemajo približno tretjino manj zazidalne površine kot objekti z ostalimi orientacijami. Vpliv orientacije objekta na potrebno zazidalno površino se manjša z naraščanjem števila etaž. Diagonalna postavitev objektov zahteva ne glede na njihovo višino več zazidalne površine kot objekti z orientacijo vzdolžne osi v smeri vzhod - zahod in manj kot objekti z vzdolžno osjo v smeri sever - jug.

Da je izbor nižjega kriterija z maksimalno 20% osenčenostjo pravilen, se je pokazalo pri številnih primerih sestavljanja objektov različnih orientacij in višin. Ker so izosence objektov nepravilnih oblik, izbrani objekti pa so ponavadi ortogonalni, ni malo primerov, ko se celo 10% letne izosence sosednjih objektov samo dotikajo ali pa jih prekrivajo samo delno, tako da objekti nikoli niso osenčeni v celoti toliko časa v letu ali pa so osenčeni celo bolj kot smo predpostavili zaradi senc, ki jih mečejo sami nase.



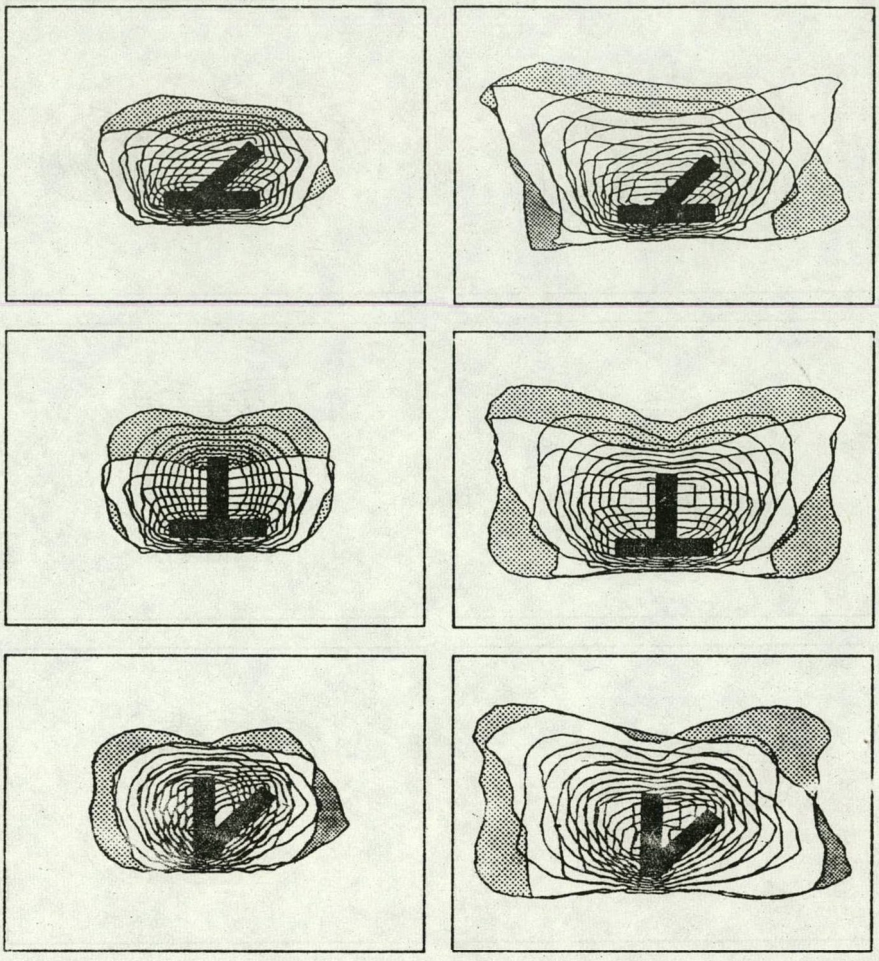
Slika 1: Primerjava potrebne zazidalne površine za štiri objekte z različnim številom etaž (P+1, P+3, P+7) in z orientacijo vzdolžne osi v smeri V-Z ter S-J.

Iz slike 1 je razvidno, da potrebujejo objekti, ki so z vzdolžno osjo orientirani v smeri vzhod - zahod v primeru P+1 približno polovico manj, v primeru P+3 za več kot tretjino manj, v primeru P+7 pa samo še šestino manj zazidalne površine kot objekti z orientacijo vzdolžne osi v smeri sever - jug. Vidimo, da se vpliv orientacije objekta na potrebno zazidalno površino manjša z naraščajočim številom etaž.



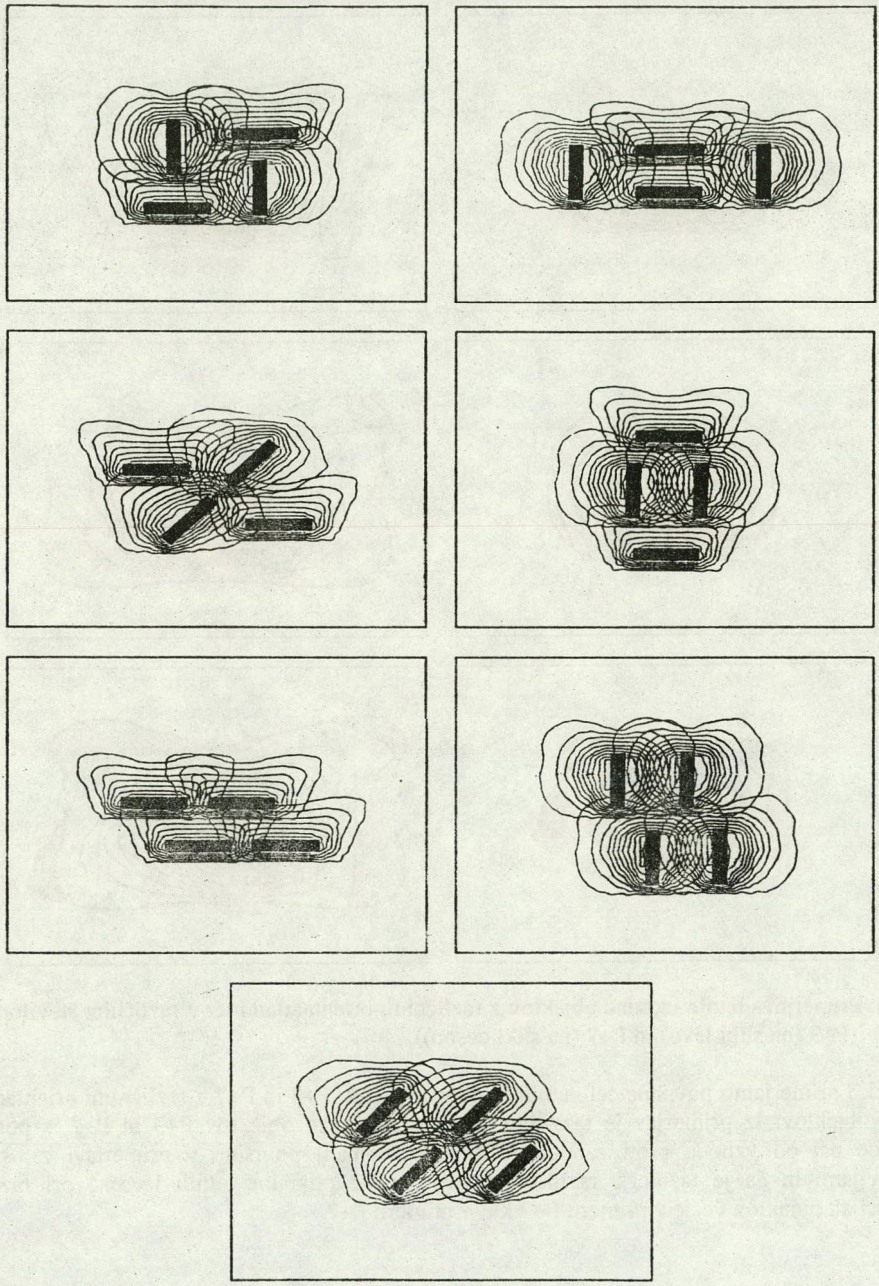
Slika 2: Primerjava potrebne zazidalne površine za štiri objekte z različnim številom etaž (P+1, P+3, P+7) in z orientacijo vzdolžne osi v smeri SV-JZ.

Na sliki 2 so predstavljene letne izosence štirih objektov, ki so orientirani z vzdolžno osjo od severovzhoda proti jugozahodu. Diagonalna postavitev objektov zahteva ne glede na njihovo višino več zazidalne površine kot objekti z orientacijo vzdolžne osi v smeri vzhod zahod in manj kot objekti z vzdolžno osjo v smeri sever - jug. Tudi tu se vpliv orientacije na potrebno zazidalno površino zmanjšuje s številom etaž objektov, le da se količina potrebne zazidalne površine pri primeru P+7 veliko bolj približa objektom z orientacijo vzdolžne osi od severa proti jugu kot objektom s potekom vzdolžne osi od vzhoda proti zahodu.



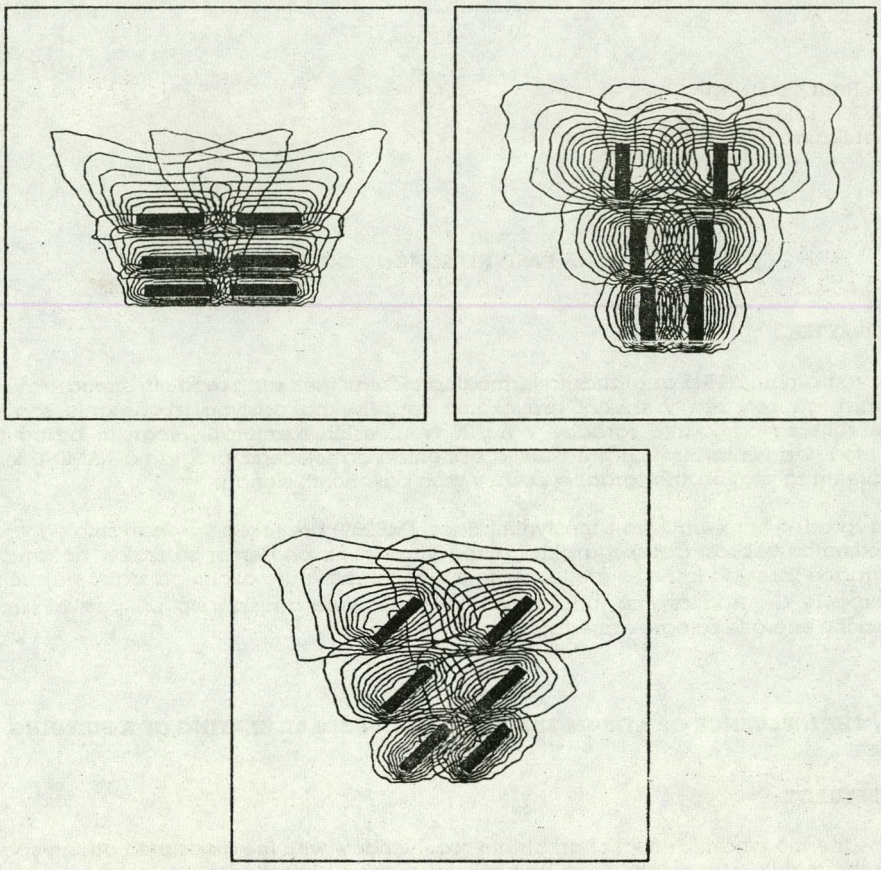
Slika 3: Primerjava letnih izosenc objektov z različnimi orientacijami ter z različnim številom etaž (P+3 (na sliki levo) in P+7 (na sliki desno)).

Na sliki 3 primerjamo površine celoletnih izosenc objektov P+3 in P+7 z različnimi orientacijami enakih objektov. Iz primerjav je razvidno, da letne izosence objektov P+3 in P+7, s potekom vzdolžne osi od vzhoda proti zahodu zavzamejo najmanj površine v primerjavi z ostalimi orientacijami in da je razmerje razlik potrebne tlorisne površine letnih izosenc pri različnih orientacijah objektov večje v primeru P+3 kot v primeru P+7.



Slika 4: Variante urbanih struktur objektov P+3 z različnimi orientacijami

Na sliki 4 so prikazane nekatere izmed možnih variant združevanja objektov z istim številom etaž in različnimi orientacijami. Vse variante so po velikosti tlorisne površine, ki jo zavzemajo, približno enako kvalitetne, vendar zaradi različne stopnje odprtosti ali zaprtosti prostora, ki ga oblikujejo, vsaka ustvarja svoje mikroklimatske pogoje v okolju.



Slika 5: Urbana struktura objektov iste orientacije z različnim številom etaž

Na sliki 5 združujemo po šest objektov z isto orientacijo in z različnim številom etaž. Objekti, ki so orientirani z vzdolžno osjo v smeri vzhod - zahod, zavzemajo približno tretjino manj zazidalne površine kot objekti z ostalima orientacijama, ki zavzemata približno isto površino. Iz slike je tudi razvidno, da se struktura objektov proti jugu zapira z manjšanjem števila etaž, proti severu pa se z večanjem števila etaž odpira. Pojav je najizrazitejši v primeru, ko sestavljamo objekte z orientacijo vzdolžne osi v smeri sever - jug. Takšna zasnova s stališča solarnega načrtovanja ni logična, zato lahko zaključimo, da v enotne urbane strukture ni smiselno združevati objektov različnih višin, razen če zapiranje proti jugu ni zaželjeno iz drugih razlogov (posebni mikroklimatski pogoji, npr. veter).

LITERATURA

1. Računalniški program za analizo osončenja objektov in naravne dnevne osvetlitve prostorov, Kunič R., Magistrska naloga, FAGG OGG, KSKE, Ljubljana 1990

2. Računalniški program SENCE, Kunič R., Interna publikacija KSKE št. 20, FAGG OGG, Ljubljana 1990

Dr. Rudi KLADNIK
FAGG - KSKE
Ljubljana

VPLIV ATRIJA NA PASIVNO SONČNO OGREVANJE ZGRADBE

POVZETEK

S programom ATRIJ analiziramo termodinamični učinek atrijskega strešnega okna in atrijskega prostora v sredini pravokotne zgradbe na pasivno izkoriščanje sončne energije za ogrevanje zgradbe v naših vremenskih razmerah. Program bazira na metodi termičnih mrež in predstavlja ekstenzijo obstoječega programa KAMRA, ki je narejen za pravokotno zgradbo z okni v vseh pokončnih stenah.

Za zgradbo 5m x 4m 2,5m z masivnimi zidovi (MB239) brez oken v stenah smo ugotovili optimalno velikost atrijskega okna okrog 4m x 3,2m, pri čemer se zrak v notranjosti zgradbe (brez dodatnega gretja) segreje nad temperaturo okolnega zraka največ za okrog 19°C. Analiziramo tudi pomembnost kvalitete atrijskih šip pri pasivni izrabi sončne energije za ogrevanje zgradbe.

THE INFLUENCE OF ATRIUM-SPACE ON PASSIVE SOLAR HEATING OF A BUILDING

ABSTRACT

The thermodynamic effect of an atrium roof- window with the associated atrium-space in the middle of a rectangular building on passive utilization of the solar energy for heating of a building in our wheather conditions is analysed with the aid of the program ATRIJ. This program is based on a thermal network method and is an extension of the existing program KAMRA, developed for the rctangular building with windows in all its vertical walls.

For the building 5m x 4m x 2,5m with massive walls (MB29) without wall windows, an optimum size of the atrium window of about 4m x 3,2m has been obtained, in which case the interior air heats up (without any additional heating) for about 19°C over the exterior air temperature. Also, the importance of glass quality for heating of the building by passive solar utilization is analysed.

1. UVOD

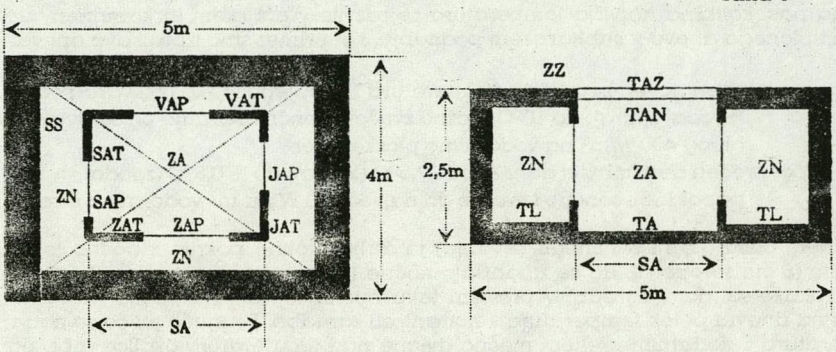
Pasivno sončno ogrevanje običajno zahteva, da je zgradba na južni strani zasteklena in odprta zimskemu soncu, na severni strani pa čimbolj zaprta ter zaščitena pred mrzlim zrakom in hladnimi vetrovi. S tem sicer dosežemo, da sončna energija pozimi maksimalno vstopa skozi zastekleno južno steno v zgradbo in se absorbira npr. v tleh, vendar pa severni del notranjosti zgradbe ne prejema dovolj energije niti ni zadosti osvetljen z dnevno svetlobo. Ta problem omilimo tako, da v sredino zgradbe vstavimo zasteklen atrijski prostor, ki ima v streni okno, skozi katerega vstopa sončna energija v notranjost atrija in skozi njegove šipe naprej v notranjost zgradbe.

Vodoravno okno na strehi zgradbe pozimi, ko je sonce nizko nad južnim obzorjem, ne more prestreči znatnega dela direktnih sončnih žarkov (kot npr. pokončen južni zid), zato pa je dovolj učinkovito pri sprejemanju difuznega sevanja, ki prihaja z vseh smeri. Torej pričakujemo, da bo atrij koristen predvsem v oblačnih in meglenih dnevih, ko zgradbo obseva difuzno sevanje, ter tudi v prehodnem obdobju pozno jeseni ter zgodaj spomladi.

2. PROGRAM ATRIJ

Osnovni program KAMRA, s katerim računamo termodinamične spremembe v pravokotni zgradbi pri časovno spremenljivih vremenskih pogojih [1], smo razširili z dodatkom atrijskega prostora v sredino zgradbe (slika 1). Atrijski prostor omejujejo 4 stene z enojno zastekljenimi odprtinami. Tla atrija se v splošnem razlikujejo od tal obdajajoče zgradbe. Višina atrija je enaka višini zgradbe. Zgoraj je atrij zaprt z dvojno zastekljenim strešnim oknom, ki je lahko (podobno kot okna v stenah zgradbe) ponoči zaščiteno z dodatno toplotno zaščito. Dimenzije atrijskega prostora so poljubne, ravno tako dimenzije okenskih odprtin v posameznih atrijskih stenah. Teorijo tega programa podaja literatura [2].

Slika 1



Direktno in difuzno sončno sevanje sevanje, ki skozi atrijsko strešno okno vstopa v atrijski prostor, se deloma absorbira v masivnih atrijskih stenah in v atrijskih tleh, deloma pa skozi atrijske šipe prodre v notranjost zgradbe. Predpostavljamo, da se vsa prepuščena sončna energija aborbira v tleh kamre. Ta predpostavka odpove pri velikih dimenzijah atrija, ko se površina obdajajočih tal kamre zmanjša, pri normalnih velikostih pa je predpostavka upravičena.

Glede na to, da je atrijski prostor prek strešnega okna povezan z okolnim zrakom, upoštevamo tudi njuno infrardečo sevalno izmenjavo, s čimer zajamemo vpliv tople grede atrija. Medtem ko infrardeči stik med notranjimi stenami atrija in stenami obdajajoče zgradbe zanemarimo.

Sistemu 26 enačb v programu KAMRA zaradi atrija dodamo 13 enačb za atrijske temperature:

- za masivne dele 4 atrijskih sten (JAT, VAT, SAT in ZAT),
- za 4 atrijske stenske šipe (JAP, VAP, SAP, ZAP),
- za zgornjo površino in sredino atrijskih tal (TA, TAO),
- za notranjo (TAN) in zunanjo (TAZ) atrijsko strešno šipo ter
- za atrijski zrak (ZA)

Pri enačbah same KAMRE pa spremenimo enačbo za temperaturo zgornje površine tal, ki ji dodamo sevalni energijski tok, ki skozi atrijske šipe vpada v notranjost zgradbe in se absorbira v tleh obdajajoče zgradbe. Razen tega še upoštevamo, da se površina atrijskih tal zaradi atrija zmanjša. Povsem pa zanemarimo vpliv atrija na prehod sončnega sevanja, ki skozi kamrina okna vstopa v notranjost zgradbe, skozi notranji prostor in njegovo porazdelitev po notranjih stenah zgradbe. To je opravičljivo predvsem zato, ker je atrijski prostor pretežno zasteklen. Pa tudi drugače je motnja v globalu malenkostna, vpliva le deloma na temperaturo kamrinih tal in sten, medtem ko kamrin zrak in celotna energetska poraba tega praktično ne zaznata.

3. TESTNI PRIMER

Da ugotovimo pasivni izkoristek strešnega atrijskega okna in celotnega atrijskega prostora vpadne sončne energije za ogrevanje notranjosti zgradbe, smo kot primer izbrali zgradbo 4m x 5m x 2,5m, zgrajeno iz masivnega zidu (MB 29) in brez okenskih odprtin v stenah. Zgradba torej prejema sončno energijo (direktne žarke in difuzno sevanje) izključno skozi strešno okno, katerega dimenzijo (SA) variramo. Dodatnega gretja ni, zgradba je v praznem teku.

Zanima nas, kolikšna najvišja temperatura se razvije v atrijskem in kamrinem zraku tekom tipičnega dneva v ljubljanskem podnebju. Kot primer smo izbrali dva dneva:

- povprečen novembrski dan: temperatura zunanjega zraka (ZZ) varira od 7°C (zgodaj zjutraj) do 10°C (pozno zvečer), sončno sevanje pa se dviga do okrog 400 W/m^2 na vodoravno ploskev, ter
- povprečen decembrski dan: ZZ od - 7,5°C (zjutraj) do + 0,8°C (zgodaj popoldne), sončno sevanje do največ 190 W na m^2 vodoravne ploskve.

V nočnem času (ko ni sončnega sevanja) je atrijsko okno pokrito z nočno toplotno izolacijo (5 cm stiropora), da se zmanjšajo nočne toplotne izgube iz zgradbe v okolni zrak. Pokaže se, da v zgradbi v prostem teku nočna toplotna izolacija le neznatno vpliva na dnevni potek temperature v notranjosti zgradbe. Drugače je, če se notranja temperatura z dodatnim gretjem močno dvigne nad temperaturo okolice (npr. na 20 stopinj). V tem primeru je nočna toplotna izolacija bistvenega pomena.

Podatki za vpadno sevanje se nanašajo na celotno (globalno) sevanje, ki zajema tako direktne žarke (ti so pozimi zelo poševni) kot difuzno sevanje (ti prihajajo neodvisno od smeri praktično enako močno). Kolik delež globalnega sevanja odpade na direktne žarke in kolik na difuzno sevanje, približno ocenimo z vhodnim parametrom OBL, ki predstavlja povprečno urno oblačnost. Pri OBL = 0 imamo pretežno direktne žarke, pri OBL = 1 pa je oblačnost popolna in prejemamo le difuzno sevanje. Glede na to, da vodoravno strešno okno v decembru malo prestreza nizke direktne žarke, je atrij v tem času učinkovit predvsem v oblačnem vremenu (OBL = 1), pri sončnem vremenu pa manj. V novembru je ta razlika manjša.

Računi so narejeni za 3 zaporedne dni z enakimi vremenskimi pogoji, da se vzpostavi kvazistacionarno stanje, ki ustreza danemu dnevnemu ciklu temperature zunanjega zraka in vpadnega sončnega sevanja. Navajamo rezultate, dosežene tretji dan.

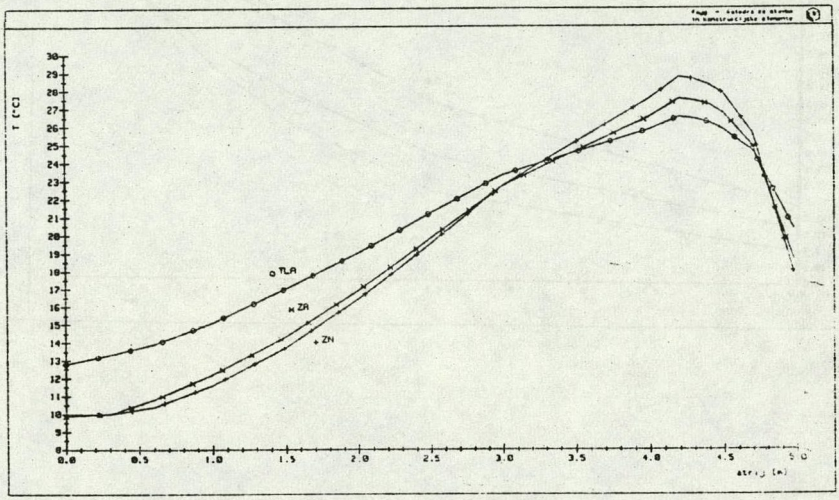
4. PRELIMINARNI REZULTATI

Na sliki 2 so podane najvišje temperature (dosežene ob enih popoldne) zraka v atriju (ZA) in obdajajoči zgradbi (ZN) ter atrijskih tal (TA) pri različnih dimenzijah atrijskega

prostora oz. strešnega okna, za novembrski dan brez oblačnosti (OBL = 0). Vidimo, da se dosežene maksimalne temperature monotono povišujejo, če povečujemo velikost atrijskega okna, kar pomeni, da je pomembnejši večji dotok sončne energije skozi atrijsko okno kot večje toplotne izgube skozi njega v okolico. Najugodnejše pogoje se doseže pri velikosti atrija okrog 4,2 m (ZA okrog 27,5°C, ZN okrog 29°C in TA okrog 26,5°C). Pri večjih atrijih se dosežene temperature zmanjšujejo do ZA okrog 18,5°C, ZN okrog 18°C in TA okrog 20°C, ko je celotna streha zasteklena.

Obstoj optimalnega maksimuma velikosti atrija pri dani velikosti zgradbe in pri danih vremenskih pogojih je splet različnih funkcijskih odvisnosti: z večanjem velikosti atrija se povečuje dotok sončne energije v atrijski prostor, povečujejo pa se tudi toplotne izgube v okolico, povečuje se toplotna kapaciteta atrijskih tal in atrijskega zraka, medtem ko se kapaciteta kamrnih tal in kamrinega zraka zmanjšuje. Pomembna je tudi nadomestitev toplotnega upora zidu s toplotnim uporom atrijskega okna. Ali je ta optimum fizikalno pogojen ali je le rezultat računskih aproksimacij, bo treba še raziskati.

Slika 2



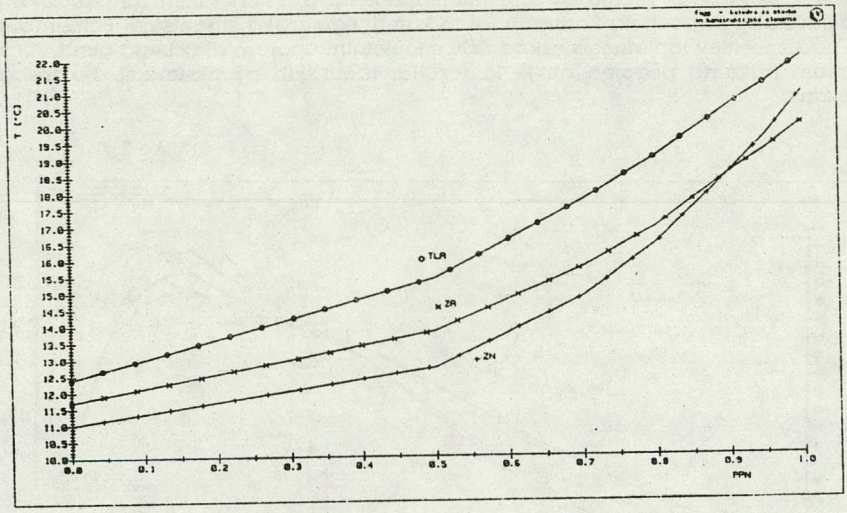
Zanimivo je, da je zrak v atriju pri velikostih atrija manj od 3 m toplejši od zraka v notranjosti zgradbe, pri velikih atrijih (več kot 3 m) pa hladnejši. Atrijski zrak se namreč segreva predvsem zaradi toplotnega stika z atrijskimi šipami in tlemi, te pa segreva absorbirana vpadna sončna energija. Medtem ko na temperaturo zraka v notranjosti zgradbe vplivajo predvsem tla, ki absorbirajo energijo, prepuščeno skozi atrijske šipe.

Podoben potek dobimo tudi za decembrski dan, le da so dosežene maksimalne temperature seveda nižje: ZA in ZN okrog 5°C ter TA okrog 6,5°C. Popolna oblačnost poveča učinkovitost atrija za okrog 1°C.

Učinkovitost atrija za pasivno izkoriščanje sončne energije pri ogrevanju zgradbe je močno odvisna od kvalitete njegovih šip. To v programu KAMRA podamo z vhodnim parametrom PPN, ki predstavlja svetlobno prepustnost šipe pri pravokotnem vpadu svetlobe. Običajno vzamemo PPN = 0,8 (to je 20%-ne izgube pri pravokotnem prehodu svetlobe skozi šipo: okrog 8% zaradi refleksije na obeh mejnih ploskvah in 12% zaradi absorpcije v sami šipi).

Slika 3 podaja rezultate izračunov za zgradbo z atrijem 2m x 1,6m v povprečnem novembrskem dnevu brez oblačnosti. Medtem ko se zrak v notranjosti zgradbe pri normalni kvaliteti šipe (PPN = 0,8) segreje maksimalno na okrog 16°C, bi se v idealnem primeru (če bi bila propustnost šipe 92%-na, da torej šipa ne bi absorbirala svetlobe) segrel na okrog 19°C. Zanimivo je, da je že neznatna propustnost šipe (npr. le 1%) zadostna, da se zrak (zaradi relativno velikega atrija) v notranjosti zgradbe segreje na 11°C, kar je za okrog 1°C nad najvišjo temperaturo zunanjega zraka.

Slika 3



5. LITERATURA

1. R. Kladnik, TEORIJA KAMRE, Interna publikacija KSKE, FAGG, št.16, 1987
2. R. Kladnik, UVOD V TEORIJO ATRIJA, poročilo o delu na raziskovalni nalogi RSS, URP Gradbeni materiali, 1989

doc.dr. Aleš Krainer, Rudi Perdan, Roman Zorman
FAGG - OGG, Jamova 2, Ljubljana
Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente

EKSPERTNI SISTEM - PROJEKTIRANJE OVOJA ZGRADBE

Izvleček

Izdelali smo ekspertni sistem, ki nam z upoštevanjem vseh veljavnih predpisov omogoča enostavno konstruiranje konstrukcijskih sklopov ovoja zgradbe.

EXPERT SYSTEM - CONSTRUCTION OF THE ENVELOPE OF BUILDING

Abstract

An expert system has been developed which enables a user-fiendly construction of the constructional complexes, considering all relevant standards.

1.0 UVOD

Ekspertni sistem je namenjen enostavnejšemu in hitrejšemu določanju posameznih elementov (konstrukcijskih sklopov) ovoja zgradbe. V ekspertni sistem je vključen program TEDI kot osnova za analizo toplotnega prehoda, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope, upoštevani pa so tudi vsi trenutno veljavni predpisi na obravnavanem področju (JUS U.J5.510, JUS U.J5.520, JUS U.J5.530 in JUS U.J5.600). Ker so v ekspertni sistem vključena tudi ustrezna znanja s področja ovoja zgradbe, nas le-ta preko menujev vodi do željenega cilja. V primeru neustreznega rezultata pa ekspertni sistem svetuje nadaljnje korake, ki nas pripeljejo do željenega rezultata, seveda če si uporabnik to želi.

Trenutno teče ekspertni sistem na PC kompatibilnih računalnikih, pri izdelavi pa je bila uporabljena lupina EXSYS Professional. Ker je na voljo tudi verzija zgoraj navedene lupine za računalnike, ki delujejo pod UNIX ali DEC VAX/VMS operacijskim sistemom, je možno ekspertni sistem enostavno prenesti tudi na druge računalnike.

2.0 PREGLED SESTAVNIH DELOV EKSPERTNEGA SISTEMA

Ekspertni sistem sestavljajo naslednji osnovni deli :

Vnos osnovnih podatkov
Račun s programom TEDI
Svetovanje nadaljnjih korakov

3.0 VNOS OSNOVNIH PODATKOV

Osnovne podatke podajamo s pomočjo ekranov, ki nam omogočajo izbiro željene vrednosti. Željeno vrednost lahko podamo na dva načina :

a) s puščico gor-dol izberemo željeno vrednost
b) napišemo številko, ki se nahaja pred izbrano količino

Po končanem podajanju in prvem izračunu lahko katerokoli količino spremenimo in račun ponovimo. Ta postopek lahko ponavljamo, dokler ne dobimo ustreznih rezultatov. Vnos podatkov je razdeljen na šest delov in sicer :

1. Podatki o klimatski coni, temperaturi zunaj in notri, relativni vlažnosti zunaj in notri
2. Podatki o konstrukcijskem sklopu
3. Podatki o nosilni konstrukciji
4. Podatki o toplotni izolaciji
5. Podatki o hidro izolaciji
6. Podatki o finalni obdelavi konstrukcijskega sklopa

3.1 Podatki o klimatski coni, temperaturi in relativni vlažnosti

Klimatsko cono razdelimo na tri cone po JUS-u.
Pri zunanji temperaturi imamo dve možnosti :

a) temperatura po JUS-u
b) temperaturo podamo

Pri notranji temperaturi imamo na razpolago štiri variante :

a) 18 °C
b) 20 °C
c) 22 °C
d) temperaturo podamo

Pri zunanji relativni vlažnosti imamo dve možnosti :

a) relativna vlažnost po JUS-u
b) relativno vlažnost podamo

Pri notranji relativni vlažnosti imamo na razpolago štiri variante:

a) 50% relativna vlažnost
b) 60% relativna vlažnost
c) 70% relativna vlažnost
d) relativno vlažnost podamo

3.2 Podatki o konstrukcijskem sklopu

Ekspertni sistem deluje samo v prvi točki, to je ZUNANJI ZID. Ostale variante še niso izdelane.

3.3 Podatki o nosilni konstrukciji

Podatki o nosilni konstrukciji so razdeljeni v štiri večje skupine :

a) beton
b) opeka in bloki iz drugih materialov
c) kamen
d) les

Vsaka od navedenih skupin se še razdeli na posamezne veje z namenom, da pridemo do željenega materiala za nosilno konstrukcijo. Po izbranem materialu za nosilno konstrukcijo nam ekspertni sistem da možnost izbire debeline nosilne konstrukcije glede na industrijske dimenzije posameznih vrst materialov. Če podatka o debelini materiala ni na voljo, pa obstaja možnost, da debelino podamo.

3.4 Podatki o toplotni izolaciji

Najprej določimo lego toplotne izolacije :

a) brez TI
b) TI notri
c) TI zunaj
d) TI sendvič
e) TI jedro

Nato izberemo material toplotne izolacije, ki bo vgrajen v konstrukcijo, po izbranem materialu pa dobimo izračunano minimalno debelino toplotne izolacije glede na predpisani koeficient toplotne prehodnosti v odvisnosti od klimatske cone in vrste konstrukcijskega sklopa. Nato ekspertni sistem predlaga prvo večjo debelino, vzeto iz baze znanja o industrijskih debelinah toplotno izolacijskih materialov. Možno je tudi podati večjo debelino toplotne izolacije.

3.5 Podatki o hidro izolaciji

S pomočjo menujev izberemo najprej način izvedbe hidroizolacije (hidorizolacija dosežena z debelino ali z nepropustno membrano), nato sledi izbira prezračevanosti konstrukcijskega sklopa Tu obstajata dve možnosti :

a) prezračevana
b) neprezračevana

Temu sledijo vprašanja o materialu, ki naj bi ga vgradili v konstrukcijski sklop. Nato nas ekspertni sistem vpraša po debelini hidro izolacije, če je ekspertni sistem nima vgrajene.

3.6 Podatki o končni obdelavi konstrukcijskega sklopa

V primeru, da finalna obdelava konstrukcijskega sklopa obstaja, si s pomočjo menujev izberemo material za ta konstrukcijski sloj. Na koncu podamo debelino tega sloja.

4.0 RAČUN S PROGRAMOM TEDI

4.1 Račun lastnosti konstrukcijskega sklopa, ki morajo ustrezati veljavnim predpisom

Ker so podani vsi potrebni podatki, dobimo izračunane sledeče lastnosti izbranega konstrukcijskega sklopa:

a) toplotno prehodnost (k) konstrukcijskega sklopa
b) difuzijo vodne pare skozi večplasten konstrukcijski sklop
c) toplotno stabilnost

Pri vsaki izračunani količini dobimo tudi diagnozo pravilnosti in v primeru neustreznosti nakazano možnost reševanja nastalega problema.

5.0 SVETOVANJE NADALJNJIH KORAKOV

5.1 Koeficient toplotne prehodnosti

V primeru, da nismo zadovoljni z izračunanim "k", ga lahko izboljšamo s povečevanjem debeline toplotne izolacije ali z zamenjavo določenega materiala z materialom boljše kvalitete. To lahko ponavljamo, dokler nismo zadovoljni s toplotno prehodnostjo.

5.2 Difuzija vodne pare skozi konstrukcijski sklop

Pri difuziji vodne pare skozi konstrukcijski sklop imamo več možnih izidov računa :

- konstrukcijski sklop je ustrezen, ker v njem ne pride do kondenza
  - če želimo, lahko spremenimo katerokoli količino in račun ponovimo

- nastop kondenza, kondenz se izsuši
- podani sklop odgovarja
  - če želimo, lahko spremenimo katerokoli količino in račun ponovimo

- nastop kondenza v nedovoljenem materialu
- podani sklop ne odgovarja
  - zamenjamo material z dovoljenim
  - račun ponovimo

- nastop kondenza, kondenz se ne posuši
- podani sklop ne odgovarja
  - izberem eno od opcij za rešitev tega problema :
    1) debelejša TI
    2) sprememba plasti
       - debelina katerekoli plasti
       - material katerekoli plasti
    3) parne ovire ali parne zapore
    4) prerazporeditev plasti

- kondenz se pojavi v dovoljenem materialu, vendar je količina kondenzata prevelika
- podani sklop ne odgovarja
- izberem eno od opcij za rešitev tega problema :
  1) debelejša TI
  2) sprememba plasti
     - debelina katerekoli plasti
     - material katerekoli plasti
  3) parne ovire ali parne zapore
  4) prerazporeditev plasti

- kondenz se pojavi na zunanji površini KS
- podani sklop ne odgovarja
- popolnoma zgrešena zasnova konstrukcijskega sklopa, potrebna je nova zasnova, ki pa brez minimalnega predznanja ni mogoča!

- kondenz se pojavi na notranji površini KS
- podani sklop ne odgovarja
- popolnoma zgrešena zasnova konstrukcijskega sklopa, potrebna je nova zasnova, ki pa brez minimalnega predznanja ni mogoča!

- kondenz se pojavi na zunanji in notranji površini KS
- podani sklop ne odgovarja
- popolnoma zgrešena zasnova konstrukcijskega sklopa, potrebna je nova zasnova, ki pa brez minimalnega predznanja ni mogoča!

5.3 Toplotna stabilnost konstrukcijskega sklopa

Pri toplotni stabilnosti konstrukcijskega sklopa imamo več možnih izidov računa :

- račun ni potreben
- podani sklop odgovarja

- račun je potreben
- podani sklop odgovarja

- račun je potreben
- podani sklop NE odgovarja, razen v primeru prezračevane fasade s površinsko maso KS brez obloge preko 100kg/m^2
- izberem eno od opcij za rešitev tega problema :
  1) debelejša TI
  2) večja masa NK

- račun je potreben
- podani sklop odgovarja le za orientacijo SEVER in v primeru prezračevane fasade s površinsko maso KS brez obloge preko 100kg/m^2
- izberem eno od opcij za rešitev tega problema :
  1) debelejša TI
  2) večja masa NK

- račun je potreben
- podani sklop odgovarja le za orientacije SEVER, VZHOD, SEVEROZAHOD IN SEVEROVZHOD, in v primeru prezračevane fasade s površinsko maso KS brez obloge preko 100kg/m²
- izberem eno od opcij za rešitev tega problema :
  1) debelejša TI
  2) večja masa NK

- račun je potreben
- podani sklop odgovarja za vse orientacije razen : ZAHOD IN JUGOZAHOD, in v primeru prezračevane fasade s površinsko maso KS brez obloge preko 100kg/m²
- izberem eno od opcij za rešitev tega problema :
  1) debelejša TI
  2) večja masa NK

Rezultati računa so podani v numerični in grafični obliki in v največji možni meri prirejeni neposredni uporabi v konkretnih projektih.

```
KSKE ═══════ You may select ONLY ONE value ═══════

        Konstrukcijski sklop :
          1   Zunanji zidovi
          2   Pregradni zid med stanovanji in proti stopniscu
          3   Zunanji zidovi pod tlemi
          4   Med etazna konstrukcija med stanovanji
          5   Tla na terenu
          6   Medetazna konstrukcija proti podstresju
          7   Medetazna konstrukcija nad kletjo
          8   Medetazna konstrukcija nad terenom
          9   Ravne in posevne strehe, stropovi nad ogrevanim
              prostorom

Enter the value number(s) or select with arrow keys and press <ENTER>
```

```
KSKE ═══════ You may select ONLY ONE value ═══════

        Vrste opeke in blokov iz drugih materialov :
          1   polna opeka
          2   mrezasti opecni votlak
          3   porozna opeka (800)
          4   polna klinker opeka in klinker opeka z votlinami
          5   bloki iz elektrofilterskega pepela
          6   polna silikatna opeka
          7   silikatna opeka z votlinami
          8   porolit (1200)
          9   termobloki iz ugaskov
         10   bloki iz plinobetona in penobetona
         11   polni bloki iz lahkega betona
         12   bloki iz lahkega betona z dvema vrstama odprtin
         13   bloki iz lahkega betona z tremi vrstami odprtin
         14   zid iz naravnega kamna (2000)
         15   betonski bloki s tremi vrstami odprtin (1600)

Enter the value number(s) or select with arrow keys and press <ENTER>
```

```
KSKE ============ You may select any number of values ==========

        Vrsta toplotne izolacije :
          1   polistiren
          2   mineralna volna
          3   steklena volna
          4   pluta,ekspandirana,impregnirana
          5   polivretanske plosce rezane iz blokov
          6   penjeno steklo  (145)
          7   plosce iz presite trstike  (800)
          8   plosce iz stisnjene slame  (350)
          9   brizgani azbest  (400)
          10  leseni beton
          11  plosce iz sinteticnega materiala vecslojnega poliestra
          12  plosce iz akrilne smole  (1180)
          13  PVMD in PVC plosce  (1400)
          14  fenolne plosce rezane iz blokov
          15  PVC plosce  (50)
          16  urea plosce  (15)

                  ↕▸▸ 3
Enter the value number(s) or select with arrow keys and press <ENTER>
```

```
KSKE==========================================================
  Nastop kondenza !    Kondenz se izsusi !      Podani sklop ustreza !

  Kondenz se pojavi v plasti : polistirenske plosce
                               (v blokih)

  Vlaznost materiala :
                    Xr = 20 %     >    X (dif) = 10.2 %
                    X max = 40 %   >   X (sk) = 10.2 %
   Stevilo dni potrebnih za izsusitev 4.715
   Stevilo poletnih dni 60

   Zelis spremeniti podatke (D/N) :
   ____________________________________      ___
```

Štirje tipični primeri ekranov

6.0 ZAKLJUČEK

V trenutni fazi razvoja nam zgoraj opisani ekspertni sistem omogoča konstruiranje konstrukcijskih sklopov predvsem na nivoju funkcionalne zasnove, v končni fazi pa bo vključen tudi ekonomsko-komercialni vidik.

7.0 LITERATURA

1. Exsys Professional, Navodila za uporabo, 1990
2. Univerza v Ljubljani, FAGG-OGG, URP Gradbeni materiali, Letno poročilo o opravljenem delu, 1991
3. TEDI, Navodila za uporabo, Ljubljana, 1989

mag. Marjana Šijanec Zavrl, dr. Aleš Krainer
FAGG OGG, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente

ANALIZA TEMPERATURNE DISTRIBUCIJE V ZUNANJI STENI: PRIMERJAVA MERITEV IN SITU IN SIMULACIJE S PROGRAMOM TEMPOL

POVZETEK

Prispevek opisuje meritve temperature na izbranih mestih v večplastnem ovoju testne zgradbe. Temperaturno distribucijo v steni smo nato simulirali s programom TEMPOL in s primerjavo rezultatov simulacije in meritev potrdili delovanje programa TEMPOL ter nakazali območje njegove uporabe na področju določanja dinamičnega toplotnega odziva ovoja zgradbe.

ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN OUTER WALL: COMPARATION OF MEASUREMENTS IN SITU AND PROGRAM TEMPOL SIMULATION

SUMMARY

Temperature measurements in the selected points within the multi-layered envelope of a test building are described in the paper. The temperature distribution in the wall was also simulated using the program TEMPOL. Comparison of the simulation results and the measurements confirmed the performance of the program TEMPOL and also the field was indicated, in which the program is an appropriate tool for dynamic thermal response determination.

1. UVOD

Z eksperimentom, ki je opisan v nadaljevanju prispevka, smo želeli dobiti podatke o toplotnem delovanju ovoja zgradbe na jasen dan z velikim sončnim sevanjem. Meritve temperaturne distribucije v ovoju zgradbe smo uporabili za verifikacijo delovanja programa TEMPOL.

Program TEMPOL /1,4/ je namenjen določanju časovnega in krajevnega poteka spreminjanja temperature in toplotnega toka v večplastnem konstrukcijskem sklopu (KS). Računska metoda za določanje nestacionarnega toplotnega odziva KS, uporabljena v programu, po eni strani zaradi predpostavk omejuje območje uporabe programa. Hkrati pa omogoča razmeroma hitro določanje toplotnega odziva različnih KS v spremenljivih toplotnih razmerah in kvalitativno ter kvantitativno primerjavo njihovega toplotnega delovanja. Na osnovi meritev želimo tudi pokazati, v kolikšni meri so rezultati simulacije temperaturne distribucije sprejemljivi za nadaljnje primerjalne študije, s katerimi bi poudarili učinkovito toplotno delovanje posameznega sklopa v specifičnem toplotnem okolju /2/.

2. ZASNOVA EKSPERIMENTA

Na testnem objektu smo merili temperaturo v južni zunanji steni. Južna fasada testne celice je razdeljena na polja, ki jih lahko zapolnimo s KS poljubne sestave. V eno od polj smo vstavili masivno betonsko steno in jo nato v posameznih variantah toplotno zaščitili oziroma spreminjali barvo zunanje površine. Meritve temperature na več mestih v steni in v zraku so potekale v

dveh fazah, v dveh jasnih sončnih junijskih dnevih. Merili smo tudi globalno sončno sevanje na horizontalno površino s solarimetrom, nameščenim na strehi testne celice.

Pri meritvah smo uporabljali HP Data Acquisition 3852A System in lastno programsko opremo /3/, razvito na KSKE. Merili smo temperaturo na 45 merilnih mestih, pri tem smo uporabili termočlene tipa E (NiCr - CuNi). Temperature v merilnih mestih smo merili v intervalih 15 minut, kar pri analizi toplotnega delovanja ovoja zgradbe popolnoma zadošča.

2.1 Sestava zunanje stene

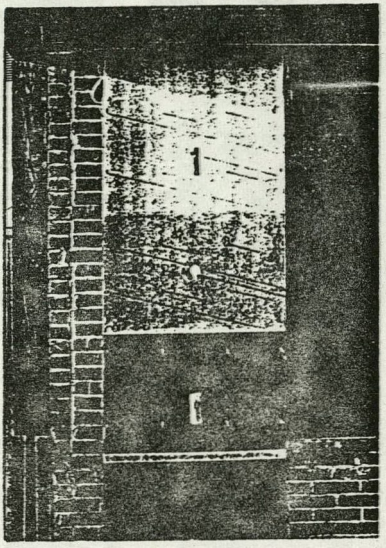
Betonsko steno debeline 20 cm, dimenzije 1m x 2m, smo razdelili po višini na tri polja (slika 1) in oblikovali tri različne konstrukcijske sklope, označene: KS MAS, KS TIN in KS TIZ. Sestava sklopov je naslednja:

- **KS MAS** je masivna stena sestavljena iz ene same plasti betona v debelini 20 cm.

- **KS TIZ** je dvoplasten sklop, iz toplotne izolacije (stiropor) debeline 5 cm na zunanji strani sklopa in 20 cm betona.

- **KS TIN** je dvoplasten sklop, iz 20 cm betona in toplotne izolacije (stiropor) debeline 5 cm na notranji strani sklopa.

Spreminjali smo barvo zunanje površine stene. Prvi dan meritev je bila površina bela z absorptivnostjo 0.15, drugi dan meritev smo steno prebarvali s črno barvo z absorptivnostjo 0.90. Posamezni sklopi, pri katerih smo izvedli meritve, so navedeni v tabeli 1.



Slika 1. Razdelitev zunanje južne stene v testni celici na tri polja.

Matrika meritev:

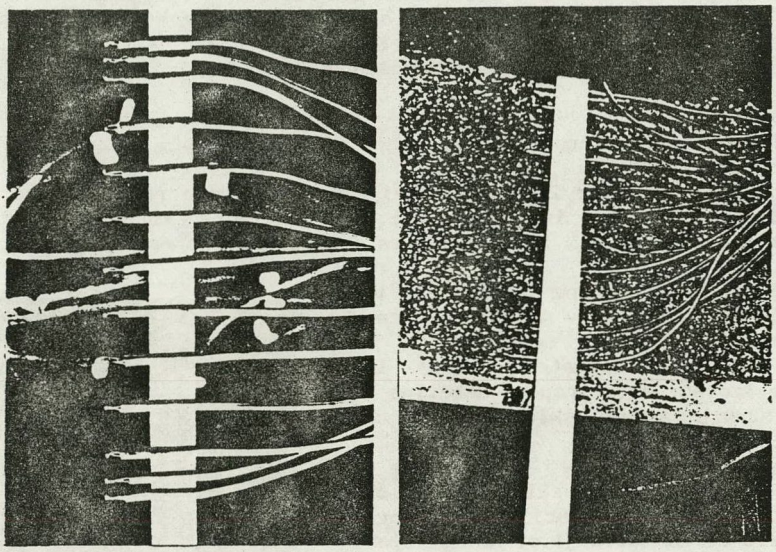
sistem KS	datum meritve in barva površine	
	17.6.90	19.6.90
MAS	bela	črna
TIZ	bela	črna
TIN	bela	črna

Tabela 1. Analizirani konstrukcijski sklopi.

2.2 MERILNA MESTA

V zunanji steni smo namestili termočlene v času betoniranja oziroma montaže toplotne izolacije (TI). Položaj termočlenov v betonu je prikazan na sliki 2. V osrednjem delu je razmak med merilnimi mesti 2 cm, na krajeh stene je razmak 1 cm.

Kjer smo ob betonsko steno namestili še TI, smo postavili termočlen tudi na površino izolacije (na zunanjo površino pri sklopu s TI zunaj in na notranjo površino pri sklopu s TI notri). Merili smo še temperaturo zunanjega in notranjega zraka, tako da smo termočlen položili v tulec iz Al folije, da bi preprečili vplive radiacije okolja.



Slika 2. Položaj termočlenov v betonu.

2.3 Ponazoritev rezultatov meritev

Meritve so prikazane grafično, zaradi vizualne primerjave smo grafe risali v koraku 1 ure, to je časovni interval, ki ga uporablja tudi program TEMPOL. Na slikah sta posebej označeni krivulji spreminjanja temperature zunanje in notranje površine stene ter tudi zunanjega in notranjega zraka, če se tudi slednji krivulji na sliki pojavljata.

3. SIMULACIJA TEMPERATURNEGA POTEKA V STENI S PROGRAMOM TEMPOL

3.1 Predpostavke računske metode

Dogajanje v steni smo simulirali s programom TEMPOL za nestacionarno toplotno analizo. Osnovna predpostavka, ki izvira iz izbrane metode računa, je periodično ponavljanje časovnega spreminjanja temperature in toplotnega toka znotraj poljubno dolge izbrane periode. V našem primeru smo za periodo izbrali 24 urni ciklus dan - noč, kar je blizu naravnemu ciklusu spreminjanja toplotnih razmer v okolju.

KS sestavljata poleg masivnih plasti tudi zunanja in notranja mejna zračna plast, kjer računamo, da se izvrši konvekcijski prenos toplote s površine stene v okoliški zrak. V programu so predvidene časovno nespremenljive karakteristike mejne zračne plasti.

Izhodišče za simulacijo temperature v sklopu je časovno spreminjanje toplotnih razmer na zunanji in notranji strani stene. S temi podatki opišemo robne pogoje. Kot robni pogoj izberemo časovni potek temperature v robnih točkah

sklopa. Vzamemo lahko:
- točko v zunanjem zraku in točko v notranjem zraku
- točki na zunanji in notranji površini stene.

Če predpišemo robne pogoje v zunanjem oziroma notranjem zraku, zajamemo v račun poleg trdnih plasti stene še mejni zračni plasti, kjer se izvrši konvekcijski prenos toplote. Če predpišemo robne pogoje na površini stene, s tem izključimo pri obravnavanju mejni zračni plasti KS in zaobidemo predpostavko o konstantnih lastnostih mejne zračne plasti.

Mejna zračna plast predstavlja plast, katere lastnosti so težko določljive, posebno toplotna prestopnost. Koeficient α (W/m^2K) (toplotna prestopnost), se giblje od vrednosti 2 do 100, glede na to ali gre za prosto, mešano ali prisilno konvekcijo /1/. Prosta konvekcija nastopi, če okoliški zrak miruje, tedaj je prestopnost v mejni zračni plasti odvisna od razlike med temperaturo zraka in površino stene. Lahko jo vzamemo tudi konstantno, če so temperaturne razlike med zrakom in površino majhne in če je delež toplotne prestopnosti mejnih zračnih plasti majhen glede na prevodnost celotne stene. Zadnja zahteva je izpolnjena pri toplotno izolirani steni, nasprotno pa bi ji komaj lahko zadostili pri enoplastni betonski steni.

Predpostavke programa TEMPOL predvidevajo konstantne toplotne karakteristike snovi v obravnavani časovni periodi, torej moramo privzeti za prestopnost konstantno vrednost. To je mogoče storiti ob upoštevanju enostavnejših izrazov za določanje prestopnosti /1/, če gre za prisilno konvekcijo, ki nastopi, kadar je gibanje zraka intenzivno (veter). Tedaj je prestopnost odvisna le od hitrosti vetra in ne tudi od temperaturne razlike. Če privzamemo, da je veter konstanten, je tako konstantna tudi prestopnost. Vendar se je treba zavedati, da so stalni pogoji v okolju redki, težko pa je določljiva tudi hitrost gibanja zraka ob steni zaradi vplivov mikrolokacije zgradbe.

Zato lahko zaključimo, da pri simuliranju toplotnega dogajanja v sklopu, skupaj z mejnimi zračnimi plastmi, vedno napravimo določeno napako, ko privzamemo konstantno prestopnost in s tem tudi fiksiramo konvekcijske razmere. Hkrati velja, da čim močneje je sklop toplotno izoliran, toliko manjšo težo ima ta napaka. Uporabnost rezultatov simulacije pri sklopih, ki so izolirani vsaj v skladu z veljavnimi predpisi ali bolje, ni vprašljiva.

Dodatni problem je upoštevanje sončnega sevanja pri določanju toplotnega odziva KS. Globalno sončno sevanje se deloma absorbira na zunanji površini stene, glede na njeno absoprtivnost. Tako se podnevi temperatura zunanje površine stene, še posebej, če ima ta visoko absorptivnost, dvigne visoko nad temperaturo okoliškega zraka. V programu je predvideno, da vpliv absorbiranega sončnega sevanja zajamemo z efektivno temperaturo zunanjega zraka, ki je enaka temperaturi zraka, spremenjeni za dodatek, imenovan sol-air temperatura.

Za določitev sol-air temperature potrebujemo podatek o sončnem sevanju ($W/^2m$) za posamezni interval v časovni periodi, ki jo analiziramo, podatek o absorptivnosti površine in o toplotni prestopnosti mejne zračne plasti. Pri tem je negotov in težko določljiv podatek toplotna prestopnost, s pomočjo katere povišamo temperaturo zunanjega zraka v času, ko imamo sončno sevanje. Tako določena efektivna temperatura je robni pogoj za analizo. Izkaže se, da moramo postopek določanja efektivne temperature okolja večkrat ponoviti, z različnimi vrednostmi toplotne prestopnosti, da se z upoštevanjem dodatne sol-air temperature približamo izmerjenim temperaturam na zunanji površini stene.

3.2 Pregled simulacij s programom TEMPOL

sistem KS	barva stene	
MAS z mejnimi zračnimi plastmi α=23W/m^{2}K	bela	črna
TIN z mejnimi zračnimi plastmi α=23W/m^{2}K	bela	črna
TIZ z mejnimi zračnimi plastmi α=23W/m^{2}K	bela	črna
MAS z mejnimi zračnimi plastmi α=30W/m^{2}K	bela	črna
TIN z mejnimi zračnimi plastmi α=30W/m^{2}K	bela	črna
TIZ z mejnimi zračnimi plastmi α=30W/m^{2}K	bela	črna
MAS brez mejnih zračnih plasti	bela	črna
TIN brez mejnih zračnih plasti	bela	črna
TIZ brez mejnih zračnih plasti	bela	črna

Tabela 2. Pregled simulacij toplotnega delovanja KS.

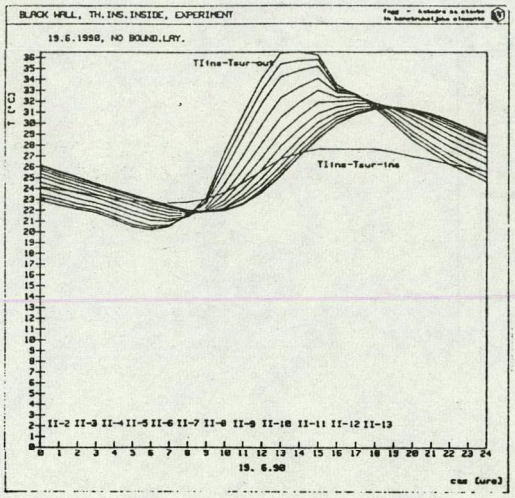
Toplotno dogajanje v izbranih tipih KS smo simulirali na tri načine (tabela 2). V prvem primeru smo pri sestavi KS upoštevali poleg trdnih plasti tudi mejni zračni plasti in zanje upoštevali dve različni vrednosti toplotne prestopnosti α (23 in 30 W/m^{2}K). V drugem primeru smo toplotno delovanje sklopa simulirali brez mejnih zračnih plasti.

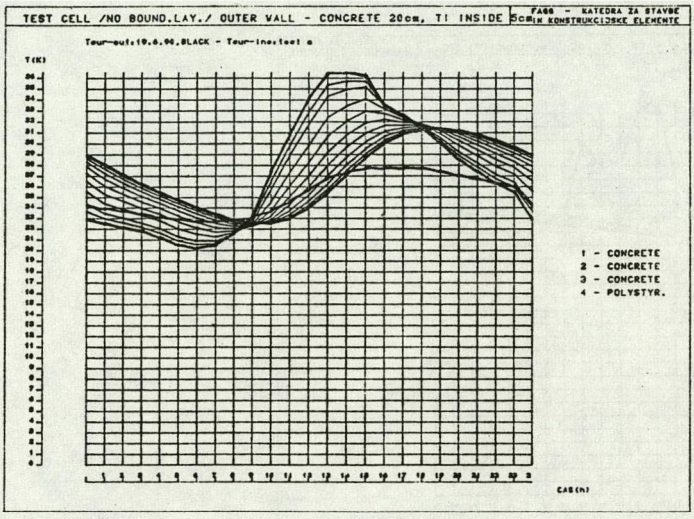
4. REZULTATI IN DISKUSIJA

Rezultati simulacije in meritev se posebno v primeru sklopa brez upoštevanja mejnih zračnih plasti zelo dobro ujemajo, kar hkrati potrjuje ustreznost izbrane računske metode in verificira rezultate nestacionarne toplotne analize s programom TEMPOL. Na sliki 3 sta prikazani simulacija in meritev temperaturne distribucije pri črni steni s toplotno izolacijo notri, brez upoštevanja mejne zračne plasti. Ujemanje je zelo dobro, minimalna odstopanja so le na začetku in koncu časovne periode, zaradi predpostavke metode o periodičnosti toplotnih razmer. Zaradi visoke absorptivnosti zunanje površine stene se temperatura zunanje površine dvigne do 36.5 °C pri maksimalni temperaturi zunanjega zraka 26 °C. Temperaturna razlika v steni je velika, potek temperature v merilnih točkah v plasti betona je dobro viden, prav tako tudi časovni zamik in dušenje temperaturnega nihanja, pri prehodu skozi plast betona. Razlike med meritvami in računom so velikostnega reda 0.5 K. V primeru toplotne izolacije notri rezultati poudarjeno kažejo, da temperaturno nihanje v dnevnem ciklusu v glavnem izzveni že v zunanji betonski plasti in da plast stiropora prispeva le še k dušenju temperature in ne več k časovni zakasnitvi nastopa temperaturnega maksimuma.

Na sliki 4 je primerjava računa in meritev za belo steno s toplotno izolacijo zunaj. Predpisali smo temperature notranje in zunanje površine stene. Rezultati računa kažejo dobro ujemanje z eksperimentom, razen na začetku in koncu periode, enako kot v prejšnjem primeru. Merilna mesta so razporejena na gosto v plasti betona, temperaturna razlika pri beli steni je bistveno manjša kot v prejšnjem primeru, temperaturno nihanje praktično v celoti poteka v zunanji plasti stiropora debeline 5 cm, medtem ko betonska stena sledi približno enakomerni temperaturi bivalnega prostora.

Na sliki 5 je prikazana analiza istega primera - bela stena s toplotno izolacijo zunaj, le da smo mejne zračne plasti tokrat upoštevali. Privzeli smo toplotno prestopnost α = 23 W/m^{2}K. Na zunanji strani stene smo predpisali efektivno temperaturo zunanjega zraka (T zun. zraka povečana za T sol air). Na notranji strani je robni pogoj temperatura notranjega zraka. V običajnih bivalnih prostorih je notranja prestopnost manjša od zunanje, torej je padec



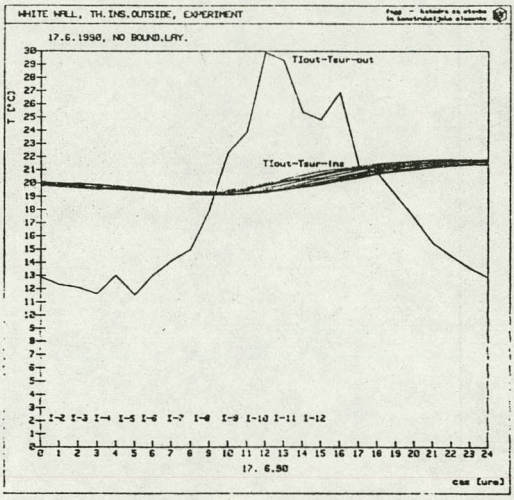


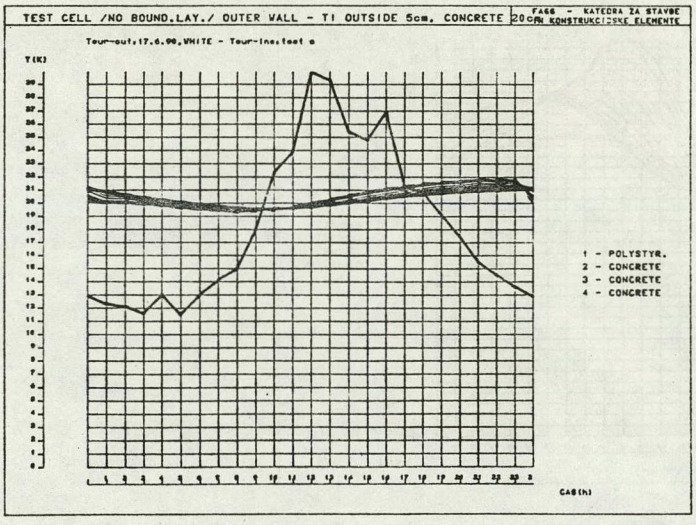
Slika 3. KS s TI notri, črna površina, zgoraj: meritve, spodaj: simulacija brez mejnih zračnih plasti.

temperature v notranji mejni zračni plasti večji kot v zunanji. Kljub temu ima prestopnost zunanjih mejnih plasti bistveno večji vpliv na rezultate simulacije od prestopnosti notranjih mejnih plasti, saj vpliva preko sol-air temperature (skupaj z globalnim sončnim sevanjem in absorptivnostjo površine) direktno na določitev efektivne temperature zunanjega zraka. Ujemanje računa z meritvami je v tem primeru zaradi opisanih razlogov slabše in močno odvisno od izbire vhodnih, težko določljivih parametrov.

5. ZAKLJUČEK

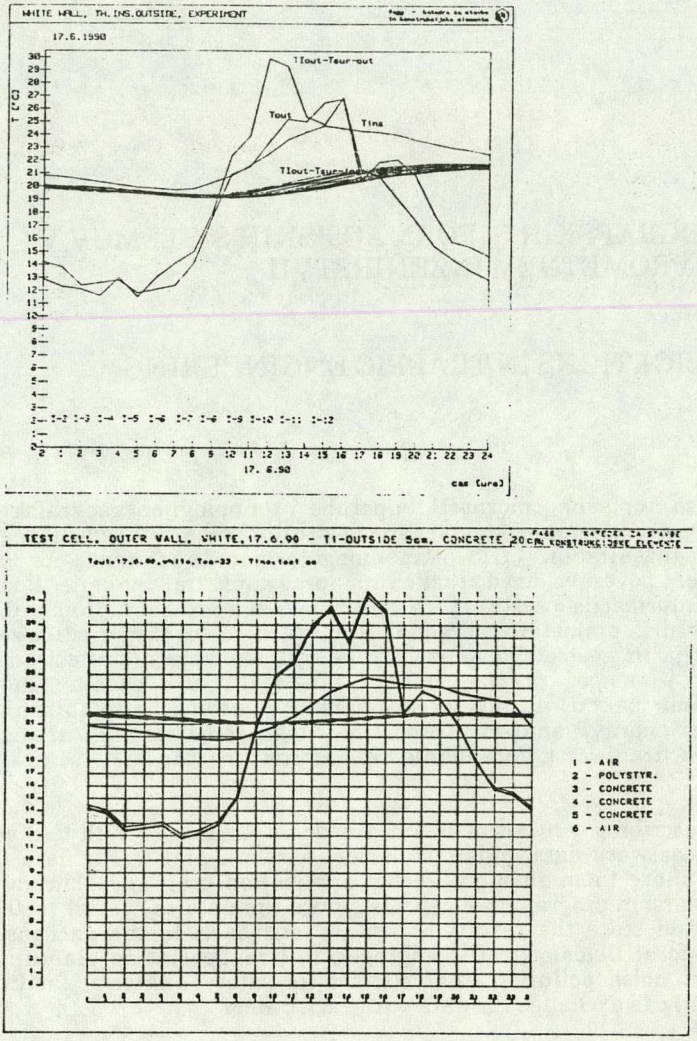
Na osnovi obdelanih primerov smo ugotovili, da računalniški program TEMPOL daje izredno točne rezultate, kadar analiziramo večplastni konstrukcijski





Slika 4. Bela stena TIZ, brez mejnih zračnih plasti, zgornja slika: meritve, spodnja slika: simulacija s programom TEMPOL.

sklop brez mejnih zračnih plasti. Če analiziramo KS skupaj z mejnimi zračnimi plastmi in pri tem nimamo sončnega sevanja (KS ni izpostavljen direktnemu sončnemu obsevanju), zagrešimo manjšo napako v primeru, kadar poteka izmenjava toplote med steno in okolico le z naravno konvekcijo, pri simulaciji pa moramo opustiti odvisnost prestopnosti od časovno spremenljive temperaturne razlike med zrakom in površino stene. Močno sončno sevanje, temne zunanje površine KS in časovno zelo spremenljiva temperaturna razlika (zunanji zrak - površina stene) imajo lahko za posledico manj zanesljive rezultate simulacije toplotnega delovanja ovoja zgradbe. Glede na točnost računa v primerih, kjer so snovni parametri določljivi, smo še zaključili, da je omenjeni program posebej primerno orodje za primerjalne študije toplotne učinkovitosti različnih zasnov konstrukcijskih sklopov /2/.



Slika 5. Bela stena TIZ, upoštevane mejne zračne plasti, zgornja slika: meritve, spodnja slika: simulacija s programom TEMPOL.

LITERATURA

1. M. Šijanec, Magistrska naloga, FAGG VTOZD GG, 1989

2. M. Šijanec Zavrl, A. Krainer, J. Banovec, Performance of Multilayered Building Envelope in Dynamic Thermal Conditions, 2nd International Conference on Energy Consulting, Graz, Austria, 25.-27.sept.1991, Conf. Proc. Vol.1, str. 655 - 664

3. R. Perdan, Programska grafična oprema za HP 900/360, Zbornik 5. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana, april 1990, str. 153 - 157

4. A.Krainer, J.Banovec, M.Šijanec, Analysis of Dynamic Thermal Response of Constructional Complexes, Proceedings: Heat and Mass Transfer in Building Material and Structure, Dubrovnik, september 1989, 10 strani

doc.dr. Tomaž Kastelic
FAGG PTI
Jamova 2, Ljubljana

UPORABA GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV V PROMETNEM INŽENIRSTVU

GIS APPLICATIONS IN TRAFFIC ENGINEERING

IZVLEČEK

V prispevku so opisane možnosti uporabe tehnologije geografskih informacijskih sistemov pri kreiranju kompleksnega prostorskega informacijskega sistema v prometnem inženirstvu. GIS nam omogoča neredundanen vnos in hranjenje podatkov ter povezavo med različnimi programskimi paketi. Baza podatkov GIS vsebuje informacije o cestni mreži, mreži javnega prometa, prometnih obremenitvah in strukturi, prometnih nezgodah itd. Vezni člen med različnimi aplikacijami je topologija in geometrija mreže. Preko sistema vmesnikov oziroma pretvornih programov je mogoč prenos podatkov in rezultatov obdelav med različnimi programskimi paketi, ki jih uporabljamo za prometno planiranje, optimizacijo signalnih naprav, analizo hrupa in onesnaženja zraka, analizo prometnih nezgod, projektiranje cest, upravljanje z infrastrukturo itd.

ABSTRACT

In this paper I describe potentials of GIS in traffic engineering. With GIS we can store the highway network data, public transport network and traffic data in common database and share them among different application programs. Through the system of data conversion programs we can distribute the data to special traffic engineering software and store the results of simulations back to the database. Traffic models from several fields of traffic engineering (transportation planning, traffic control, air and noise pollution analysis, traffic safety analysis, facility maintenance and design) can exchange the data with each other.

1.0 UVOD

Gospodarjenje s prostorom je danes mogoče samo na osnovi dovolj ažurnih in zanesljivih podatkov. Te podatke pa nam lahko učinkovito priskrbi samo sodoben računalniško podprt informacijski sistem zasnovan na sodobni tehnologiji GIS (Geografski Informacijski Sistemi). Geografski informacijski sistemi so računalniško podprti sistemi za zajemanje, ažuriranje, shranjevanje, iskanje, analiziranje, prikazovanje in distribucijo prostorskih podatkov. V zadnjih letih se njihova uporaba vse bolj širi na vsa področja od geodezije, katastrov, uprave, statistike, ekologije, planiranja itd.

Na področju prometnega inženirstva je primerov uporabe geografskih informacijskih sistemov manj. Objavljeni so posamezni primeri njihove uporabe, predvsem na področju upravljanja z infrastrukturo, ni pa nekega celovitega pristopa.

Na našem inštitutu smo na osnovi dolgoletnih izkušenj pridobljenih s pedagoškim, raziskovalnim in strokovnim delom ugotovili, da bi uporaba te nove tehnologije lahko prinesla velike prihranke, ponuja pa nam tudi možnosti analiz, ki drugače ne bi bile izvedljive. Seveda nismo bili prvi, ki smo ugotovili, da izgubljamo ogromno časa pri pripravi podatkov za različne specializirane programske pakete, ki jih uporabljamo pri svojih študijah. V svetu so poskušali poenostaviti ta proces priprave podatkov s posebnimi programi imenovanimi Data Input Managers (DIM). S tem je bil problem le deloma rešen, kajti veliko nepotrebnega dela je pri pripravi istih ali podobnih podatkov za različne programske pakete. Npr. pri optimizaciji delovanja svetlobno signalnih naprav zaporedoma uporabljamo več programskih paketov - SOAP84, TRANSYT7F, PASSERII, NETSIM. Za vse programe je potrebno vnesti topologijo in geometrijo cestne mreže in podatke o prometnih obremenitvah. Z DIM programi je bilo to delo sicer olajšano, vendar je bilo še vedno potrebno vnašati iste podatke večkrat. Zato so v ZDA razvili poseben programski paket AAP (Arterial Analysis Package), ki omogoča uporabo podatkov, ki jih vnesemo samo enkrat v več programih (SOAP84, PASSERII, TRANSYT7F). S tem je bil že storjen korak naprej, vendar program še vedno ni splošno uporaben. Za vrednotenje variant krmiljenja signalnih naprav s programom NETSIM, za napovedovanje prometa, hrupa in onesnaženja zraka na isti cestni mreži moramo iste podatke vnašati ponovno.

Univerzalnost geografskih informacijskih sistemov pa nam je dala idejo, da jih uporabimo kot jedro kompleksnega sistema programov za prometno inženirstvo. GIS nam omogoča neredundanten vnos in hranjenje podatkov in povezavo med različnimi programskimi paketi. Baza podatkov GIS vsebuje informacije o cestni mreži, mreži javnega prometa, prometnih obremenitvah in strukturi, prometnih nezgodah itd. Vezni člen med različnimi aplikacijami je topologija in geometrija mreže. Preko sistema vmesnikov oziroma pretvornih programov je mogoč prenos podatkov in rezultatov obdelav med različnimi programskimi paketi, ki jih uporabljamo za prometno planiranje, optimizacijo signalnih naprav, analizo hrupa in onesnaženja zraka, analizo prometnih nezgod, projektiranje cest, upravljanje z infrastrukturo itd.

2.0 KONCEPTUALNA ZASNOVA SISTEMA

Jedro sistema predstavlja geografski informacijski sistem. V podatkovni bazi GIS so podatki o cestni mreži in mreži javnega prometa ter prometnih obremenitvah in strukturi, prometnih nezgodah itd. Preko sistema vmesnikov oziroma pretvornih programov je omogočen prenos teh podatkov med raznimi specialnimi programi, ki se uporabljajo v naslednjih področjih prometnega inženirstva:

- prometno planiranje
- vodenje prometa
- prometna ekologija
- prometna varnost
- vzdrževanje prometne infrastrukture
- projektiranje cest

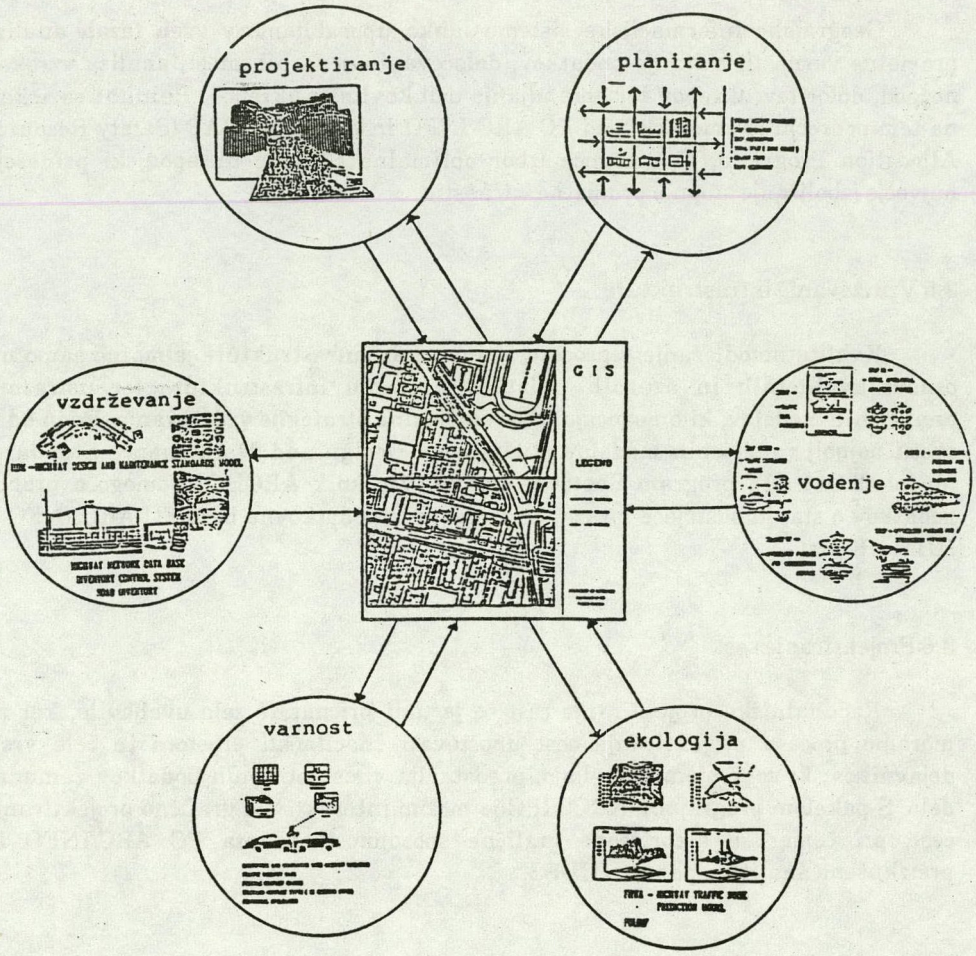
3.0 APLIKACIJE

3.1 Prometno planiranje

V postopku prometnega planiranja potrebujemo podatke o obstoječi cestni mreži in mreži javnega prometa ter o sedanji in bodoči izrabi površin. V svetu obstaja vrsta programov za napovedovanje prometnih obremenitev (npr. UTPS, TRANPLAN, MICROTRIPS, MINUTP...). Pri svojem delu uporabljamo paket QRS II, ki ga je napisal A.J.Horowitz iz University of Milwaukee, USA. Na našem inštutu smo izdelali prototip vmesnika med PC ARC/INFO in QRS II, ki prebere potrebne podatke iz podatkovne baze GIS in jih pretvori v format, ki ga razume QRS II, po drugi strani pa omogoča prenos rezultatov simulacije (napovedane prometne obremenitve po odsekih, volumni zavijalcev itd) v podatkovno bazo GIS. S tem postanejo ti podatki na voljo ostalim uporabnikom, lahko pa tudi izkoristimo kartografske sposobnosti paketa ARC/INFO za njihov kvaliteten prikaz.

3.2 Vodenje prometa

V svetu obstaja vrsta programskih paketov za optimizacijo parametrov krmiljenja svetlobno signalnih naprav: SOAP84 za samostojno križišče, PASSERII za maksimizacijo širine zelenega pasu na arterijah ter TRANSYT7F za minimizacijo zamud na mreži itd. Omenjeni trije programi so povezani v paket AAP (Arterial Analysis Package). V procesu optimizacije potrebujemo podatke o geometriji in topologiji cestne mreže ter podatke o gostoti in strukturi prometa, ki jih lahko s posebnim vmesnikom, ki smo ga izdelali na PTI, preberemo iz podatkovne baze GIS in zapišemo v format, ki ga razume program AAP.



Slika 2-1: Konceptualna zasnova sistema

3.3 Prometna ekologija

Za izvedbo analize ekoloških vplivov prometa ponovno potrebujemo podatke o cestni mreži in prometu na njej. Obstaja vrsta programov, ki omogočajo izvedbo analize obremenjenosti okolja s prometnim hrupom in onesnaženja zraka z izpušnimi plini. Na PTI FAGG uporabljamo program POLDIF, zato smo izdelali prototip vmesnika, ki omogoča prenos podatkov iz paketa PC ARC/INFO v POLDIF.

3.4 Prometna varnost

Geografske informacijske sisteme lahko uporabljamo v vseh fazah analize prometne varnosti: zbiranje podatkov, določevanje nevarnih mest, analiza vzrokov nezgod, določitev ukrepov ter spremljanje učinkovitosti ukrepov. Rezultat raziskav na tem področju je vmesnik med PC ARC/INFO in paketom SRAP (Safety Resource Allocation Program), ki omogoča izbor optimalne skupine ukrepov, ki prinesejo največje izboljšanje stopnje prometne varnosti.

3.5 Vzdrževanje infrastrukture

Kvalitetno odločanje v procesu vzdrževanja infrastrukture je možno samo na osnovi kvalitetnih in ažurnih podatkov o stanju infrastrukture ter ustreznih analitičnih modelov, ki omogočajo izbor optimalne strategije vzdrževanja. Eden od v svetu najbolj razširjenih modelov je Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM III), program Svetovne banke. Vmesnik ARCHDM omogoča prenos podatkov o stanju obstoječe mreže ter prometu iz podatkovne baze PC ARC/INFO v HDM III.

3.6 Projektiranje cest

Računalniško projektiranje cest se je tudi pri nas že zelo uveljavilo, ker pa moramo procesu projektiranja cest upoštevati značilnosti prostora in cele vrste dejavnikov, ki se v njem pojavljajo, predstavlja vnos potrebnih podatkov zamudno delo. S paketom programov ARC2RPC je možno interaktivno grafično projektiranje cest, pri čemer so izkoriščene grafične sposobnosti paketa PC ARC/INFO in preizkušena analitika paketa HIDES.

4. ZAKLJUČEK

Rezultati raziskav kažejo, da je izbrana pot pravilna. Uporaba prostorskih informacijskih sistemov zasnovanih na tehnologiji GIS nam prinaša velike prihranke na vseh področjih prometnega inženirstva. To so prihranki zaradi zmanjšanja fizičnega dela pri vnosu podatkov, bistvene pa so koristi zaradi povečane zanesljivosti in učinkovitosti dela ter ostale nepredvidljive in nedoločljive koristi.

LITERATURA

Kastelic, T., Žura, M., USE OF GEOGRAFIC INFORMATION SYSTEMS IN TRAFFIC ENGINEERING, V. eouropean ESRI user conference, Freising ZRN, september 1990

Kastelic, T., Žura M., Fajfar, D., ARCAAP - INTERFACE BETWEEN PC ARC/INFO AND ARTERIAL ANALYSIS PACKAGE, V. eouropean ESRI user conference, Freising ZRN, september 1990

Žura, M. et.al, ARCQRS - INTERFACE BETWEEN PC ARC/INFO AND QRS II, ESRI User Conference, Palm Springs, 1990

Žura, M., ARCQRS - VMESNIK MED QRS II IN ARC/INFO, XII. jugoslovanski simpozij elektronike v prometu, Ljubljana, oktober 1990

dr.Marijan Žura
FAGG PTI
Jamova 2, Ljubljana

POVEZAVA GIS Z MODELI ZA OPTIMIZACIJO VZDRŽEVANJA IN PROJEKTIRANJA CEST

INTERFACING GIS WITH HIGHWAY DESIGN AND MAINTENANCE STANDARDS MODEL (HDM-III)

IZVLEČEK

Kvalitetno odločanje v procesu vzdrževanja infrastrukture je možno samo na osnovi kvalitetnih in ažurnih podatkov o stanju infrastrukture ter ustreznih analitičnih modelov, ki omogočajo izbor optimalne strategije vzdrževanja. Eden od v svetu najbolj razširjenih modelov je Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM III), program Svetovne banke. V prispevku so opisane osnove modela HDM-III, podatkovni model ter prototip vmesnika, ki omogoča prenos podatkov o stanju obstoječe mreže ter prometu iz podatkovne baze PC ARC/INFO v HDM III.

ABSTRACT

HDM III is World Bank software, which is designed to make comparative cost estimates and economic evaluations of different construction and maintenance options. If the HDM is used in conjunction with the Expenditure Budgeting Model, the set of design and maintenance options that would minimize total discounted transport costs or maximize net present value of an entire highway system under year-to-year budget constraints can be determined.

In paper I present an approach to connect PC ARC/INFO based road network database and HDM III. Network geometry and topology, existing link characteristics, existing and forecasted traffic data and local conditions are extracted from database and written to HDM III input files. HDM III data model, data flow and conversion algorithm are described.

1.0 UVOD

Učinkovita cestna transportna mreža je pomemben faktor ekonomskega in socialnega razvoja. Izgradnja in vzdrževanje cest zahtevata velik delež državnega proračuna, še večji pa so operativni stroški, zato je optimizacija prometnega sistema za neko državo vitalnega pomena. Za rešitev tega kompleksnega problema sta bila izdelana programa HDM III in EBM. Program Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM III) je leta 1987 razvila Svetovna Banka, da bi skupnostim za ceste razvijajočih se držav omogočila vrednotenje različnih politik, standardov in planov gradnje in vzdrževanja cest. Model simulira celoten življenjski cikel neke prometnice in nam omogoča odločanje na osnovi ekonomskih kriterijev. Osnovni stroški, ki se upoštevajo pri analizi so stroški izgradnje in vzdrževanja cest, operativni

stroški vozil in vrednost potovalnega časa. Stroške zamud, povzročenih z izgradnjo ceste, zastoji, nezgode in onesnaženje okolja lahko vnesemo v model kot t.i. zunanje stroške in jih moramo izračunati posebej. HDM III lahko uporabljamo skupaj s programom Expenditure Budgeting Model (EBM), ki nam omogoča poiskati način financiranja, ki v okviru danih možnosti prinese največje koristi.

2.0 HDM-III

2.1 Funkcije modela HDM-III

Model lahko uporabljamo za reševanje problemov kot so:

- Kakšna je ekonomska prednost dodatnega investiranja v vzdrževanje v primerjavi z investiranjem v izgradnjo nove ceste?
- Ali je bolj ekonomično že takoj v začetku zgraditi močnejše in s tem dražje vozišče ali pa vozišče postopoma nadgrajevati?
- Koliko sredstev naj porabimo za vzdrževanje posameznih tipov vozišč?
- Kakšne so posledice zmanjševanja obsega vzdrževanja cest v letih finančne krize?
- S kakšno politiko vzdrževanja lahko dosežemo najmanjše stroške in še vedno obdržimo zahtevan nivo stanja cest?

S programom lahko ocenimo:

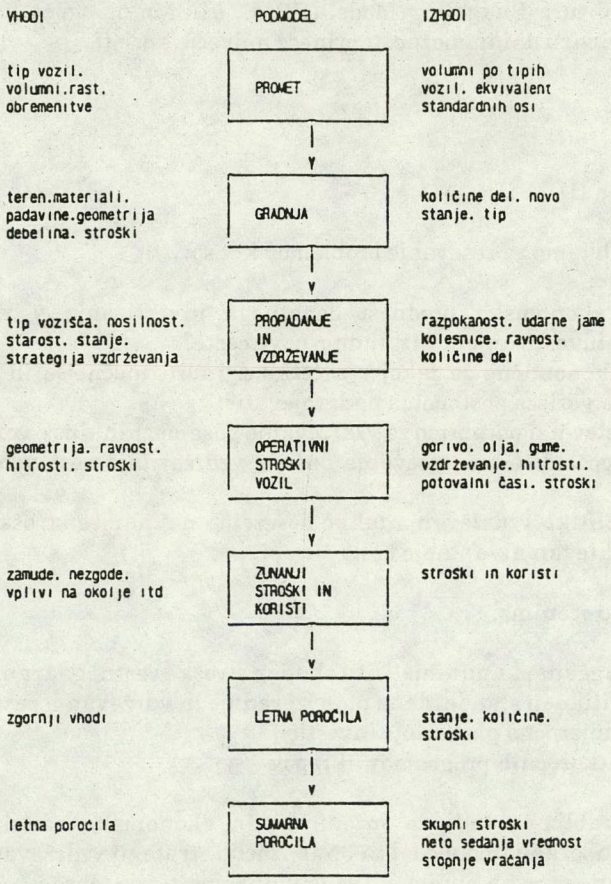
- velikost proračuna, ki minimalizira skupne stroške cestnega transporta.
- ustrezno politiko in standarde za plan izgradnje in vdrževanja cest
- dolgo in srednjeročno planiranje investicij
- izdelavo kratkoročnih programov ukrepov

Model lahko uporabljamo tudi za inženirske in ekonomske raziskave. Npr. v inženirstvu lahko uporabljamo model za optimizacijo strategij vzdrževanja, določimo ekonomski optimum za osne obremenitve, simuliramo tip in obseg poškodb vozišča kot funkcijo kumulativnih prometnih obremenitev oz. časa. V ekonomiji lahko uporabljamo model v raziskavah v zvezi s cestninami, cenami in davki na pogonsko gorivo, alokacijo cestnih stroškov, določanje cene cestnega transporta itd.

2.2 Struktura modela

Osnovni koncept HDM III modela je dokaj enostaven. Najprej seštejemo tri vrste stroškov: stroške gradnje, vzdrževanja in operativne stroške. Seštevamo njihove diskontirane neto sedanje vrednosti v nekem časovnem obdobju. Določimo jih z napovedovanjem fizikalnih količin porabe resursov in nato z množenjem teh količin z njihovimi cenami na enoto. Nato ugotovimo ekonomske koristi. Le te določimo s primerjanjem tokov stroškov za alternativne načine vzrževanja in gradnje z osnovno varianto, ki ponavadi predstavlja minimalno rutinsko vzdrževanje.

HDM III izvede primerjalne ocene stroškov in ekonomsko vrednotenje različnih opcij gradnje in vzdrževanja, vključujoč različno faznost izgradnje. HDM III lahko uporabljamo za vrednotenje variant bodisi na določenem odseku ali pa na celotni mreži.



Slika 8-2: Struktura modela HDM III

Model oceni skupne stroške za večje število alternativ. Oceno izdela za vsako leto posebej. Najdaljše obdobje analize je trideset let. Bodoče stroške lahko diskontira po različnih diskontnih stopnjah, tako, da lahko uporabnik poišče alternativo z najnižjimi diskontiranimi skupnimi stroški. Uporabnik lahko poišče stopnje vračanja, neto sedanje vrednosti ali pa prvo leto dobička. V primeru, da uporabljamo HDM III skupaj s programom EBM lahko model poišče množico ukrepov, ki bi minimalizirali skupne diskontirane transportne stroške ali maksimalizirali neto sedanjo vrednost celotne cestne mreže v okviru razpoložljivih proračunskih sredstev. Poleg primerjanja alternativ model lahko analizira občutljivost rezultatov na spremembe v predpostavkah o osnovnih parametrih kot so stroški na enoto, struktura

prometa, stopnje rasti prometa, diskontne stopnje, vrednost potovalnega časa in stroške nezgod.

Za izdelavo analize potrebujemo naslednje podatke:

- Opis obstoječe mreže: agregirane dolžine cestnih odsekov ali pododsekov, grupiranih po tipu zgornjega ustroja in vozne površine, trenutnem stanju, geometriji, terenu, količinah dežja in gostoti in strukturi prometa.

- Opcije izgradnje: geometrija in značilnosti vozne površine po izgradnji, stroški projekta ali fizične količine na kilometer s stroški na enoto, ter povezani tokovi stroškov

- Standardi vzdrževanja in stroški na enoto

- Značilnosti vozil in operativni stroški različnih vozil: osni pritiski, moč, poraba goriva, cena goriva, gum, vdrževanje, nabava novih vozil itd.

- Prometne obremenitve in prognozirana rast

- Zunanji stroški in koristi: razlika v potovalnem času, stroški prometnih nezgod, stroški onesnaženja zraka itd.

- Dolžina obravnavanega obdobja in diskontne stopnje

3.0 ARCHDM

Vnos podatkov potrebnih za analizo s paketom HDM-III predstavlja zamudno opravilo. Podatki o cestah in prometu na njih pa se pogosto že vodijo v nekih digitalnih bazah, zato se je logično pojavila potreba po povezavi teh podatkovnih baz s paketom HDM-III. V našem prostoru se te baze nastavljajo s paketom PC ARC/INFO, zato smo tudi šli v izdelavo povezave teh dveh paketov.

Povezava med paketoma PC ARC/INFO in HDM III je izvedena preko programa ARC2HDM.

ARC2HDM pretvori podatke o obstoječih karakteristikah cest in podatke o prometu, ki so shranjeni v podatkovni bazi PC ARC/INFO v format, ki ga lahko bere program HDM III.

Vhodni podatki programa ARCHDM so:

- plast z obstoječimi karakteristikami cest
- plast s podatki o prometu

Izhod programa pa je vhodna datoteka programa HDM III v ASCII formatu.

4.0 ZAKLJUČEK

Gospodarjenje s prostorom je danes mogoče samo na osnovi dovolj ažurnih in zanesljivih podatkov. Te podatke pa nam lahko učinkovito priskrbi samo sodoben računalniško podprt informacijski sistem zasnovan na sodobni tehnologiji GIS (Geografski Informacijski Sistemi) v povezavi z ustreznimi analitičnimi modeli, ki omogočajo izbor optimalne strategije vzdrževanja. Eden od v svetu najbolj razširjenih modelov je Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM III), program Svetovne banke. V prisevku sem poskušal prikazati rezultate raziskav pri povezovanju dveh paketov, ki se uporabljata pri gospodarjenju s cestami. Rezultati raziskav kažejo, da nam povezovanje več paketov prinaša sinergetske učinke.

LITERATURA

Kastelic, T., Žura, M., USE OF GEOGRAFIC INFORMATION SYSTEMS IN TRAFFIC ENGINEERING, V. eouropean ESRI user conference, Freising ZRN, september 1990

Kastelic, T., Žura M., Fajfar, D., EXPERT SYSTEM FOR ROAD EVALUATION AND MAINTENANCE - RESCEM, V. eouropean ESRI user conference, Freising ZRN, september 1990

Kastelic, T., Žura, M. et.al, EKSPERTNI SISTEM ZA VREDNOTENJE IN VZDRžEVANJE CEST, RSS 1990

Žura, M., PROSTORSKI PROMETNI INFORMACIJSKI SISTEM, Gradbeni vestnik 7-8-9, Ljubljana, september 1988

Žura, M., EKSPERTNI SISTEM ZA VREDNOTENJE IN VZDRžEVANJE CEST, Posvetovanje Nastavitev, vzdrževanje in uporaba baz podatkov v prostoru in komunalnem gospodarstvu Slovenije, Ljubljana, april 1990

Žura, M., RESCEM - EKSPERTNI SISTEM ZA VREDNOTENJE IN VZDRžEVANJE CEST, XII. jugoslovanski simpozij elektronike v prometu, Ljubljana, oktober 1990

Žura, M., EKSPERTNI SISTEM ZA VREDNOTENJE IN VZDRžEVANJE CEST, Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana, april 1990

Žura, M., ARCHDM - INTERFACE BETWEEN PC ARC/INFO AND HDM-III, ESRI User Conference, Palm Springs, 1991

Dušan Fajfar, Tomaž Kastelic, Marjan Žura
Univerza v Ljubljani,
FAGG, Prometno-tehnični inštitut
Jamova 2, 61000 Ljubljana
Tel: (061) 268-867
Fax: (061) 272-692

NEKATERE TEHNIČNE REŠITVE S PODROČJA UPORABE GIS ZA MODELIRANJE CESTNE MREŽE

Učinkovito upravljanje cestne mreže zahteva veliko različnih podatkov iz prostora. Za zbiranje in obvladovanje teh podatkov je bilo razvitih že veliko informacijskih sistemov. Zaradi pomankljive tehnologije, so se večinoma zbirali le atributivni podatki. Njihova grafična predstavitev je zahteva veliko dodatnega dela. Z razvojem geografskih informacijskih sistemov (GIS) smo dobili učinkovito analitično in prezentacijsko orodje, ki rešuje večino teh problemov. Vendar z uporabo nove tehnologije nastajajo tudi novi problemi. V članku sta predstavljeni rešitvi dveh problemov vezanih za podatke v omrežju.

Najprej naletimo na problem obstoječih podatkov. Običajno se podatki o omrežju vodijo na osnovi stacionaže preko šifre odseka ter začetnega in končnega odmika od začetka odseka. V GIS pa za shranjevanje in analiziranje teh podatkov potrebujemo absolutno lokacijo (koordinate).

Na drugi problem pa naletimo, ko želimo uporabiti podatke iz različnih plasti omrežja. Združevanje plasti točk, linij in poligonov s plastjo poligonov je možno z večino GIS orodij, medtem ko združevanja dveh linijskih plasti oziroma plasti točk in linij ne omogočajo. Zato smo izdelali dva programa, ki omogočata združevanje teh plasti.

ROAD NETWORK MODELING - SOME TECHNICAL SOLUTIONS

An effective maintenance of road network requests a lot of different data from our space. With this purpose many computer based information systems were developed. Unfortunately, because of the lack of technology, mostly attributive data were collected and connection with graphical data required a lot of additional work. With quick uprising of GIS technology we got an effective analytical and presentation tool which solves a big deal of problems. Normally with use of new technology new problems came and in the paper we present the solutions to two problems, which are very often met when data are connected to networks.

The first problem is using of existing data. Usually data in network are linked to space instead of absolute coordinates with relative positioning (arc identifier, start milepost and end milepost). If we have basic network off all arcs with their identification and real length, we can find absolute location of existing data.

The second problem comes when we want to use data from different layers of network. Overlays of points, arcs or polygons with polygons are implemented in most GIS, but in systems where data are linked to arcs we can not use them. We developed two procedures which enables overlay of two arc layers or point and arc layer.

1. UVOD

Učinkovito upravljanje cestne mreže je nemogoče brez velike količine prostorskih podatkov in računalniško podprtega informacijskega sistema, ki pomaga organizirati, analizirati in predstaviti te podatke. Danes nam le ustrezna GIS tehnologija zagotovi, da bo tak sistem še obvladljiv. Implementacijo Banke cestnih podatkov (BCP) smo pričeli s pilotskim projektom, kjer smo uporabili PC ARC/INFO kot GIS orodje. Cestna mreža je predstavljena z mrežo osi cest. Ker vsi atributivni podatki ne morejo biti v eni tabeli, imamo več plasti cestnega omrežja z ustreznimi atributi.

Večina danes dostopnih GIS paketov je splošnonamenskih, poskušajo pokriti vse aktivnosti v prostoru. Zato določene zahteve uporabnikov vedno ostanejo nepokrite. Kljub veliki procesni moči paketa PC ARC/INFO, smo kmalu naleteli na dva problema, ki ju nismo mogli rešiti samo z PC ARC/INFO ukazi. Prvi problem se nanaša na odnos med relativnim pozicioniranjem (stacionaže) in absolutnim pozicioniranjem (koordinate). Drugi problem pa predstavlja kombiniranje podatkov iz različnih plasti omrežja. Kot rešitev teh problemov smo razvili skupino programov, ki smo jih priključili paketu PC ARC/INFO. Problemi in njihove rešitve so natančno opisane v naslednjih dveh razdelkih.

2. POVEZAVA RELATIVNE IN ABSOLUTNE LOKACIJE V OMREŽJU

2.1 POSTAVITEV PROBLEMA

Podatki v omrežju so lahko vezani za linijske elemente (kvaliteta ceste, širina vozišča, itd.) oziroma za točkovne elemente (mesto prometne nezgode, lokacija prometnih znakov, itd.). Običajno so podatki iz omrežja vezani na prostor relativno preko šifre odseka in odmika od začetka odseka, veljavnost za linijske elemente pa opredeljuje dolžina. Če želimo te podatke shraniti v GIS bazi in jih analizirati v povezavi z ostalimi prostorskimi podatki, jim moramo določiti absolutno lokacijo v prostoru. Ker PC ARC/INFO ne rešuje tega problema, smo izdelali program MILEXY, ki iz podatkov o relativni lokaciji in iz podatkov o poteku omrežja naredi novo linijsko oziroma točkovno plast.

Po vnosu podatkov v prostorsko bazo jih uporabljamo v različnih analizah. Pri tem se njihova relativna pozicija spreminja (delitev in združevanje linijskih elementov) in vzdrževanje podatkov o relativni lokaciji postane izredno zahtevno. Mnogo lažje je iz koordinat ponovno izračunati relativno pozicijo, ko le to potrebujemo za posamezno podatkovno plast. V ta namen smo izdelali program XYMILE, ki izbrani plasti določi relativno lokacijo v omrežju.

2.2 PRETVORBA IZ RELATIVNE V ABSOLUTNO LOKACIJO

2.2.1 Vhodni podatki

Za izvedbo postopka potrebujemo alfanumerične podatke o novi plasti in podatke o celotnem omrežju cest, kot osnovo za delo. Podatki o novi plasti morajo vsebovati šifro odseka, odmik od začetka (za plast točk) in konec veljavnosti (za plast linij), dodani pa so poljubni opisni podatki tega prostorskega elementa. Zapisani morajo biti v DBASE obliki, ki jo razpoznava ARC/INFO. Podatke o cestnem omrežju predstavlja že realizirana linijska plast v sistemu ARC/INFO. Združuje grafični potek omrežja in atributivne podatke. Vsaka linija ima enolično identifikacijsko številko, preko katere je izvedena povezava z atributivnimi podatki. V atributivnih podatkih poleg topoloških podatkov (identifikacijska številka, začetno in končno vozlišče linije, dolžina linije) za vsako linijo vodimo še podatke o šifri odseka in pravi dolžini cestnega pododseka, ki ga linija predstavlja (pri predstavitvi realnega sveta v računalnik vedno pride do določene napake). Prava dolžina odsekov se v procesu generiranja novih plasti uporablja za korekturo pozicioniranja.

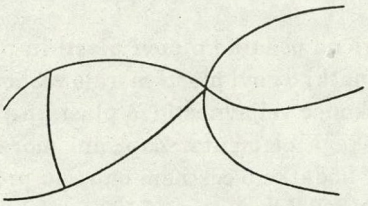
2.2.2. Rešitev problema

Prvi korak je priprava grafičnih in atributibnih podatkov osnovnega omrežja. Ustvarimo datoteko vseh lomnih točk omrežja in jo uredimo po identifikacijskih številkah linij, ter od začetnega proti končnemu vozlišču znotraj linije. Atributivne podatke ravno tako uredimo po šifri odseka in po zaporedju pododsekov znotraj posameznega odseka. Za to sortiranje potrebujemo izgrajeno topologijo nad osnovnim omrežjem, dadatna zahteva pa je tudi, da mora biti vsak odsek enolično povezan.

Drugi korak je ugotavljanje nepravilnosti v vhodnih podatkih. Testiramo, če je odsek v omrežju, če je začetni odmik manjši od odmika konca in če je odmik konca manjši od dolžine odseka. V kolikor so v podatkih napake, se te izpišejo na datoteko in končamo program, da lahko preverimo vhodne podatke.

Tretji glavni korak je procesiranje vhodnih podatkov. Za vsak vhodni zapis moramo poiskati začetno in končno vozlišče ter vse lomne točke segmenta. Najprej poiščemo linijo na kateri leži začetno vozlišče (iščemo dokler ni dolžina večja od stacionaže začetka). Ko najdemo ustrezno linijo, moramo izračunavati dolžine med zaporednimi lomnimi točkami, dokler ne najdemo dveh, med katerima leži začetno vozlišče. Sedaj lahko izračunamo koordinate začetnega vozlišča in pripravimo atributivne podatke o novem segmentu (identifikacijska številka novega segmenta, šifra odseka, stacionaža začetka in konca). Podobno, kot smo poiskali začetno točko, poiščemo še končno točko in pri tem zapisujemo vse lomne točke omrežja na katere naletimo. Pri iskanju

končne točke pa moramo paziti tudi na zamenjavo pododseka. Če pri branju koordinat naletimo na zamenjavo pododseka, tudi iz vhodnega podatka naredimo več pododsekov. Pri vseh izračunavanjih dolžin moramo upoštevati razmerje med pravo dolžino odseka in njegovo dolžino v digitalni bazi.



osnovno omrežje

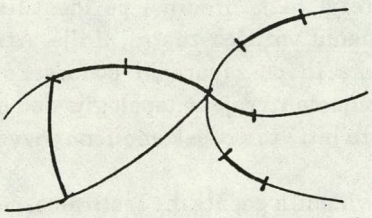
ITEM NAME	WIDTH	TYPE	N.DEC
FNODE_	11	N	0
TNODE_	11	N	0
LPOLY_	11	N	0
RPOLY_	11	N	0
LENGTH	13	N	6
OS_	11	N	0
OS_ID	11	N	0
ODSEK	4	C	0
RLENGTH	12	N	3

+

ITEM NAME	WIDTH	TYPE	N.DEC
ODSEK	4	C	0
STAC_ZAC	5	N	0
DOLZINA	5	N	0
MAT	2	C	0
STAC_KON	5	N	0

alfanumerični podatki o novi plasti

⇩



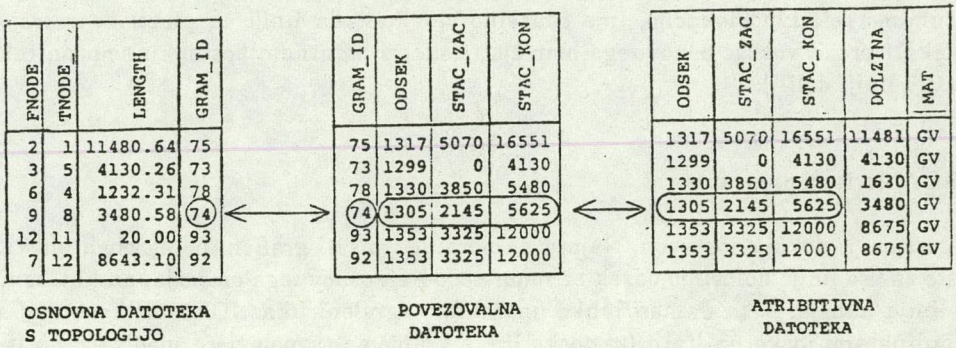
nova plast

ITEM NAME	WIDTH	TYPE	N.DEC
FNODE_	11	N	0
TNODE_	11	N	0
LPOLY_	11	N	0
RPOLY_	11	N	0
LENGTH	13	N	6
GRAM_	11	N	0
GRAM_ID	11	N	0
ODSEK	4	C	0
STAC_ZAC	5	N	0
STAC_KON	5	N	0
ZAC	5	N	0
KON	5	N	0
DOLZINA	5	N	0
MAT	2	C	0

Slika 1: Generiranje nove plasti iz podatkov o stacionažah segmentov

Preden lahko iz rezultatov procesiranja vhodnih podatkov generiramo novo plast moramo koordinate zapisati v isti obliki, kot smo jo dobili ob izpisu koordinat osnovne mreže. Sedaj lahko z ARC/INFO ukazom GENERATE ustvarimo novo plast in z ukazom BUILD zgradimo ustrezno topologijo nad elementi plasti in pripravimo atributivno datoteko z osnovnimi podatki. Atributivne podatke, ki so še vedno v vhodni datoteki, pridružimo s pomočjo datoteke, ki smo jo kreirali med procesiranjem

vhodnih podatkov. Preko šifre odseka, stacionaže začetka in stacionaže konca pa priključimo še izvorno datoteko z atributivnimi podatki.



FNODE	TNODE	LENGTH	GRAM_ID
2	1	11480.64	75
3	5	4130.26	73
6	4	1232.31	78
9	8	3480.58	74
12	11	20.00	93
7	12	8643.10	92

OSNOVNA DATOTEKA S TOPOLOGIJO

GRAM_ID	ODSEK	STAC_ZAC	STAC_KON
75	1317	5070	16551
73	1299	0	4130
78	1330	3850	5480
74	1305	2145	5625
93	1353	3325	12000
92	1353	3325	12000

POVEZOVALNA DATOTEKA

ODSEK	STAC_ZAC	STAC_KON	DOLZINA	MAT
1317	5070	16551	11481	GV
1299	0	4130	4130	GV
1330	3850	5480	1630	GV
1305	2145	5625	3480	GV
1353	3325	12000	8675	GV
1353	3325	12000	8675	GV

ATRIBUTIVNA DATOTEKA

Slika 2: Shema priključitve atributivnih podatkov k topološkim podatkom

Postopek smo opisali le za primer, ko vhodni podatki predstavljajo linije. Za točkovne podatke je postopek enak, le da ga lahko prekinemo, ko dobimo začetno vozlišče.

Ko generiramo več plasti nad istim omrežjem, lahko prihranimo veliko časa, ker nam ni potrebno vedno znova urejati podatkov osnovnega omrežja.

2.2.3 Izvedba programa

Program je napisan za verzijo PC ARC/INFO z DBASE podatkovno bazo, vendar bi bile potrebne le malenkostne spremembe za ostale verzije programa. Ogrodje programa je napisano v enostavnem programskem jeziku SML, ki ga vsebuje že PC ARC/INFO. Jedro programa (priprava vhodnih podatkov, iskanje lokacije) je napisano v programskem jeziku CLIPPER, namenjenemu delu z bazami podatkov. Raba programa je podobna rabi ostalih PC ARC/INFO ukazov:

```
MILEXY  [osnovno_omrezje] [alfanumericni_podatkie]
        [izhodna_datoteka] [LINE/POINT]
        [uporaba_obstojecih_podatkov-Y/N] [brisi_za_sabo-Y/N]
```

2.3 PRETVORBA IZ ABSOLUTNE V RELATIVNO LOKACIJO

Ta obratni proces doda oziroma popravi relativno pozicijo v atributivnih podatkih izbrane linijske ali točkovne plasti. Mnogo korakov je podobnih, kot pri obratni transformaciji. Spet bomo postopek opisali le za linijsko plast.

2.3.1 Vhodni podatki

Osnovno omrežje predstavlja ista plast, kot pri obratnem postopku. Plast, za katero računamo relativno lokacijo, ima smiselno omejitev, da linije te plasti ne morejo potekati preko vozlišč osnovnega omrežja (tudi pri obratnem postopku smo na teh mestih linije delili).

2.3.2 Algoritem programa

Algoritem je dokaj enostaven. Najprej si moramo izpisati grafični potek obeh plasti. Nato za vse linije določimo odsek oziroma pododsek osnovnega omrežja, na katerem se linija nahaja. V ta namen lahko uporabimo vgrajeni ukaz IDENTIFY skupaj s koordinatami točke na liniji (za točko linije vzamemo razpolovišče med začetno in prvo lomno točko). Ukaz nam vrne atributivne podatke o odseku osnovnega omrežja, torej tudi identifikacijsko številko in šifro odseka. V naslednjem koraku moramo za vsako linijo preko koordinatnega zapisa obeh plasti poiskati odmik začetka in odmik konca. V osnovnem omrežju moramo poiskati dve točki, med katerima leži začetna točka in istočasno izračunavati skupno dolžino. Pri tem moramo upoštevati pravo dolžino pododseka, paziti pa moramo tudi na primere, ko je odsek sestavljen iz več pododsekov. Vsi izračunani rezultati se zapisujejo v atributivno tabelo, kar je tudi končni rezultat procesa.

2.3.3 Izvedba programa

Podobno, kot pri obratni transformaciji, je ogrodje programa napisano v programskem jeziku SML, jedro pa v CLIPPER-ju. Oblika ukaza je:

```
XYMILE  [osnovno_omrezje] [vhodna_plast] [LINE/POINT]
        [uporaba_obstojecih_podatkov-Y/N] [brisi_za_sabo-Y/N]
```

3. ZDRUŽEVANJE RAZLIČNIH PLASTI OMREŽJA

Zaradi racionalne rabe računalniških kapacitet in v izogib anomalijam pri ažuriranju podatkovne baze so posamezne tematike ločene po plasteh. Toda zelo pogosto pri analizah potrebujemo podatke iz več plasti (seznam parcel prizadetih z rekonstrukcijo ceste, stanje vozišča glede na strukturo tal, itd.).

Videli smo, da ARC/INFO omogoča združevanje plasti točk, linij ali poligonov s plastjo poligonov. Večina podatkov v BCP pa je vezanih za osi cest oziroma za točke na oseh. Zruževanja dveh plasti z linijskimi elementi oziroma plasti točk in linij ARC/INFO ne omogoča. Zato smo izdelali programa ARCOVL in POINTARC, ki izvršita želeno združevanje.

3.1 PREKRIVANJE DVEH PLASTI Z LINIJSKIMI ELEMENTI

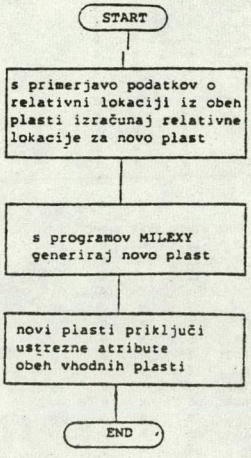
Pri prekrivanju dveh linijskih plasti nad istim omrežjem želimo ustvariti novo plast linij, ki bo združevala ustrezne atributivne podatke obeh vhodnih plasti (npr. da želimo ugotoviti odvisnost med voznimi hitrostmi in stanjem vozišča).

Za izvedbo zastavljene naloge se nam ponujata dve možnosti. Prva, bolj očitna je, da si izpišemo koordinate obeh vhodnih plasti, poiščemo preseke linij in združimo atribute. Izdelali smo testno verzijo programa. Vendar je iskanje preseka linij samo preko koordinat, brez dodatnih informacij, zelo zamudno. Splošnost uporabe programa smo drago plačali s časovno zahtevnostjo programa (O(k*l), kjer k in l predstavljata število lomnih točk v posameznih plasteh).

Druga pot poteka preko podatkov o relativni lokaciji elementov v posameznih plasteh. Iz relativnih lokacij lahko dokaj enostavno z zlivanjem podatkov obeh plasti izračunamo preseke linij oziroma relativne lokacije za novo plast. Ob tem moramo seveda stalno voditi evidenco iz katerih linij vhodnih plasti je nastala nova linija. Na osnovi teh podatkov s pomočjo programa MILEXY kreiramo še grafični del. Preostane nam le pridružitev atributivnih podatkov obeh plasti, ki jo izvedemo preko identifikacijskih številk linij iz obeh vhodnih plasti.

Ogrodje programa ARCOVL je napisano v programskem jeziku SML, jedro programa (iskanje presekov relativnih lokacij) pa v CLIPPER-ju. Program pokličemo z ukazom

ARCOVL [prva_plast] [druga_plast] [nova_plast]



Slika 3: Diagram poteka programa ARCOVL

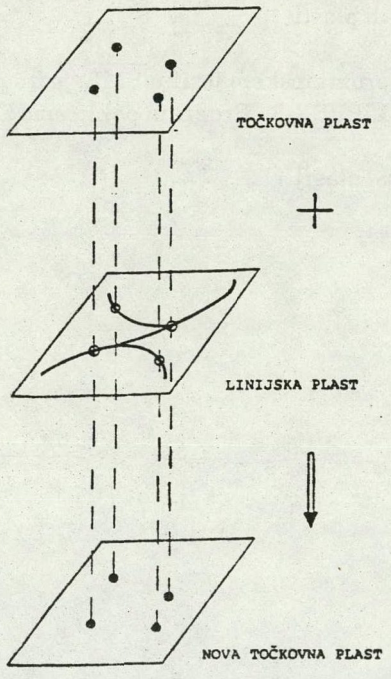
3.2 PREKRIVANJE PLASTI TOČKOVNIH IN LINIJSKIH ELEMENTOV

Pri prekrivanju točkovne plasti z linijsko želimo točkam priključiti atribute linij nad katerimi točke ležijo (npr. za vse prometne nezgode na cestnem omrežju želimo ugotoviti stanje vozišča na mestu nezgode).

Algoritem je dokaj enostaven. Najprej z ukazom UNGEN dobimo koordinate točk zapisane v tekstovni datoteki. Z ukazom IDENTIFY in koordinatami točke določimo linijo nad katero se točka nahaja. V zadnjem koraku pa preko identifikacijske številke linije, ki smo jo priredili vsaki točki, atributom točk pridružimo se atribute linij.

Postopek je s primerno uporabo v ARC/INFO vsebovanih ukazov dokaj enostavno izvedljiv in zahteva le malo lastnega programiranja. Zato je tudi celoten program lahko zapisan v programskem jeziku SML. Izvedemo ga z ukazom

POINTARC [tockovna_plast] [linijska_plast] [nova_plast]



ITEM NAME	WIDTH	TYPE	N.DEC
MOST_	11	N	0
MOST_ID	11	N	0
ODSEK	4	C	0
STAC	5	N	0
TIP	1	N	0
DOLZINA	5	N	0
NOSILNOST	3	N	0

ITEM NAME	WIDTH	TYPE	N.DEC
FNODE_	11	N	0
TNODE_	11	N	0
LPOLY_	11	N	0
RPOLY_	11	N	0
LENGTH	13	N	6
KAP_ID	11	N	0
ODSEK	4	C	0
STAC_ZAC	5	N	0
STAC_KON	5	N	0
PLDP	5	N	0
PTOV	5	N	0
KAPAC	6	N	3
OPH	3	N	0

ITEM NAME	WIDTH	TYPE	N.DEC
MOSTKAP_	11	N	0
MOSTKAP_ID	11	N	0
MOST_ID	11	N	0
ODSEK	4	C	0
STAC	5	N	0
TIP	1	N	0
DOLZINA	5	N	0
NOSILNOST	3	N	0
KAP_ID	11	N	0
STAC_ZAC	5	N	0
STAC_KON	5	N	0
PLDP	5	N	0
PTOV	5	N	0
KAPAC	6	N	3
OPH	3	N	0

Slika 4: Prekrivanje točkovne in linijske plasti

4. ZAKLJUČEK

Modeliranje cestnega omrežja zahteva nekatere specifične aplikacije, ki jih ni možno implementirati z standardnimi GIS postopki. Prvi problem, ki smo ga rešili, je pretvorba iz relativnega pozicioniranja v absolutne koordinate in obratno. Drugi problem je združevanje podatkov iz različnih plasti omrežja. Združevanje dveh linijski plasti smo rešili preko relativnega pozicioniranja, medtem ko smo združevanje plasti točk in linij uspeli izvesti samo z standardnimi PC ARC/INFO ukazi.

Vsi programi, ki smo jih izdelali, so priključeni paketu PC ARC/INFO in imajo podobno sintakso, kot standardni PC ARC/INFO ukazi.

Vsi opisani postopki so bili prvotno razviti za cestno mrežo, vendar ni omejitev za njihovo uporabo v ostalih omrežjih, kot na primer železnica, vodovod, plinovod, kanalizacija, itd.

LITERATURA

T. Kastelic, M. Žura,
Use of Geographical Information Systems in Traffic Engineering
Fifth Annual ESRI European User Conference, Freising, Germany, 1990

T. Kastelic, M. Žura, D. Fajfar
Expert System for Road Evaluation and Maintenance - RESCEM
Fifth Annual ESRI European User Conference, Freising, Germany, 1990

BCP - tehnična dokumentacija,
Republiška skupnost za ceste SR Slovenije, Ljubljana, 1980

ROGIS - Roadway GIS,
PTI FAGG, Ljubljana, 1990

D.Fajfar, T.Kastelic, M.Žura,
Road Network Modeling - Some Techical Solutions
Eleventh Annual ESRI User Conference, Palm Springs, USA, 1991

D.Fajfar, Vzpostavitev prostorskega informacijskega sistema za upravljanje s cestami, magistrsko delo, FE, Ljubljana, 1991

prof.dr. Mitja Brilly, FAGG
Andrej Vidmar, dipl.ing., FAGG
mag. Lidija Globevnik, dipl.ing., VGI
mag. Michael Smith, FAGG

UPORABA GIS PRI MODELIRANJU HIDROLOŠKIH POJAVOV IN NASTAVITVI INFORMACIJSKIH SISTEMOV V VODNEM GOSPODARSTVU

POVZETEK

Razvoj vodnega gospodarstva in družbeno planiranje vse bolj izpostavlja problem zbiranja in obdelave vodnogospodarskih deskriptivnih in grafičnih informacij ter pretoka le-teh med posameznimi subjekti družbenega planiranja v prostoru. Rešitev problema leži v geografskih informacijskih sistemih - GIS. Prispevek opisuje uporabnost GIS programskega ordja Geo/SQL v vodnem gospodarstvu in hidrološkem modelu HEC1.

GIS-BASED HYDROLOGICAL MODELING AND WATER RESOURCE MANAGEMENT

ABSTRACT

Effective water resources development and public planning require proper data selection, analysis of hydrological alphanumeric and graphical information, and data exchange among different institutions involved in spatial planning. The solution of this problem is the implementation of a geographical information system (GIS). The paper describes of usefulness of the GIS GEO/SQL for water resource data base manipulation and hydrological modeling using the HEC family of programs.

1. UVOD

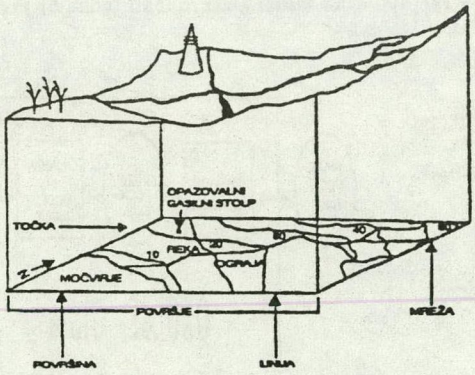
V Laboratoriju za mehaniko tekočin FAGG je bilo v obdobju 1990-1991 izdelanih več raziskovalnih nalog, vezanih na uporabo GIS-a v hidrotehniki. Prvi GIS paket IDRISI je bil nabavljen leta 1989, nato so bili nabavljeni še paketi ARC/INFO, SPANSE in GEO/SQL.

GIS so se pokazali kot uporabno orodje pri modeliranju hidroloških pojavov, predvsem pri pripravi podatkov za modele površinskih in podzemnih voda ter kasnejši obdelavi in prikazovanju rezultatov. Tako je bilo modelirano namakanje Vipavske doline, poplavljenost železniških podvozov v Ljubljani, podtalnica Ljubljanskega polja ipd.

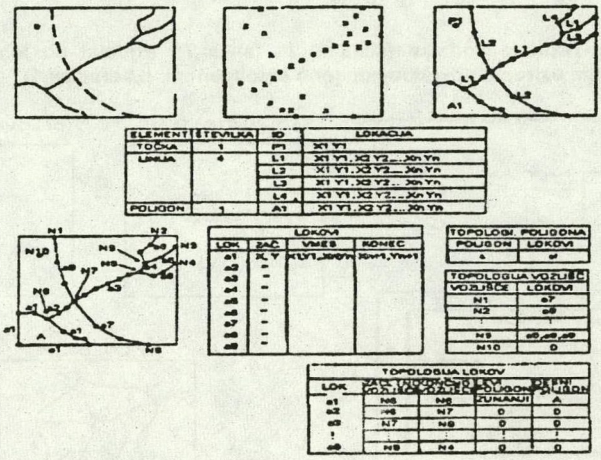
Istočasno so bili nastavljeni tudi posamezni vodnogospodarski katastri površinskih in podzemnih voda ter katastri onesnaževalcev. Pri delu s katastri se je GIS paket GEO/SQL pokazal kot izredno dobro in pripravno orodje.

2. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI (GIS)

GIS (geografski informacijski sistem) je sodobno računalniško orodje, ki nam omogoča obdelavo prostorsko opredeljenih informacij. Toda GIS ni samo računalniško vodena kartografija (slika 1) temveč vsebuje še vrsto drugih informacij, v zvezi s prostorsko opredeljenimi podatki (slika 2). (Literatura 1)

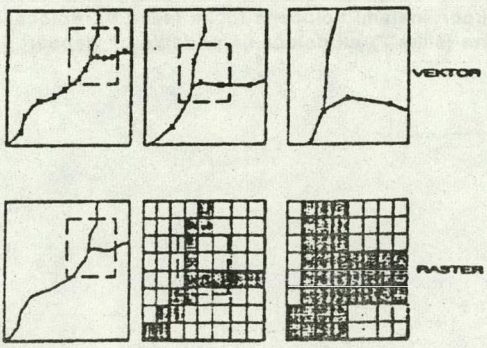


Slika 1



Slika 2

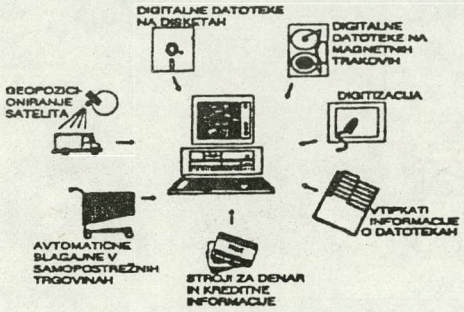
Razvoj GISa se je začel 1962 v Kanadi, ko se je vlada odločila zasnovati prostorsko opredeljen računalniški sistem za celotno državo. Danes na tržišču obstaja že več deset komercialnih računalniških paketov GIS. Od cenejših in enostavnejših z rastersko opredeljenimi podatki do zahtevnejših z vektorsko opredeljenimi podatki (slika 3).

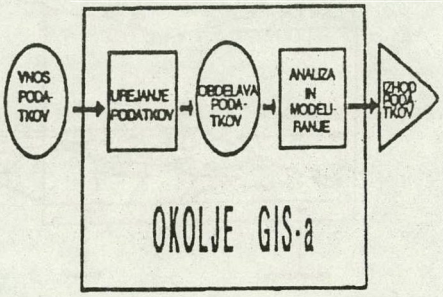


Slika 3

GIS nam omogoča prostorsko prikazovanje oziroma vizualizacijo podatkov, organizacijo podatkov, njihovo kombiniranje, analizo in ne nazadnje izdelavo prognostičnih osnov za odločanje.

Podatki iz različnih virov (slika 4) se v računalniško vodenem procesu (slika 5) preoblikujejo v novo tudi prostorsko opredeljeno informacijo.

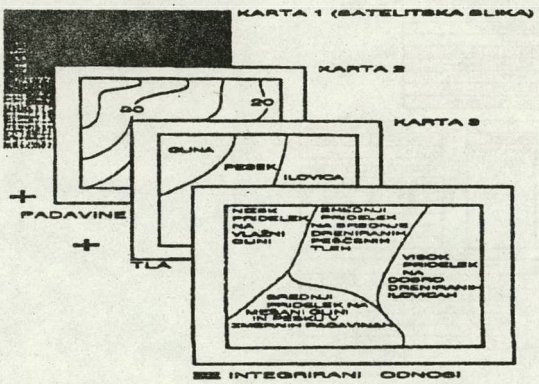


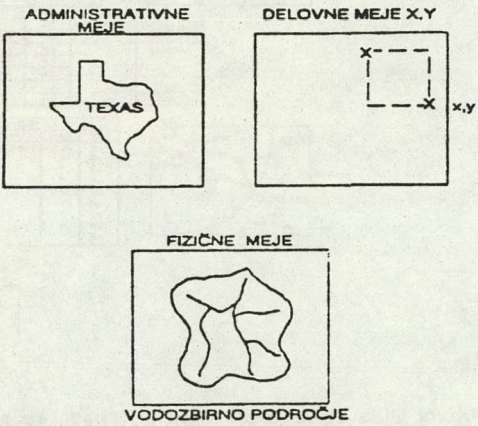


Slika 4

Slika 5

Pri tem lahko kombiniramo različne podatke (slika 6) in (slika 7). Podatki so lahko prostorsko opredeljeni s točko, poligonom oziroma površino omejeno s poligonom. (Literatura 1)

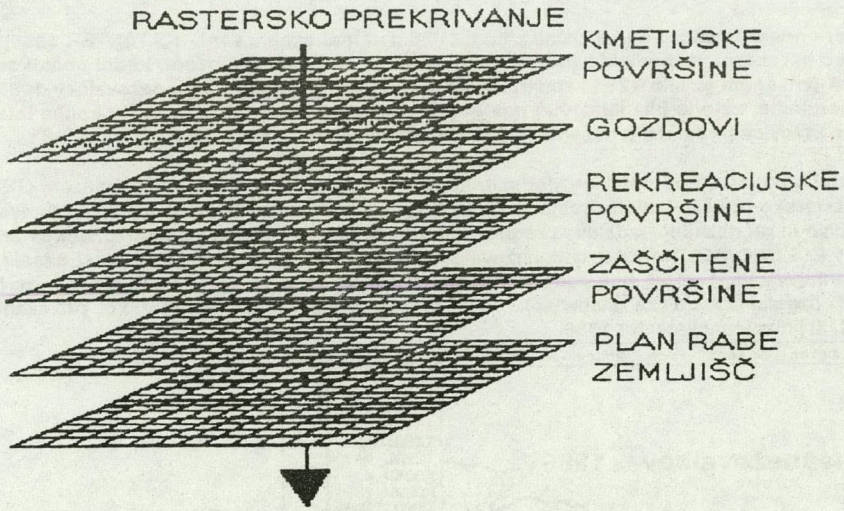




Slika 6

Slika 7

Ker so vode in njihovo onesnaženje prostorsko opredeljene, je GIS nepogrešljivo orodje pri analizi in obdelavi podatkov onesnaženja voda . GIS omogoča iskanje podatkov na osnovi geotopoloških lastnosti: ugotavljanje podatkov o okolju v bližini s koordinatami določene točke (slika 8), določanje podatkov o vsebini znotraj ali izven zaprtega poligona (slika 7) ali določanje podatkov v neposredni okolici struge vodotoka ipd.



Slika 8

GIS je tudi orodje, primerno za pripravo vhodnih podatkov in obdelavo rezultatov izračuna pri modeliranju dinamike onesnaženja površinskih voda in podzemnih voda.

V Laboratoriju za mehaniko tekočin raspolagamo z različnimi GIS orodji, ki jih lahko uporabljamo na PC računalniških enotah:
- ARC/INFO je izredno močno (lit..) in visoko zmogljivo orodje. Program ni prijazen in zahteva od uporabnika večji napor pri obvladanju in delu s paketom,
- IDRISI je izredno enostaven in prijazen program. Vsebuje le rastersko GIS analizo, zato so njegove možnosti uporabe omejene,
- SPANSE je močan rastersko orientiran GIS. Vsebuje tudi možnosti analize vektorsko orientiranih podatkov in izredne opcije za modeliranje GISa,
- GEO/SQL je močno in izredno prijazno orodje, ki povezuje programske pakete AutoCAD in ORACLE v celoto.

3. OBDELAVA PODATKOV KATASTRA ONESNAŽEVALCEV S PROGRAMOM GEO/SQL

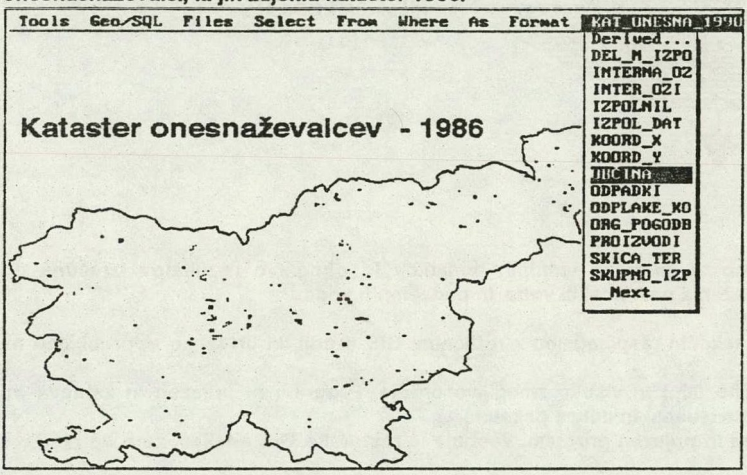
Geo/SQL je dokaj nov programski paket in programsko orodje, ki se je razvijal do sedanje verzije Geo/SQL 4.0. in tvori nekakšen "most" med CAD-om AutoCAD (v AutoCAD11 v ADS okolju) in ANSI SQL DBMS (kot so ORACLE, INGRES, R:BASE, DB2,...). Tako Geo/SQL skupaj z AutoCAD-om, AutoCAD aplikacijami takoimenovane tretje generacije (vse aplikacije v AutoCAD-u) in ANSI SQL relacijskimi podatkovnimi bazami podatkov (mi uporabljamo ORACLE) zelo močno GIS programsko orodje.

Geo/SQL je v svojem bistvu upravljalec in kombinator podatkov iz prostorske podatkovne baze (točke, črte,črtovje,..) in podatkov iz deskriptivne baze s tem da obenem izrablja "moč" SQL-a in uporabniško univerzalnost AutoCAD-a. In katerega bistvene znašilnosti so:
- programsko neomejeni objektno orientirani topološki model
- interaktivno in/all paketno SQL povpraševanje, popravljanje, ipd. iz prostorske in deskriptivne baze z geografskimi in "klasičnimi" deskriptivni kriteriji
- enostavna izmenjava podatkov z drugimi GIS in ostalimi programi
- GXF (Geographics Exchange Format) odprti ASCII format izmenjave Geo podatkov
- enostavna povezava z ostali programi
- nezaščitene izvorne in prilagodljive AutoLISP rutine
- dinamični AutoCAD menu na SQL ukaze iz RDBMS
- enostavna uporaba, hitro učenje in dober "help"

- enostavna prilagoditev AutoCAD menijev tudi za lastne aplikacije.

Podatki za kataster onesnaževalcev so se začeli zbirati 1986. leta (takoimenovani - KATASTER 1986), in leta 1988 še niso bili zbrani vsi podatki katastra. Tako da je bil v računalnik vnešen le del podatkov zbran do leta 1988 (vnešenih je bilo 1284 katastrskih listov). Podatki katastra onesnaževalcev 1986 niso vsebovali koordinate, zato je bila leta 1990 postavljena nova struktura katastra in do konca leta 1991 zbrana dobra polovica podatkov (vnešenih je 726 katastrskih listov), literatura 3.

Geokodirani podatki omogočajo uporabo geografskih informacijskih sistemov (GIS) pri analizah. GIS nam omogoča prostorsko prikazovanje oziroma valorizacijo podatkov, organizacijo podatkov, njihovo kombiniranje, analizo in ne nazadnje izdelavo prognostičnih osnov za odločanje. Podatki katastrov 86 in 90 so vnešeni v GIS GEO/SQL.Kataster onesnaževalcev voda (1986) ni vseboval koordinat naselij, ki pa je bistvena informacija, zato so bile dodane v kataster naknadno s pomočjo lepljenja iz baze " Centroidi naselij" (izdelal Zavod za statistiko). Na priloženi sliki 9 so prostorsko prikazani onesnasnaževalci, ki jih zajema kataster 1986.



Slika 9

Za kataster onesnaževalcev 1990 se je opravilo tudi skaniranje skic objektov (ki so priloge katastrskih listov) s skenerjem EPSON GT-6000. Skaniranje se je izvajalo črnobelo ali barvno, odvisno od same slike in z resolucijo 100 dpi.

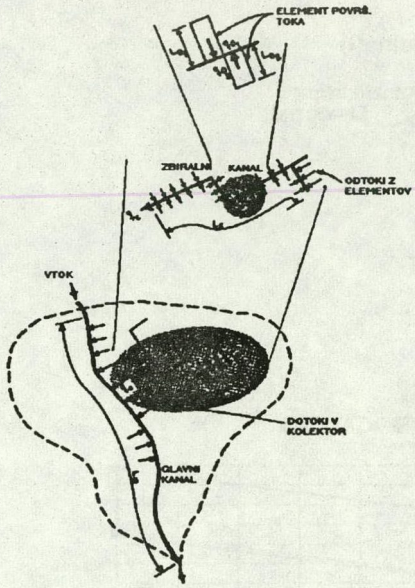
4. SIMULACIJA HIDROLOŠKIH POJAVOV S PROGRAMOM HEC1

HEC1 je programski paket Hydrologic Engineering Centra, ki pripada US Army Corps of Engineers. Center se nahaja v Davisu, v Kaliforniji.

Prvotna verzija paketa je bila izdelana 1967. leta za potrebe hidroloških analiz centra. Program je bil večkrat revidiran in dopolnjevan, tako da zadnja verzija vsebuje možnosti optimizacije pri določanju parametrov hidrograma, ekonomsko optimizacijo zaščitnih ukrepov pred poplavami, porušitev pregrade in transformacijo kinematičnih valov. Program omogoča (slika 10):

1. izračun razporeditve padavin za nevihte s trajanjem od 5 minut do 10 dni.
2. Določanje izgub zaradi infiltracije padavin z uporabo različnih metod pri upoštevanju vpliva neprepustnih tal v povodju,
3. oblikovanje kompleksnega hidrograma enote za povodje,
4. uporabo izračunanih presežkov padavin in hidrograma enote za določanje kompleksnega hidrograma odtoka za povodje,
5. transformacijo izračunanih hidrogramov dolvodno po vodotoku zaradi vpliva časa potovanja in začasne akumulacije vode v strugi na hidrogram,
6. kombiniranje hidrogramov z različnih povodij.

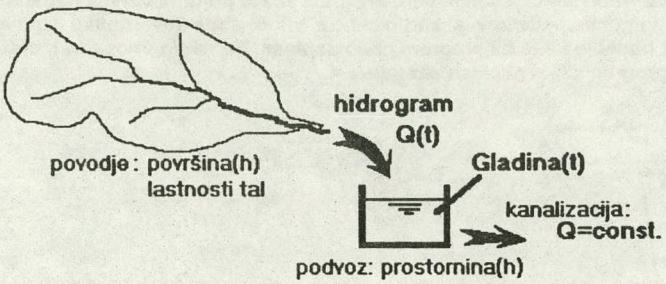
1988. leta je bil program prilagojen uporabi na PC računalnikih. Program je kot prvotna verzija napisan v FORTRAN jeziku z organizacijo vhodnih podatkov s karticami za vnos podatkov, oblika izpisa rezultatov na črkovnem tiskalniku iz obdobja ko je bil program prvič napisan. Ta način vnosa in izpisa podatkov je še iz obdobja, ko je bil program prvič napisan, literatura 4.



Slika 10

V prejšnjem stoletju je bila na obrobju tedanjega mestnega jedra Ljubljane zgrajena železnica v nivoju terena ali v nizkem nasipu, križanja s cestami pa so bila izvedena v nivoju. Z razvojem mesta je železnica postala huda ovira mestnemu prometu, zato so začeli postopoma graditi ukopani podvozi pod železniško progo. Tako na daljših odsekih proge v mestu ni več urejenih prehodov čez progo. Podvozi so lokalne depresije, v katere se z okoliših površin steka meteorna voda. Večina podvozov je priključenih namestno kanalizacijo, ki je dimenzionirana na odtoke vsakoletnih oziroma dveletnih voda.

Odtok površinskih voda smo analizirali na osnovi sheme, podane na sliki 11 in metode SCS programa HEC-1. Vhodne podatke vezane na geometrijo povodja smo določili z GISom GEO/SQL. Rezultati izračuna za podvoz so prikazali na diagramu slika 12. Pri trajanju poplav z deset, sto in tisočletno povratno dobo ni bistvenih razlik. Pri maksimalnih možnih padavinah, registriranih v svetu, pa se čas poplavljenosti izdatno poveča. Pri tem je kot kriterij poplavljenosti izbrana globina vode 30 cm v podvozu.



Slika 11. Shema za izračun



Slika 12. Poplavljenost podvoza

5. ZAKLJUČKI

GISI so izredno močno programsko orodje. Z njihovo pomočjo bo delo s hidrološkimi in drugimi modeli ter vodnogospodarskimi podatkovnimi bazami postalo veliko bolj prijazno in dostopno uporabnikom.

Pri nadaljnjem razvoju izstopajo predvsem zahteve po prijaznosti omenjenih programov in standardizaciji podatkov. V bodoče moramo računati z uporabo različnih GIS programov, med katerimi morajo biti podatki prenosljivi brez posebnih dodatnih programov.

6. LITERATURA

1. "GIS Curriculum Development Toolkit", CCGISE/IGISE 1990

2. Lidija Globevnik , Magistrska naloga " Optimizacija namakanja v Zgornji Savinjski dolini " , maj 1991

3. Mitja Brilly , " Vektorizacija katastra onesnaževalcev " , december 1991

4. HANDS-ON HEC-1 , " A Guide to the Standard Corps of Engineers' Watershed Modeling Computer Program " , 1990

5. Mitja Brilly , " Zaščita pred poplavami na področju ljubljanskih občin " , januar 1992

dipl.ing. Andrej Vidmar

Univerza v Ljubljani, FAGG - Hidrotehnična smer

Geo/SQL V VODNEM GOSPODARSTVU

POVZETEK

Razvoj vodnega gospodarstva vse bolj izpostavlja problem zbiranja in ažuriranja množice deskriptivnih in grafičnih vodnogospodarskih kot tudi drugih informacij potrebnih pri vodnogospodarskem planiranju ter problem pretoka le-teh med posameznimi subjekti planiranja v prostoru. Rešitev tega problema leži v geografskih informacijskih sistemih - GIS.
Članek opisuje uporabnost programskega razvojnega orodja Geo/SQL v vodnem gospodarstvu.

Geo/SQL IN WATER RESOURCE MANEGEMENT

ABSTRACT

The development of water resource management concepts shows the problem of collecting, combining, and using alphanumerical and graphical spatial data. The solution of this problem lies in the use of geographic information systems - GIS.
This paper describes the usefulness of GIS programming tool Geo/SQL in water resources management.

1.0 VODNOGOSPODARSKI INFORMACIJSKI SISTEM

1.1 VIS

VIS je bodoči republiški vodnogospodarski informacijski sistem s specifično vodnogospodarskimi informacijami za potrebe vodnega gospodarstva ,kot tudi ostale uporabnike.

VIS naj bi bil integriran sistem, grajen na policentrični osnovi, za vnos, shranjevanje, izvoz, ažuriranje, analizo in interpretacijo prostorskih informacij v deskriptivni in grafični obliki tako vektorski kot rasterski.

VIS naj bi vseboval 4D podatkovni model (prostor in časovne serije), kateri bi omogočal izvajanje najrazličnejših vodnogospodarskih prostorskih aplikacij. Tako naj bi vseboval vse potrebne vodnogospodarske, kot tudi ostale podatke katere potrebuje vodno gospodarstvo pri strokovno-tehnični in upravno-pravni dejavnosti na različnih nivojih kot so državni organi vključno z izpostavami, druge vodnogospodarske organizacije, fakulteta in inštituti ter ostali uporabniki.

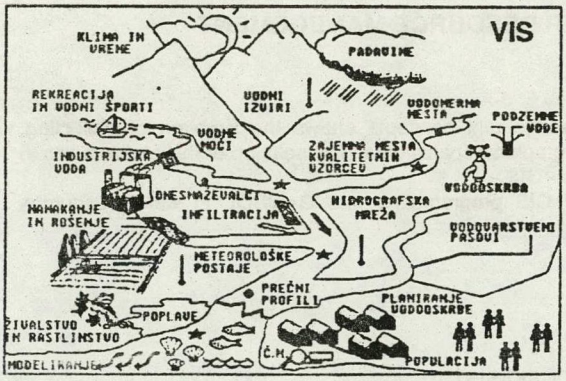
Potrebno se je zavedati, da 90% cene GIS-a odpade na podatke, zato naj bi bil podatkovni model VIS-a grajen na osnovi internacionalnih podatkovnih standardov, kar bi mu zagotavljalo kvaliteto in uspešen kontinualni daljni razvoj. S tem bi bila omogočena uporaba najrazličnejših softversko-hardverskih paketov, ki bodo v bodoče te standarde tudi upoštevali.

1.2 Specifično vodnogospodarski podatki:

Stanje prostora:
- hidrologija (hidrografija, hidromorfologija, hidrogeologija), mehanika voda (hidravlika), hidrobiologija, hidrokemija, hidroekologija, limnilogija,hidrometeorologija;
- vodnogospodarska infrastruktura (objekti in naprave), vodooskrba (pitna voda, tehnološka voda, namakanje), izraba vodne moči, odpadne vode, kanalizacija, vodni turizem, šport in rekreacija ter podobni podatki

Procesi:
- vodnogospodarsko planiranje (vodnogospodarski načrti,...), vodnogospodarske študije in raziskave, ekonomika voda (vodna povračila,...), vodno pravo (zakonodaja, vodne pravice,...), vodnogospodarska proizvodnja in podobno

Ostalo:
- vodnogospodarski arhiv (republiški in izpostave) ter knjižnica



SLIKA 1

Shematski prikaz nekaterih vodnogospodarskih podatkov

1.3 Specifično vodnogospodarske aplikacije

Strokovno-tehnične:
- ocenjevanje in napovedovanje nizkih in visokovodnih pretokov, napovedovanje in ocena ogroženosti vzsled poplav in vodnih ujm, spremljanje (kartiranje) kvalitete površinskih in podzemnih voda, najrazličnejša poročila, vodne bilance, grafične prezentacije in podobno

Upravno-pravne:
- vodenje upravnih postopkov, vodenje najrazličnejših drugih evidenc, izvajanje finančnih kalkulacij in podobno

2.0 IZBIRA GIS-a

2.1 GIS programska orodja

Ponudba GIS programskih orodij je na "software" tržišču zelo raznovrstna. Reklama in sama konkurenca med razvijalci GIS orodij je velika. GIS standardi še niso zaživeli in tudi STDS (Spatial Data Transfer Standard) je šele pred sprejetjem. Uporabnikove želje na eni in finančne zahteve na drugi strani so različne. Testiranje in spremljanje vsega kar obstaja na tržišču ni možno, ker je GIS področje eno od najhitrejših rastočih računalniških dejavnosti. Po raziskavi ameriške inštitucije Daratech je bilo v letu 1990 GIS tržišče "težko" 530 milijonov USD s predvideno stopnjo nadaljne rasti od 32% do 35% v naslednjih štirih letih. Do sedaj je v svetu poznano preko 150 najrazličnejših programskih orodij na temo GIS, ki so povečini razviti v USA in Kanadi. Torej takoj vidimo, da bomo na tržišču GIS programskih orodij le s težavo izbrali pravo GIS programsko orodje, ki bi ustrezalo vsem našim zahtevam.

Na FAGG Hidrotehničnem oddelku smo se s problemom izbire primernega programskega orodja srečali že nekako pred tremi leti. Do sedaj smo se seznanili z najrazličnejšimi GIS paketi, ki smo jih spoznali doma kot tudi v tujini. Samo v enotedenski strokovni ekskuziji v Ultrechtu, Delftu, Wageningenu in Enshede na Nizozemskem smo videli več deset programskih orodij, kot so: Intergraf MGE in Tigris, ARC/INFO (VAX), GRASS, ATLAS, DELTAMAP/GENAMAP, GEOMAP, IMMS, ERDAS, ILWIS, IDRISI in nekaj drugih. Le-ti so se izvajali tako na PC-jih, Mac-ih in UNIX delovnih postajah kot so SUN, INTERGRAF, HP in APOLLO, kot tudi na velikih računalniških sistemih tipa VAX in IBM.
Pri tem smo spoznali, da se z vprašanjem :"Kaj izbrati ?", ne srečujemo samo mi ampak tudi ostali, ki se z GIS-i ukvarjajo že vrsto let.
Ugotovili smo, da splošno in univerzalno GIS programsko orodje, katero bi zadostilo vsem našim zahtevam na PC računalnikih ne obstaja. Vsako GIS programsko orodje ima pred drugimi svoje specifične prednosti kot tudi slabosti.
Na Hidrotehničnem oddelku problem izbire primernega GIS programskega orodja rešujemo s tem, da pri svojem delu izberemo tisto orodje, ki je določeni aplikaciji najprimernejše.

2.2 Pregled in primerjava GIS orodij

Na FAGG Hidrotehničnem oddelku imamo:
- GIS programska orodja: PC ARC/INFO, IDRISI, SPANS (OS/2) in Geo/SQL
- GIS pripomočki:Geo/COGO, QuickSurf, ROOTS, DCA DTM in EarthWorks
- CAD orodja: AutoCAD386, AutoCAD11 in PC MicroStation 4.0
- RDBMS orodja: dBASE III+, PC INFO in PC ORACLE (ver. 5.1B in 6.0)

Sama primerjava in ocena uporabnosti GIS orodij, ki jih imamo v lasti, med seboj, je zaradi različnosti posameznih orodij zelo težavna. Vsako izmed zgoraj naštetih orodij ima nekaj dobrih in slabih lastnosti. Primerjava med njimi je odvisna tudi od tega kaj z njimi počnemo oziroma kaj potrebujemo. Različne verzije teh orodij se zaradi hitre dinamike razvoja in tudi konkurence vrstijo zelo hitro, tako da je vsaka nadaljna verzija popolnejša.

AutoCAD ni najlažji za uporabo (GUI AutoCAD-a bi bil za današnje čase lahko malo bolje napisan in prijaznejši, nekaj podobnega kot ga ima MicroStation z Motif-om) in ne najcenejši PC CAD paket, je pa najbolj univerzalen (modularnost, odprtost, programska razširljivost, možnost uporabe C-ja in AutoLISP-a, prilagodljivost za vsako uporabo,..) in najbolj razširjen in uporabljan PC CAD paket (500 000 registriranih uporabnikov). Tako, da je AutoCAD bil in ostaja "DeFacto" standard PC CAD-a, kar tudi nedvomno dokazuje množica hardverskih dodatkov, ki so se razvili izključno za in iz potreb AutoCAD-a. Njegova uspešnost na tržišču se z verzijo AutoCAD 11 zaradi ADS (AutoCAD Development System) še bolj utrjuje.

ORACLE Corporation je s svojim produkti ORACLE največji dobavitelj DBMS programskih orodij in tretja največja programska hiša in programski servis na svetu in tudi že nekakšen "DeFacto" standard na večjih računalnikih. Vsi ORACLE produkti so dostopni tako PC-jem, mini in velikim računalnikom. V ORACLU je obenem prva in dosedaj edina podatkovna baza, ki se izvaja tudi na super računalnikih. Verzija v PC-jih (MS DOS ORACLE ver. 5.1) deluje nekako utesnjeno. Pozna se mu, da je razvit za velike sisteme in v primerjavi z ostalimi PC RDBMS (dBASEIV, PARADOX 3.5,CLARION...) se dobi nekašen "old fashion" občutek zaradi dolgih "in-line" ukazov brez uporabniške prijaznosti, kot je uporaba "pull-down", "roll-down" ali "pop-up" menijev, ikon, ipd., ki smo se jih na PC-jih že nekako navadili. Verzija PC ORACLE 6.0 pa je že čisto nekaj drugega. Je čisto na novo razvit paket, ki odpravlja prejšnje slabosti in uvaja nove možnosti, npr. PL/SQL (Procedural Language/SQL) in nove podatkovne strukture , da ostalih ne omenjamo, ker je zato premalo prostora.

Geo/SQL je v svojem bistvu upravljalec in kombinator podatkov iz prostorske vektorske podatkovne baze (točke, črte, verige, areali..) in podatkov iz deskriptivne baze (alfanumerični podatki) s tem da obenem izrablja "moč" relacijskih baz na osnovi ANSI SQL89-a in uporabniško univerzalnost AutoCAD-a. Geo/SQL je razvila programska hiša G5 Generation iz USA in je le ena od strateških razvijalcev GIS programske opreme na osnovi AutoCAD-a. Ostali so FMS/AC, GIS manager, MapInfo, rdb2000 in TIMS. Geo/SQL se izmed teh vse bolj prebija v ospredje. Geo/SQL je dokaj nov programski paket, ki se je razvil iz začetnih verzij z imenom MunSur (Municipal Surveying) in MunMAP (Municipal Mapping) do sedanje verzije Geo/SQL 4.0 ADS in tvori nekakšen "most" med AutoCAD-om (AutoCAD10, AutoCAD386 in AutoCAD11 v ADS okolju) in ANSI SQL DBMS (kot so ORACLE, INGRES, R:BASE, IBM DB2,...). Tako je Geo/SQL skupaj z AutoCAD-om, AutoCAD aplikacijami takoimenovane tretje generacije in SQL relacijskimi podatkovnimi bazami podatkov zelo močno GIS programsko orodje. Mi uporabljamo ORACLE SQL in PL/SQL ver. 6.0. Obstajajo verzije za MS DOS, OS/2 in UNIX na PC, SUN OS 4.0 na SUN grafični delovni postaji (SUN 3, SUN 4, SUN SPARCstation) in MAC OS na Apple PC (MAC II, MAC IICX, ...) v enouporabniški (Geo/SQL Profesional) in mrežni verziji (Geo/SQL LANserver). Torej Geo/SQL omogoča cenenim "low-cost" PC-jem tipa i386 in i486 ter UNIX delovnim postajam povezavo med seboj, kot tudi z velikimi korporiranimi deskriptivnimi podatkovnimi bazami, ki se nahajajo v večjih računalniških sistemih in navezavo le-teh podatkov na Geo/SQL prostorsko prostorsko bazo. Z obdelavo teh izvornih podatkov in z uporabo AutoCAD-a, AutoCAD aplikacij, SQL RDMBS-a in ostalih, kot so na primer: tekst procesorji, "paint" programi, tabelarični programi (LOTUS, QUATTRO, EXCEL,..) in drugih "Home Made" aplikacij, pa lahko potem kot rezultat te obdelave generiramo najrazličnejše izvedene podatke, ki dajo za rezultat karte, slike, grafe, tabele, tekste, diapozitive, video sekvence in podobno.

Značilnosti Geo/SQL so:

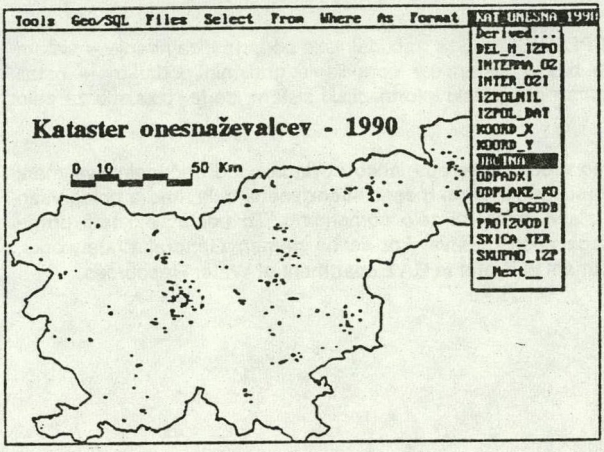
- kontinualni objektno orientirani vektorski topološki 3D model (točka, linija, veriga in areal), ki je omejen le s hardversko kapaciteto
- interaktivno SQL povpraševanje, popravljanje in podobno, hkrati iz prostorske in deskriptivne baze
- strukturiran neproceduralni jezik. Vsi dostopi do prostorskih podatkov so izvedeni z SQL-u podobnimi ukazi in vključuje makro jezik z okoli 150 objektno-orientiranimi funkcijami.
- izmenjava podatkov z drugimi GIS programi v formatih kot so: DXF, DXB, IGES, ASCII, DIME, DLG, TIGER, ETAK, ARC/Info, Intergraf MicroStation, Synercom, SPANS, ILWIS ali pa prek GXF (Geographics Exchange Format), ki je odprti "Non CopyWrite Protected" ASCII format
- enostavna povezava z ostali AutoCAD programi, kot tudi drugimi programi
- nezaščitene izvorne in uporabniško prilagodljive GIS AutoLISP rutine (preko 200)
- menu generator AutoCAD-a na SQL ukaze iz RDBMS
- enostavna prilagoditev AutoCAD menijev za uporabniške programe

QuickSurf ADS verzija je AutoCAD ADS aplikacija za digitalno modeliranje terena. Njegova moč se pred ostalimi PC DTM kot je na primer DCA DTM ali TIN v PC ARC/Info, odraža predvsem v hitrem procesiranju večjega števila točk (100.000 točk/min na PC računalniku i486/33MHz), kar kaže na dobro sprogramiran C program. Ker je QuickSurf razvit z ADS se transfer podatkov med QuckSurfom in AutoCAD-om odvija prek memorije in ne prek DXF datoteke. Z QuickSurf-om lahko obdelujemo TIN (Triangulated Irregular Network), GRID, POINT in CONTOUR 3D prostorske mrežne modele. Obstajo verzije za MS DOS, SUN Sparcstion, SUN4, SUN386i in SCO XENIX.

3.0 PRIMERI UPORABE Geo/SQL PAKETA

Na Hidrotehničnem oddelku imamo v GIS s programskim paketom Geo/SQL vnešene naslednje podatke:

- kataster onesnaževalcev iz popisa 1986
- kataster onesnaževalcev iz popisa 1990
- kataster kraških jam z vodo
- kataster vodnih izvirov
- kataster hidroloških postaj
- kataster meteoroloških postaj
- kataster postaj meritev podtalnic (piezometri in vodnjaki)



SLIKA 2

Risanje lokacij onesnaževalcev s pripadajočimi alfanumeričnimi atributi in glede na izbrane kriterije iz grafične in deskriptivne podatkovne baze Onesnaževalci 1990



SLIKA 3

Risanje lokacij centroidov vodnih izvirov s pripadajočimi alfanumeričnimi atributi in glede na izbrane kriterije iz grafične in deskriptivne podatkovne baze Vodni izviri

4.0 ZAKLJUČKI

Analiza in priprava primerov prostorskih podatkovnih baz Katastra onesnaževalcev - 1986, Katastra onesnaževalcev - 1990, Katastra vodnih izvirov in ostalih, je pokazala velike potencijale uporabe programskih orodij Geo/SQL, AutoCAD in ORACLE pri nastavljanju, vodenju in ažuriranju prostorskih podatkovnih baz. Izkazalo se je, da je s temi programskimi orodji možno voditi tudi obsežne prostorske podatkovne zapise na relativno poceni mehanski opremi tipa PC i386 in i486.

Po tujih podatkih okoli 90% cene geografskega informacjskega sistema predstavljajo podatki. V naših primerih je 80 % dela odpadlo na deskriptivne podatke. Ugotovili smo, da je dobro zastavljen in organiziran RDBMS sistemu zelo pomemben del GIS sistema. V našem primeru je to ORACLE verzije 6, ki nudi vso potrebno učinkovitost, integriteto, varnost in zaščito podatkov, ki je potrebna pri tovrstnem delu.

Formula Geo/SQL-a CAD+RDBMS+SPDBMS+...=GIS, računalniško podprto dizajniranje + sistem za relacijsko upravljanje podatkovnih baz + sistem za upravljanje grafičnih podatkov + ostali analitični in pomožni programi = integriran geografski informacijski sistem, se je izkazalo za zelo "dobro kombinacijo".

Geo/SQL je zelo prijazno in učinkovito orodje, katerega lahko obvladajo tudi računalništva manj vešči uporabniki v relativno kratkem času, približno en mesec intenzivnega dela, kar je poleg vseh navedenih in nenavedenih dobrih in slabih lastnosti zelo pomembno. To ugotavljajo tudi druge ameriške institucije s področja vodnega gospodarstva, kot so na primer: General Waterworks, United States Coast Guard, LA Department of Water in CA Department of Water Resources.

APPLICATION OF A DISTRIBUTED PARAMETER HYDROLOGIC MODEL FOR URBAN AREAS

Michael B. Smith and Dr. Mitja Brilly
University of Ljubljana
Faculty for Architecture, Civil Engineering, and Survey FAGG
Hydraulics and Hydrology Department
28 Hajdrihova Ulica
61000 Ljubljana
Slovenia

1. ABSTRACT

For analyzing overland flows in urbanized areas, a distributed parameter hydrologic model that combines a raster geographic information system data structure with a digital terrain model (DEM) has been developed. In a typical application, the watershed is divided into square cells whose width is equal to the average street width. Infiltration for each cell is computed using the Green-Ampt equation. Overland flow is computed using the continuity equation coupled with an outflow equation. Time shift routing is used in the storm sewer system. Storm sewer overflows are allowed to travel down adjacent streets in response to local topography. Streets are modeled as a system of parallel gutters. In an application to two urbanized experimental watersheds, the model was able to accurately reproduce storm sewer system outlet hydrographs.

2. INTRODUCTION

Engineers and planners routinely design and evaluate urban drainage scenarios. However, there is no one model which can satisfactorily handle all urban drainage phenomena. [1]. Surface flow paths are extremely complex and the movement of overland flow in response to topography cannot be predicted using the automated methods currently being used and developed for natural watersheds. Landcover data is very heterogeneous and cannot be readily determined without aerial photos. Accurate and comprehensive hydrologic models exist but often the data requirements for such models consume a large portion of funds allocated for a project. Adequate design of urban drainage systems requires a proper evaluation of the mutual interaction of the minor (conduit) and major (surface) components. However, no suitable model exists which can evaluate both simultaneously [2].

Many jurisdictions require an examination of the road system as a component of the major drainage system[2,3]. Street networks can carry large flows with minimal disturbance to traffic patterns if for only short durations. Wisner[4,5] and Stephenson[6] have recognized the need for a greater emphasis on roads as components of dual drainage systems.

Distributed parameter models attempt to quantify the spatial variation of hydrologically important parameters. Because of their structure, they facilitate the analysis of processes occurring anywhere in the watershed interior. However, they are by nature extremely data intensive and computationally demanding. Thus, their use has been limited. Recent

advancements in microcomputer processing speeds and data storage volumes have brought these models closer to an operational rather than research level. While distributed parameter models of various degrees of complexity have been applied to natural watersheds with relatively large unit areas, these types of models have yet to be applied in the same degree to urban areas.

Geographic information systems (GIS) have proven useful as tools for managing the data sets required for hydrologic studies in certain situations [7,8]. Combined with a digital elevation model, GISs provide the analyst with tools that facilitate the derivation of some hydrologic parameters that previously required hand determination. While the GIS cannot collect the basic data for the engineer, it nonetheless offers potentially more timely and effective parameter distribution.

Thus, the purpose of the present work is to examine the ability of a raster-GIS-based distributed parameter hydrologic model to predict the response of two urban areas.

3. MODEL OVERVIEW

The model discussed here is currently still in development. A detailed discussion of a preliminary version of the model components can be found in [9]. However, a brief review of the major aspects will be presented here.

In general, the model operates on a typical raster-based representation of the watershed. A digital elevation model (DEM) in raster format is required as is the layout of the storm sewer network. A landcover data base is needed which delineates pervious and impervious areas. In addition, a rasterized street network is needed.

A series of preprocessing steps are applied to the DEM to determine hydrologically important parameters. First, a simple steepest descent analysis is used to assign general overland flow directions to each watershed cell. This direction data set is then modified to give precedence to flow in streets. Using the flow directions, a computationally intensive method was developed to determine the cell-to-cell routing sequence [10]. Within each time step, the routing sequence serves as a driver to call each cell in hydrologic order and then compute a depth and outflow solution. Figure 1 presents the idealized surface and subsurface drainage components.

For pervious cells, infiltration is computed using the Green-Ampt equation as presented by Chow et al. [11]. Net rainfall amounts are computed by subtracting incremental infiltration volumes from the rainfall amounts added during each time step.

Given a net rainfall amount, overland flow for each cell is computed using a coupling of the continuity equation (eq. 1) and Manning's equation for turbulent flow (eq. 2):

$$h_2 = h_1 + \text{netrain} + \left[\frac{\Sigma \text{ inflows}}{\text{cell area}} - \frac{\text{outflow}}{\text{cell area}}\right] \cdot \Delta t \qquad (1)$$

where h_2 and h_1 are water depths in the cell in meters at the end and the beginning of the time step respectively, netrain is the incremental rainfall minus the incremental infiltration, m., Σ inflows is the total overland inflow from adjacent cells, m^3/sec, and outflow is the cell outflow in m^3/sec at the end of the time step. Cell outflow is computed using Manning's equation for wide channel flow:

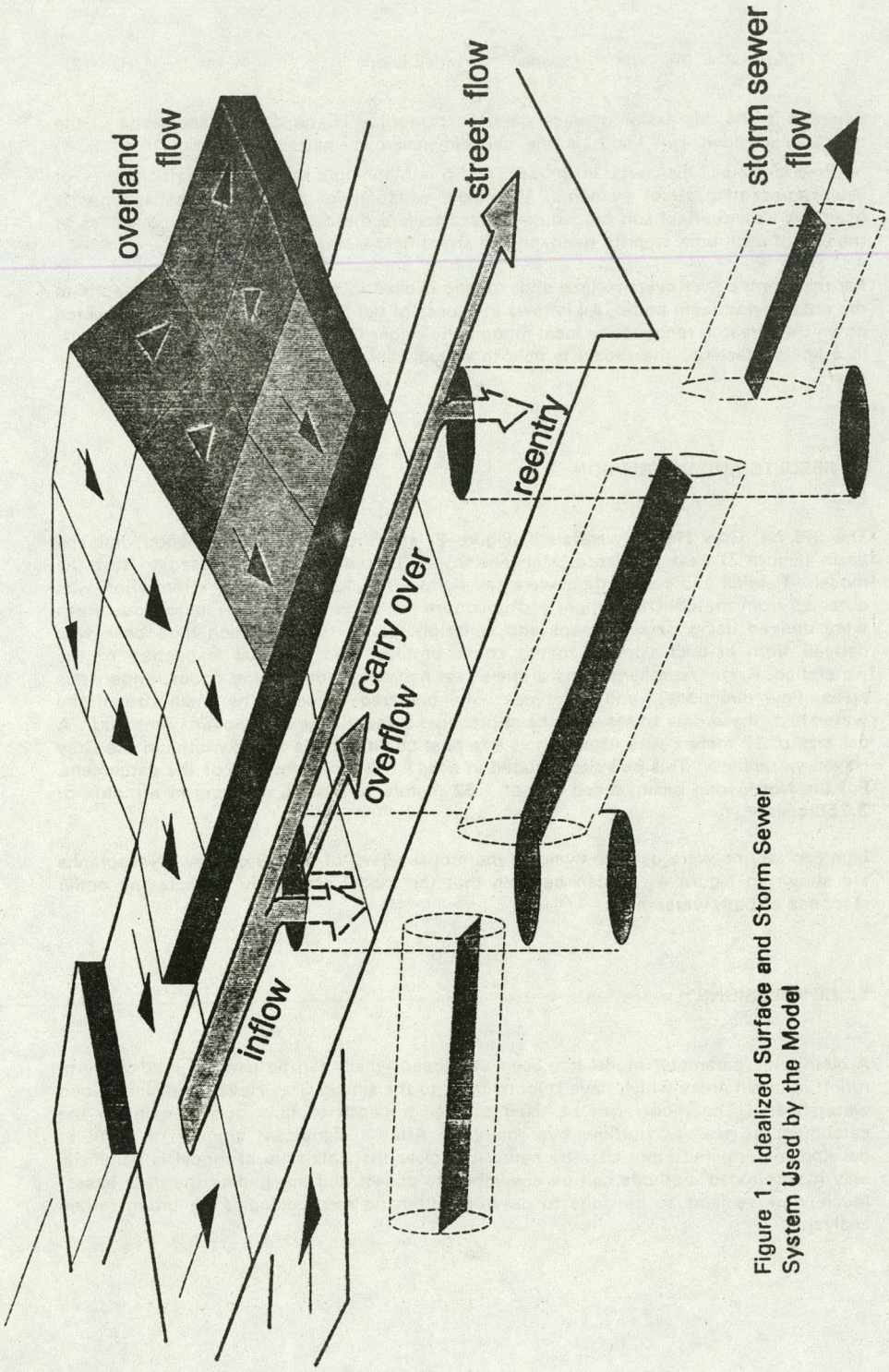


Figure 1. Idealized Surface and Storm Sewer System Used by the Model

$$\text{outflow} = (h_2 - d)^{5/3} \cdot \text{slope}^{1/2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \text{cell width} \qquad (2)$$

where d is the depression storage depth in m., slope is the cell surface slope in the direction of flow, cell width is the cell dimension in meters perpendicular to flow, outflow is the cell discharge in m^3/sec. and n is Manning's roughness coefficient. For cells representing street elements, Manning's equation for triangular cross sections is used. A Newton-Raphson procedure is used to find the depth and discharge values at the end of each time step for overland and street flow elements.

For the storm sewer system, time shift routing is used to translate inflow hydrographs to the next downstream node. All inflows in excess of full flow pipe capacity are redirected down the street in response to local topography rather than being held at the inlet. Thus, in a limited fashion, the model is able to simultaneously route surface and subsurface flows.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The 9.4 ha. Gray Haven watershed (Figure 2) and the 19.2 ha. Northwood drainage basin (Figure 3) near Baltimore, Maryland in the United States were used to test the model. Rainfall and runoff data were taken from [12,13] while soils information was obtained from the US Department of Agriculture soil surveys [14,15]. Impervious areas were derived using detailed maps and aerial photos. A flow direction data base was derived from as-built contour maps, street profiles, and personal inspection of the watershed. Raster representations of the street network, storm sewer nodes, impervious areas, flow directions, and soil types were prepared. Due to the small size of the watershed, these data bases were hand-prepared using a simple grid-overlay method. A cell size of 12 meters was used as this size best quantified the street widths in the Gray Haven watershed. This cell size resulted in a 641 cell representation of the catchment. For the Northwood basin, a cell size of 7.62 meters was used, resulting in a matrix of 3,258 cells.

Eighteen storms were used to evaluate the model. Two of the 18 outflow hydrographs are shown in Figure 4. It can be seen that the model accurately predicts the outlet response of both watersheds.

5. CONCLUSIONS

A distributed parameter model has been developed which can be used to predict storm runoff in urban areas which have layout similar to the simple Gray Haven and Northwood watersheds. The model can be used to predict depth of flow at any point in the catchment as well as outflow hydrographs. After a significant amount of work to develop the required input data by hand, it is clear that this type of model is beneficial only if automated methods can be developed to collect and manipulate the data bases. Much work remains to be done to develop automatic methodologies for urban terrain analysis.

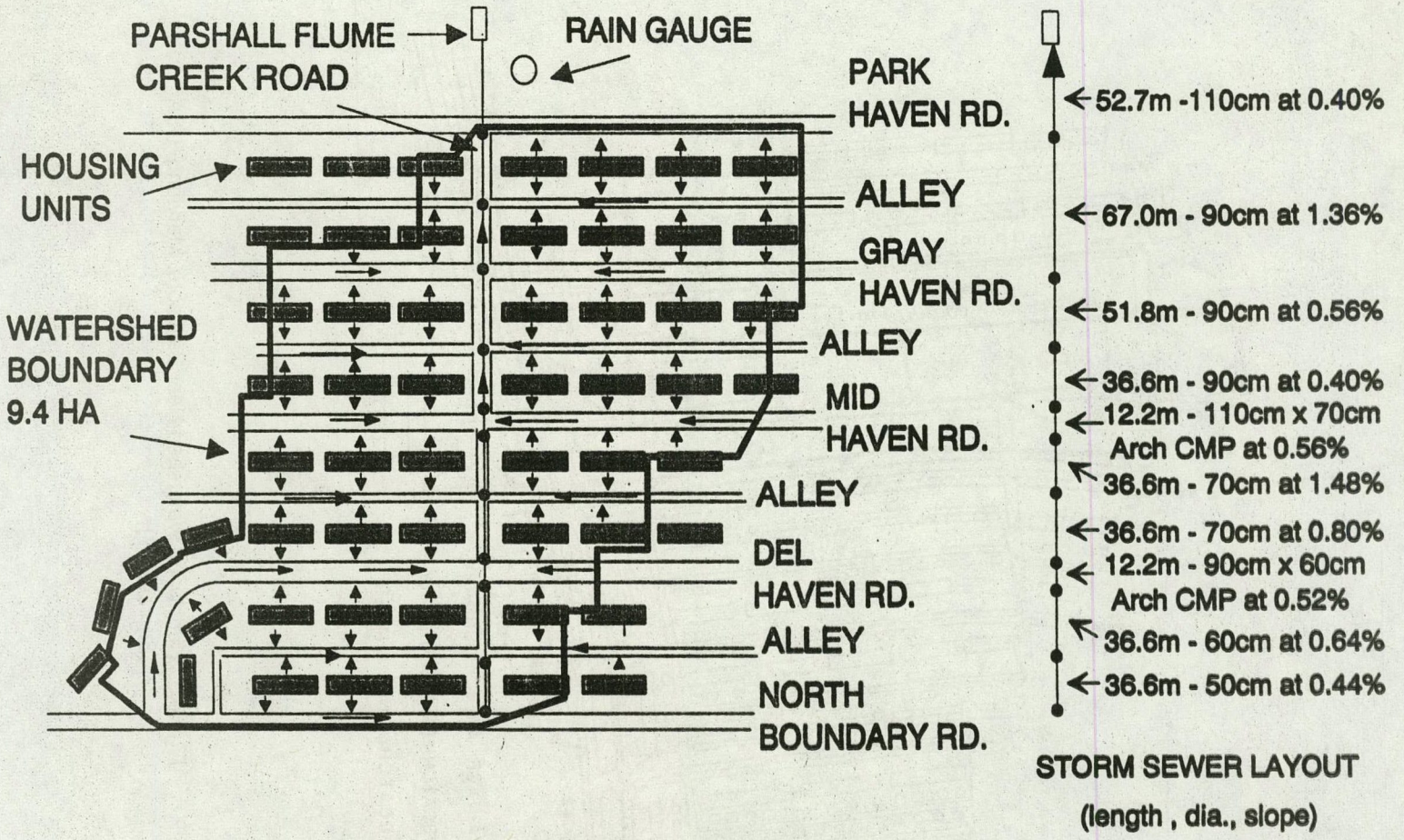


Figure 2. Gray Haven Watershed Near Baltimore, Maryland, USA

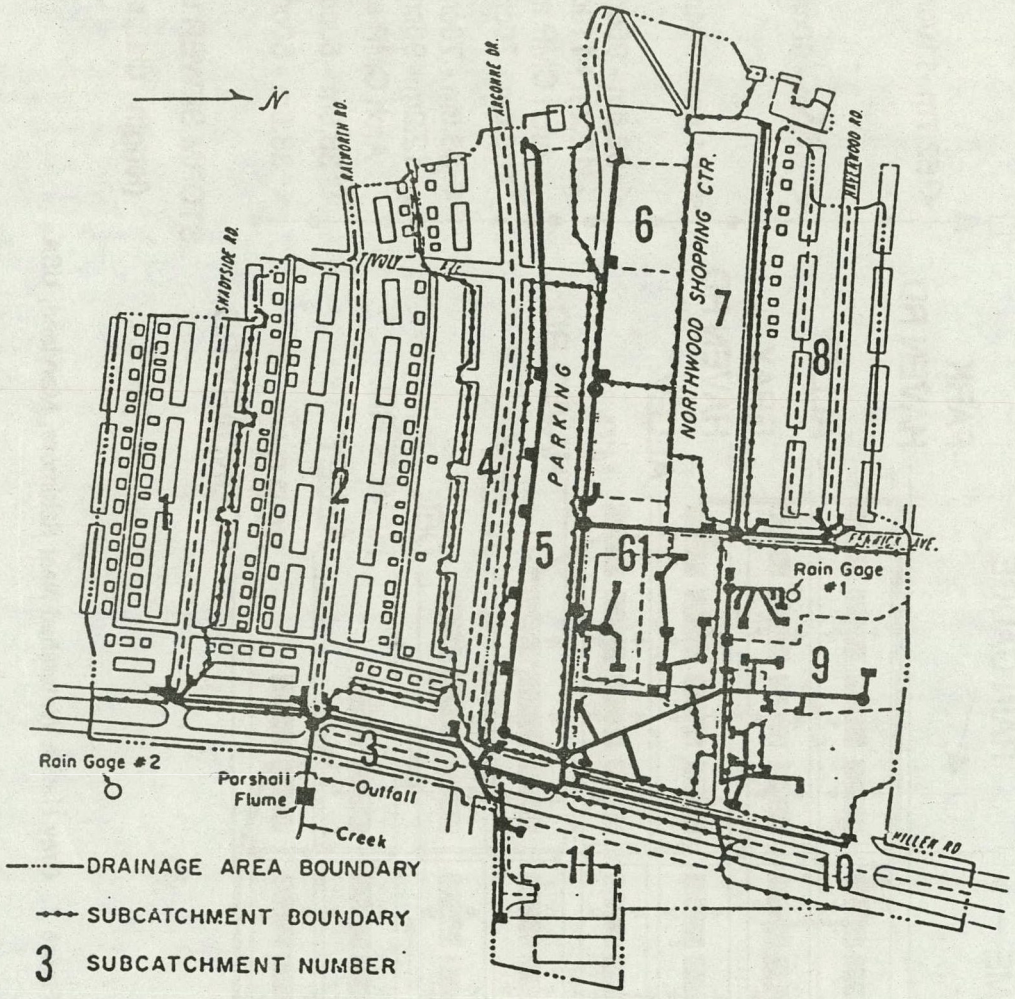
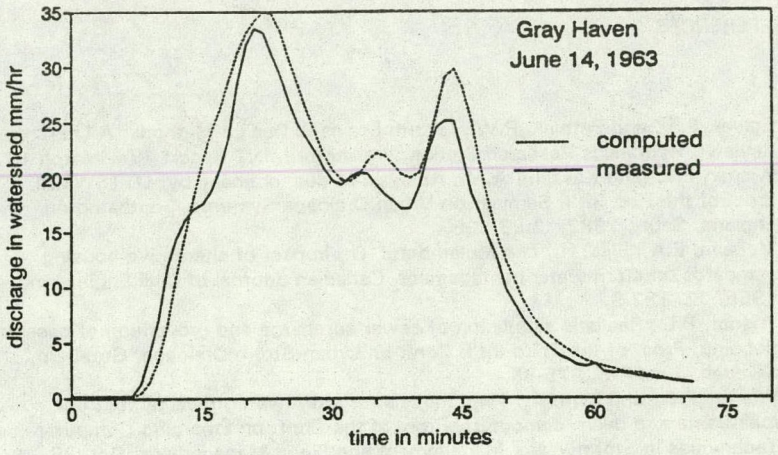
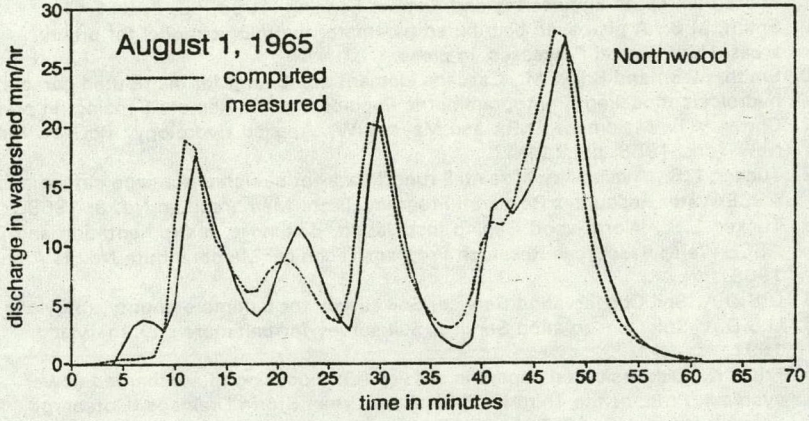


Figure 3. Northwood Watershed Near Baltimore, Maryland, USA (Source: [17])



(a)



(b)

Figure 4. Computed Vs Measured Discharge Hydrographs for Gray Haven (a) and Northwood (b) Watersheds

6. REFERENCES

1. Colyer, P.J., and Pethick, R.W., 'Storm Drainage Design Methods: A Literature Review', Hydraulics Research Station, Wallingford, INT Report 154, March 1976
2. Wisner, P.E., and Kassem, A.M., Analysis of dual drainage by OTTSWMM, Proc. of the First Int'l. Seminar on Urban Drainage Systems, Southampton, England, Sept., 1982, 2.93-108.
3. McBean, E.A., Ellis, H., and Mulamoottil, G., Impact of alternative housing standards on stormwater management, Canadian Journal of Civil Engineering, 1985, 12, 192-9.
4. Wisner, P.E., Realistic simulation of sewer surcharge and prevention of basement flooding, Proc. of the Third Int'l. Conf. on Urban Storm Drainage, Goteberg, Sweden, June 4-8, 375-85.
5 Wisner, P.E., and Lam, A., Twin models for stormwater management on mainframe and micro computers, Proc. of the Conf. on Emerging Computer Techniques in Storm Water Management and Flood Management, Oct. 29 - Nov. 4, 1983, 178-98.
6. Stephenson, D., The importance of dual drainage, Proc. of the Fourth Int'l. Conf. on Urban Storm Drainage, Lausanne, Switzerland,1987, 323-4.
7. Djokic, D., and Maidment, D.R., Terrain analysis for urban stormwater modelling, Hydrological Processes, 1991, 5, 115-24.
8. Johnson, L., MAPHYD- a digital map-based hydrologic modeling system, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 55, 6, 911-17.
9. Smith, M.B., A gis-based distributed parameter hydrologic model for urban areas, Hydrological Processes, in press.
10. Smith, M.B., and Brilly, M., Cascade element numbering for distributed parameter hydrologic modeling, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, in press.
11. Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., Applied Hydrology, McGraw Hill, New York, 1988, pp. 111-47.
12. Tucker, L.S., Availability of rainfall-runoff data for sewered drainage catchments, ASCE Water Resources Research Program, Tech. Memorandum No. 8, 1969.
13. Tucker, L.S., 'Northwood Gaging Installation, Baltimore, Instrumentation and Data', ASCE Water Resources Research Program,Technical Memorandum No. 1, August 1, 1968
14 U.S.D.A. Soil Conservation Service, Soil survey for baltimore county, maryland.
15. U.S.D.A. Soil Conservation Service, Soil survey for baltimore city, maryland, 1991.
16 Price, K., Discussion on papers in session a6: modelling of surcharged sewer systems, Proc. of the Third Int'l. Conf. on Urban Storm Drainage, Goteberg, Sweden, June 4-8, 1988, 1152-57.
17. Huber, W.C. and Dickinson, R.E., 'Storm Water Management Model -Version 4, User's Manual', Environmental Research Laboratory, Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, USA, 1988.

mag. LIDIJA GLOBEVNIK
VODNOGOSPODARSKI INSTITUT,Ljubljana

OPTIMIZACIJA NAMAKANJA V VIPAVSKI DOLINI

Povzetek

Za predlagani namakalni sistem v zgornje Vipavski dolini so obravnavane optimalne lokacije vodnih virov z uporabo geografskih informacijskih sistemov. Najprej je vzpostavljena digitalna podatkovna baza. Nato so analizirane energijske karakteristike lokacij akumulacij in črpališč za dovajanje potrebnih količin vode do polj. Z mreženjem je simulirano porazdeljevanje vode po sistemu in izračunani varnostni pokazatelji ustreznosti velikosti akumulacij. Ugotovljeno je, da je geografski informacijski sistem ARC/INFO, ki je služil za izdelavo analize, mogoče vključiti tudi v proces upravljanja že izgrajenega namakalnega sistema, za kar je predstavljen tudi algoritem.

OPTIMIZATION OF IRRIGATION SYSTEM IN UPPER VIPAVA VALLEY

Abstract

Optimal locations of accumulations and pumping stations for the proposed irrigation system in upper Vipava Valley are analysed using geographical information system techniques. The digital base of spatial characteristics is formed and energy characteristics of possible locations for water storage and pumping for water demand are analysed. Simulation of water allocation through the pipe system is performed and risk parameters of accumulation size are determined. It is found out that the geographical information system ARC/INFO used in the analysis can be included into the process of every day decision making for the existing irrigation system for which an algorithm is presented.

1 UVOD

V Sloveniji je izgrajenih že nekaj majhnih namakalnih sistemov, medtem ko edini večji sistem deluje v spodnjem delu Vipavske doline. Pri gradnji in delovanju tega namakalnega sistema so bile pridobljene prve izkušnje, ki usmerjajo tudi projektiranje drugega večjega sistema v zgornjem delu doline. Vzpostavljanje namakalnega sistema v zgornji Vipavski dolini je v fazi sprejemanja odločitev glede vodnih virov, medtem ko so bile površine in kulture na njih definirane vnaprej. Glede na te se je v študiji, ki je bila narejena na Vodnogospodarskem inštitutu, izračunalo potrebe po vodi in predlagalo ustrezne vodne vire[3]. V projektivni organizaciji Projekt Nova gorica je bil projektiran cevni razvod do polj [1] . Različne variante glede kultur, površin namakanja in vodnih virov, niso bile obravnavane.

Pričujoča študija naj bi pripomogla h končni izbiri vodnih virov ter dala nekatere ustrezne energijske pokazatelje dovajanja vode do polj. Za analizo so bile uporabljene tehnike geografskih informacijskih sistemov, kajti z njimi lahko uspešno obvladujemo neskončno število podatkov, ki so potrebni za take analize. Uporaba

GIS tehnik pri planiranju in tudi kasneje, pri upravljanju namakalnih sistmov, je nova [4], zato naloga obravnava tudi probleme pri njihovi aplikaciji ter primernost njihove uporabe.

2 OPIS NAMAKALNEGA SISTEMA V ZGORNJE VIPAVSKI DOLINI

Predviden namakalni sistem naj bi zagotavljal vodo za 4567 ha površin. Polja so situirana v ravninskih predelih ob vodotokih Vipave in Močilnika. Osnovni cilj sistema je zagotavljanje optimalne vlage v tleh za ugodno rast rastlin. Za to dopolnilno namakanje je predvidena izgradnja cevnega razvoda do razpršilcev in kapljačev. Glede na predlagani proizvodni program so se v študiji VGI 3 izvrednotile potrebne vodne količine. Le te so odvisne od posamezne kulture in tal namakalnih površin. Predlagani sta bili dve varianti vodnih virov. Prva predvideva črpanje vode iz reke Vipave do ustreznih pretokov, manjko vode (največ do 2.2 miliona m3 vode letno) pa naj se pokriva iz akumulacij. Druga varianta predvideva celotno zagotavljanje vode iz akumulacij (največ do 4.0 miliona m3 vode letno). V dosedanjih študijah je bilo analiziranih 7 možnih lokacij za akumulacije. Te so na pritokih Vipave:

- Močilnik (možno zadržati $4.0*10^6$ m^3 vode, razmerje med volumnom pregrade in volumnom vode (Vpr/Vak) je ugodno)
- Pasji rep (možno zadržati do $2.2*10^6$ m^3 vode, Vpr/Vak sprejemljivo)
- Hubelj (možno zadržati $2.2*10^6$ m^3 vode, Vpr/Vak neugodno)
- Lokavšček, pritok Hublja (možno $2.2*10^6$ m^3 vode,Vpr/Vak slabo)
- Kamniški potok - Malenšček (možno zadržati le $0.4*10^6$ m^3 vode, Vpr/Vak neugodno)
- Košivec (možno zadržati $0.9*10^6$ m^3 vode, Vpr/Vak slabo)
- Vrtovinšček (možno zadržati $0.44*10^6$ m^3 vode, Vpr/Vak slabo)

V študiji VGI-ja so bile predlagane tudi štiri lokacije za črpanje vode iz reke Vipave. Te so pri :

- Podnanosu na vodotoku Močilnik (kota črpanja 182 m)
- Vipavi po sotočju Močilnika in reke Vipave (kota 96 m)
- Dolenjah (osnovna kota črpanja 93 m)
- Kasovljah (kota črpanja 73 m)

3 ANALIZA LOKACIJ AKUMULACIJ IN ČRPALIŠČ

S pomočjo geografskih informacijskih sistemov lahko naredimo analizo lokacij akumulacij in črpališč z vidika potrebne energije za dovajanje vode do polj ne da bi bilo potrebno poznati natančne hidravlične karakteristike razvodnega sistema. Take analize so še posebej dobrodošle v začetnih fazah planiranja in odločanja, ko iščemo splošne ocene in primerjave možnih rešitev.

Za analizo je bilo potrebno narediti ustrezno datoteko podatkov o nadmorskih višinah namakalnih polj. V ta namen so bili uporabljeni podatki o reliefu Slovenije, DMR (digitalni model reliefa),ki podajajo povprečno nadmorsko koto za 100*100m2 velike enote površine. Ustrezno formulirana ASCII datoteka DMR je bila najprej vnešena v ARC/INFO GIS program. Z nadaljno ustrezno manipulacijo podatkov je bila narejena datoteka, kjer so bile izvrednotene nadmorske višine za vsak hektar namakalnih površin. Glede na geografski položaj možnih akumulacij in črpališč se je naredila analiza vplivnih območij vsake lokacije ter analiza razpoložljive oziroma potrebne energije za dovod vode do polj.

3.1 Analiza lokacij za akumulacije

Kriterij za analizo akumulacij je bila gravitacijska energija, ki jo (ne)nudi posamezna lokacija pri toku vode do posameznih enot polj. Posredno z analizo akumulacij se lahko oceni tudi primernost posameznih polj glede potrebne energije. Osnovne lastnosti akumulacij so dane v tabeli 1.

tabela 1: Osnovne lastnosti akumuacij

ime akumulacije	nadmorska višina vode minimalna h_{min} (m)	maksimalna h_{max} (m)	koristni volumen V_{kor} (10^6 m^3)
MOČILNIK	283	303.8	2.2
PASJI REP	233	261.7	2.2
HUBELJ	145	173.5	2.2
VRTOVINŠČEK	94	99.5	0.4
LOKAVŠČEK	276	315	2.2
KOSIVEC	136.5	149.8	0.9
MALENŠČEK-KAM.P.	150	157.2	0.39

Pri analizi se je privzelo določene predpostavke. Količina vode, ki se dejansko lahko zbere v akumulacijskem prostoru ni omejitveni faktor. Druga predpostavka je bila, da voda potuje po najkrajši poti. Upošteva se linijske izgube, ki so sicer odvisne od pretoka vode, premera cevi in hrapavosti cevi, ker pa teh elementov ne poznamo, se je privzel nek povprečen koeficient. Izvrednoten je bil glede na realno možne razpone velikosti pretokov ter cevi. Za začetno gravitacijsko energijo, ki jo nudi posamezna akumulacija je bila privzeta spodnja meja koristnega volumna.

Glede na akumulacijske prostore so bile po enačbi 1 izračunane razpoložljive gravitacijske energije za vsako enoto polj (ha). Vsaki enoti se je nato pripisal koeficient pripadnosti akumulaciji, ki nudi največjo gravitacijsko energijo.

enačba 1: $H^{ij} = H^i - H^j - Hizg^{ij}$ .....enote so v metrih

H^{ij} .....razpoložljiva gravitacijska višina do enote polja (j) v razmerju do akumulacije (i)
H^i .....minimalna kota akumulacije (i)
H^j .....nadmorska višina enote polja (j)
$Hizg^{ij}$ ....linijska izguba od akumulacije (i) do enote polja (j)
$Hizg^{ij} = L^{ij} * 0.003$
L^{ij} ....najmanjša razdalja od akumulacije (i) do enote polja (j)

Iz slike 1 je razvidno, da nudita akumulaciji Močilnik in Lokavšček največjo energijo izmed vseh lokacij. Če akumulacijo Lokavšček izključimo, vidimo, da da vsem enotam polj nudi največjo energijo Močilnik, obratno, če izključimo akumulacijo Močilnik, nudi največjo energijo akumulacija Lokavšček. Če izključimo obe, imajo polja največjo razpoložljivo energijo, če jih namakamo iz akumulacije Pasji rep. Kvantitetna razmerja med akumulacijami so prikazana v tabeli 2.

slika 1

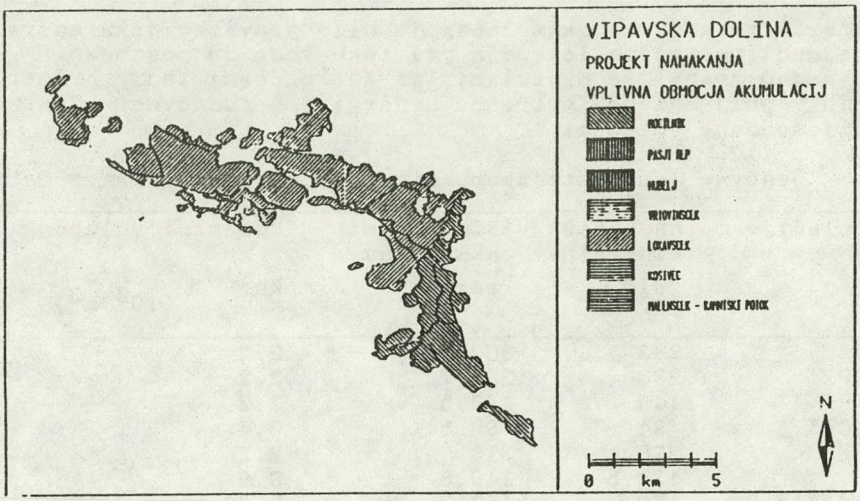


tabela 2: Delež polj z razpoložljivo gravitacijsko energijo

gravitacijska ener.:	akumulacije: MOČILNIK	LOKAVŠČEK	PASJI REP
do 0 m	1%	2%	8%
0 do 50 m	6%	8%	19%
50 do 100 m	25%	22%	54%
100 do 150 m	60%	48%	19%
nad 150 m	8%	20%	0%

Pri tej analizi ,ki je bila možna le s pomočjo GIS-ov, so tako dobljena razmerja dober pokazatelj ustreznosti posameznih lokacij za akumulacije. Poleg te analize so izvrednotena tudi sama namakalna polja. Pri določenih poljih bi bilo tako na primer vedno potrebno dodajati tlačno višino, kakšno je tudi znano. Problemi so seveda predvsem pri obrobnih poljih, zato je smotrno proučiti njihovo ekonomsko vrednost glede na potrebne stroške energije in prihodkov pridelovanja.

3.2 Analiza lokacij za črpališča

Predpostavke pri analizi lokacij črpališč so: črpa se neomejeno količino vode, do polj se voda dovaja po najkrajši poti, linijske izgube so zajete s koeficientom, ki je konstanten (0.3% dolžine). Analizirale so se potrebne višine črpanja vode glede na geografska in reliefna razmerja med črpališči in polji (enačba 2). Izvrednotila so se tudi vplivna območja črpališč.

enačba 2: Potrebna višina črpanja

$$Hpotr^{ij} = H^{j} + Hizg^{ij} - H^{i} + Tpotr^{j} \text{.....metri}$$

j - enota polja, i - enota črpališče

$Hpotr^{ij}$ .....potrebna črpalna energija

H^{j} .....nadmorska višina polja (j)

$Hizg^{ij}$ .....linijske izgube

H^{i} .....nadmorska višina črpališča

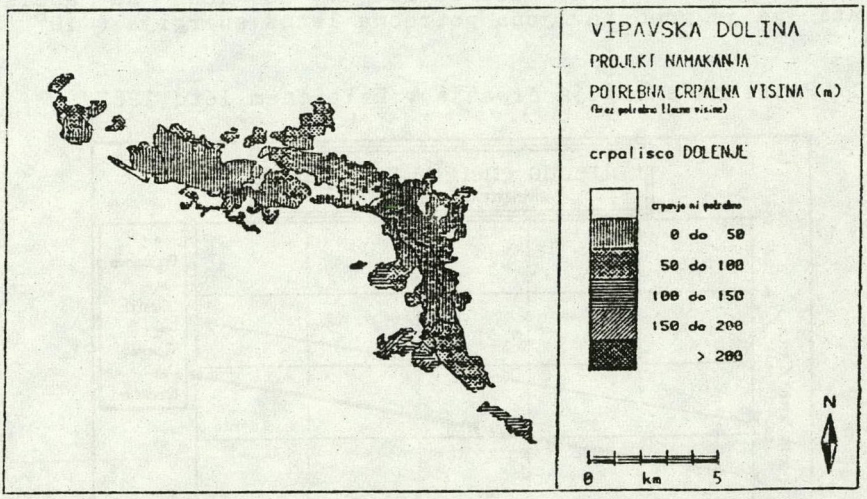
$Tpotr^{j}$ .....potrebna tlačna višina za polje

Analiza vplivnih območij pokaže, da je potrebno dodajati najmanj črpalne višine, če se vodo črpa pri Podnanosu. Če izključimo črpališče Podnanos, je najbolj ekonimično črpati vodo pri Vipavi oziroma Dolenju. V tabeli 3 so razmerja podana tudi kvantitativno, kvalitetna razmerja (koliko za določena polja) pa na sliki 2.

tabela 3 : Delež polj za zagotovljene višine črpanja

	črpališča: VIPAVA			DOLENJE			KASOVLJE			PODNANOS		
	zagotovljena tlačna višina na poljih (m): 0	25	50	0	25	50	0	25	50	0	25	50
višina črpanja(m):	delež polj za višino črpanja (%):											
do 0 m	2	0	0	2	0	0	0	0	0	81	61	33
0 do 50 m	58	34	2	59	33	0	36	9	0	14	30	47
50 do 100 m	30	46	58	28	47	60	44	55	36	4	7	14
100 do 150 m	7	14	30	7	13	29	12	23	44	1	2	4
150 do 200 m	2	7	7	3	6	7	6	8	12	0	1	0
nad 200 m	1	1	3	0	1	4	2	5	8	0	0	0

slika 2



Glede na privzete potrebe po vodi za obdobje 1951 - 1984 so se za karakteristična leta in dva različna proizvodna programa izračunale črpalne višine. Ocena energijskih potreb je bila narejana po enačbi 3 [2]. S pomočjo te metode dobimo tudi karte, kjer so prostorsko opisani vzorci energijskih potreb za vsako polje.

enačba 3: Potrebna energija črpanja za vsak hektar polj

$$E^{ij} = (V^{i} * Hčr^{ij} * 0.0027) / Učr \qquad \ldots < kwh / ha >$$

V^{i} ....količina vode za enoto površine (i)...<m3>

$Hčr^{ij}$....potrebna višina črpanja za enoto polja
(i) glede na črpališče (j) ...< m >
Učr ...učinkovitost črpanja
0.0027..konstanta zaradi skladnosti enot

Če privzamemo količine črpanja za izbrano leto, lahko dobimo potrebno količino energije za obravnavano enoto površine za to leto. Ker so enote površin razdeljene ravno na 1 ha, jih lahko seštejemo in dobimo celotne potrebe po energiji, izražene v <kwh / leto>. Glede na izbrane koeficiente učinkovitosti črpanja in učinkovitosti delovanja namakalnega sistema, lahko izvbršimo račune glede na različne kombinacije obeh in proučimo občutljivost končnega rezultata na te faktorje.Za račun se je privzelo enačbo 4.

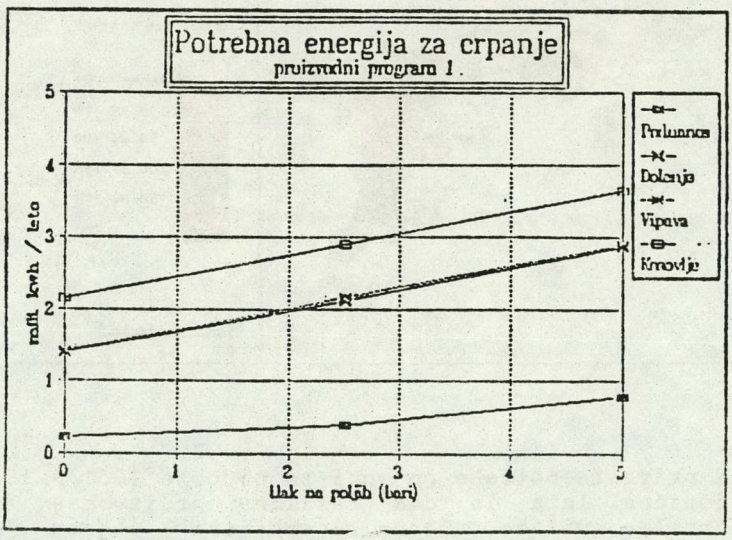
enačba 4: Potrebna energija črpanja za enoto površine v letu

$$E^{leto} = \gamma^{i} * Hčr^{j} * 0.00384 \quad ....< kwh / leto >$$

konstanta 0.00384 velja za Učr = 0.7, Uns = 1.
(Uns..učinkovitost namakalnega sistema)

Račun je bil izveden za dva proizvodna programa ter tri karakteristična leta. V letu 1962 bi bile potrebe po vodi največje, leta 1957 povprečne, v letu 1951 pa bi bile potrebe po vodi najmanjše. Rezultati računa potrebne energije črpanja na nekem črpališču pri proizvodnem programu 1 (predlaganem v osnovnih študijah) v letu 1962 so dani v grafu 1. Zagotovljene tlačne višine na poljih (0,25 ali 50 metrov) so dane na abcisi, na ordinati pa je predstavljena potrebna letna energija (10^6 kwh / leto).

graf 1: Potrebna energija črpanja v kritičnem letu 1962



V tabeli 4 so predstavljeni računi potrebne energije črpanja za vsa tri karakteristična leta, za oba proizvodna programa ter za zagotovljen tlak 25 metrov. V tabeli 5 pa je prikazan končni rezultat, potrebna energija črpanja za enoto volumna vode.

tabela 4: Potrebna energija za črpanje,tlak na poljih 25 metrov

<10^6 KWH / LETO >		DOLENJE	KASOVLJE	VIPAVA	PODNANOS
leto 1951	PR.PROGRAM 1	0.186889	0.202058	0.205512	0.033123
1957	PR.PROGRAM 1	1.026136	1.354510	1.001911	0.191737
1962	PR.PROGRAM 1	2.160309	2.892374	2.103343	0.402294
leto 1951	PR.PROGRAM 2	0.297110	0.309095	0.029094	0.081540
1957	PR.PROGRAM 2	1.488827	1.346418	0.985098	0.196905
1962	PR.PROGRAM 2	1.725334	2.339000	1.657308	0.273355

tabela 5: Potrebna energija črpanja za enoto volumna

povprečno leto 1957, proizvodni program 1
zagotovljeni tlak na poljih 25 metrov

črpališče :		
	PODNANOS	0.074 kwh / leto / m^3
	DOLENJE	0.383 kwh / leto / m^3
	VIPAVA	0.374 kwh / leto / m^3
	KASOVLJE	0.505 kwh / leto / m^3

3.3 Analiza porazdeljevanja vode po sistemu

S pomočjo programa NETWORK sistema v ARC/INFU je bila narejena tudi analiza učinkovitosti predlaganega razvodnega sistema za namakanje zgornje Vipavske doline. Na prikazan način lahko hitro in učinkovito analiziramo zanesljivosti različnih variant, ne da bi bil potreben natančen hidravlični račun.Pri računi se je privzelo, da so vodne količine zagotovljene iz akumulacije Močilnik, upošteva se vse namakalne površine, ki so predlagane, proizvodni program pa je tak kot je predlagan v osnovnih študijah (proizvodni program 1).

Predpostavke računa so tri. Prvič, linijske izgube tlaka so zaobjete v koeficientu. Drugič, vsaki enoti se zagotovi vsa potrebna vodna količina, če to ni mogoče, polje ne dobi nič vode. Potrebe po vodi so privzete iz študije VGI 3 . Analiza, ki je bila narejena za tri začetne količine vode v akumulaciji Močilnik na začetku sezone in za vsa leta v obdobju 1951 - 1984 je pokazala, katera polja ne morejo dobiti vode oziroma procentualno kolikim namakalnim površinam je zagotovljena. Kot primer so dani rezultati računa pri začetnem volumnu vode 2 * 10^6 m^3 in 4 * 10^6 m^3 (tabela 6).

tabela 6:Analiza porazdeljevanja vode po poljih

leto	potrebe ($10^6 m^3$)	%porabljenega volumna vode		%zadovoljenih potreb po vodi		zadovoljene potrebe za: %namakalnih površin		št. enot (vseh 49)	
		ZAČETNI VOLUMEN V				AKUMULACIJI			
<*10^6 m^3>		2	4	2	4	2	4	2	4
1951	0.96	48	23.9	100	100	100	100	49	49
1952	1.49	74.5	37.8	100	100	100	100	49	49
1953	1.62	81	40.4	100	100	100	100	49	49
1954	2.33	94.8	58.3	81.3	100	78.1	100	40	49
1955	0.69	34.5	17.2	100	100	100	100	49	49
1956	1.89	94.5	47.2	100	100	100	100	49	49
1957	2.79	99.6	69.7	71.4	100	68.8	100	42	57
1958	4.21	94.3	99.5	44.9	94.7	31.3	90.6	24	44
1959	2.03	99	50.7	100	100	100	100	49	49
1960	1.77	88.5	44.3	100	100	100	100	49	49
1961	1.31	65.5	32.8	100	100	100	100	49	49
1962	5.43	99.5	99.6	36.7	73.4	32.8	56.3	19	30
1963	4.17	99.4	99.9	47.7	95.8	32.8	90.6	19	44
1964	4.69	98.9	96	42.1	81.9	32.8	78.1	19	40
1965	1.13	56.5	28.4	100	100	100	100	49	49
1966	1.78	89	44.5	100	100	100	100	49	49
1967	3.85	99.3	96.2	51.6	100	51.6	100	27	49
1968	1.78	89	44.6	100	100	100	100	49	49
1969	3.51	99.4	87.8	56.6	100	50	100	26	49
1970	3.25	98	81.2	60.4	100	54.7	100	27	49
1971	4.44	100	99.7	45.1	89.9	34.4	89.1	20	43
1972	1.51	75.5	37.8	100	100	100	100	49	49
1973	4.03	99.4	100	49.4	99.3	43.8	98.4	23	48
1974	3.08	99	77.1	64.3	100	51.6	100	27	49
1975	1.66	83	49.4	100	100	100	100	49	49
1976	3.08	99.7	29.3	64.7	100	59.4	100	31	49
1977	1.98	99	49.4	100	100	100	100	49	49
1978	1.77	88.5	29.3	100	100	100	100	49	49
1979	5.37	97.6	99.7	36.3	74.2	31.3	60.9	18	41
1980	1.23	61.5	30.8	100	100	100	100	49	49
1981	2.05	99.9	51.3	97	100	96.9	100	47	49
1982	3.65	89.2	91.3	55	100	48.1	100	26	49
1983	3.60	89.2	90	54.6	100	53.1	100	28	49
1984	3.10	99	77.4	64	100	54.7	100	29	49

Za vse porazdeljevalne enote polj lahko ugotovimo, v katerih letih je dovolj vode za njihovo namakanje oziroma kolikokrat v obdobju 34 - ih let ostanejo nenamakane. Zanesljivost zagotavljanja vode iz akumulacije Močilnik glede na potrebne vodne količine in glede na velikost namakanih površin je dana v tabeli 7.

tabela 7: Zanesljivost zagotavljanja vode iz akumulacije Močilnik

začetni volumen:	$2 * 10^6 m^3$	$3 * 10^6 m^3$	$4 * 10^6 m^3$
glede na potrebne količine vode:	(%zadovoljenih količin)/34		
	.97	.90	.77
glede na velikost namakalnih površin:	(% namakanih površin)/34		
	.81	.73	.53

4 UPORABA GIS SISTEMOV PRI DELOVANJU NAMAKALNIH SISTEMOV

Geografske informacijske sisteme lahko uspešno vključimo tudi v procese odločanja takrat, ko je sistem že izgrajen. Z ustrezno formirano bazo podatkov najprej izračunamo potrebe po vodi. Pri izbrani lokaciji vodnega vira analiziramo za katera polja je na razpolago dovolj vode. Upravljalec se nato lažje odloči, kako optimalno porazdeliti vodo.

S pomočjo ARC/INFA je narejen osnovni algoritem določevanja namakalnih površin, za katera imamo dovolj vode, če si poljubno izberemo lokacijo črpanja vode iz reke Vipave. Podatkovna baza vsebuje namakalne površine ter potebe po vodi. Izbiramo lokacijo črpanja in pretok vode, namenjen namakanju. Osnovni algoritem lahko razširimo v ekspertni sistem za sprejemanjee tekočih upravljalskih odločitev. Prednosti povezovanja geografskih informacijskih sistemov in komponent ekspertnih sistemov so velike. Uporabi se lahko močno podatkovno bazo, ki jo tudi lahko razširjamo. Stanje v prostoru se prikazuje grafično, uporabnost sistema je enostavna, račun hiter, v sistem pa se lahko vključi veliko intuitivnega znanja.

5 ZAKLJUČEK

Analiza energetskih karakteristik sistema je pokazala, da sta izmed akumulacij najugodnejši dve, Močilnik in Lokavšček. Pri prvi oziroma drugi lokaciji le 8% oziroma le 10% predlaganih namakalnih površin nima dovolj tlačne višine, medtem ko Pasji rep kar 27% površinam ne zagotavlja 50 metrov tlačne višine. Analiza črpališč je pokazala, da je črpališče Podnanos daleč najugodnejše, saj kar 60% površinama zagotavlja 25 metrov tlačne višine. V kritičnem letu bi za zagotavljanje 25 metrov delovnega tlaka na poljih potrebovali 0.4 mil kwh/leto pri črpališču Podnanos, 2.16 mil. kwh/leto pri črpališču Dolenje in 2.10 mil. kwh/leto pri črpališču Vipava.

Vzpostavljanje podatkovne baze geografskih informacijskih sistemov je zahteven in dolgotrajen proces, vendar le enkraten. Ko bo večina prostorskih podatkov Slovenije vnešena v ustrezno digitalno obliko, bo faza priprave podatkov krajša in enostavna. Uporaba GIS-ov bo tako tudi v fazi planiranja in proučevanja variant zelo primerna, predvsem pri tako velikih sistemih kot je namakalni sistem.

LITERATURA

1. Projekt Nova Gorica, 1990. Namakalni sistem Zgornje Vipavske doline.

2. Loveland, T. R.,Johnson, G. E., 1983. The role of remotely sensed and other spatial data predictive modeling: The Umatilla, Oregon example, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 49, No. 8, pp 1183 - 1192.

3. Vodnogospodarski inštitut, 1990. Namakanje Zgornje Vipavske doline.

4. Wallis,J. R.,1988.The GIS/hydrology interface:the present and the future, Environmental Software, Vol. 3, No. 4, pp.171 - 173

Izr.prof.dr. Hinko Šolinc
Univerza v Ljubljani, FAGG, IKPIR

IZRAČUN HIDRODINAMIČNEGA TLAKA IN ADICIJSKE MASNE MATRIKE TEKOČINE Z NEZVEZNIMI LINEARNIMI ROBNIMI ELEMENTI PRI SEIZMIČNI OBTEŽBI

P o v z e t e k

Računalniški program (DYPRE) za računanje hidrodinamičnih potresnih tlakov na omočeni steni konstrukcije in adicijske masne matrike tekočine je bil dopolnjen z novimi podprogrami, ki omogočajo diskretizacijo dvodimenzionalnih tekočinskih območij z nezveznimi linearnimi elementi. V prispevku je predstavljen koncept matematičnega modela in algoritem za izračun osnovnih tekočinskih matrik. Uporabnost metode je prikazana na primeru pravokotnega rezervoarja in dolinske težnostne pregrade, pri katerih poznamo analitični rešitvi za hidrodinamični tlak.

HYDRODYNAMIC PRESSURE AND ADDED MASS MATRIX COMPUTATION WITH DISCONTINUOUS BOUNDARY ELEMENT AT SEISMIC LOAD

S u m m a r y

The computer program (DYPRE) for hydrodynamic seismic pressure on the wetted wall of a structure and added mass matrix computation was completed with new subroutines which enable modelling of two-dimensional fluid regions by discontinuous linear elements. In the paper the concept of the mathematical model and algorithm for the basic liquid matrix calculation is preseted. The method application is shown on the example of rectangular liquid storage tank and the gravity dam, for which the analytic solutions for hydrodynamic pressure exist.

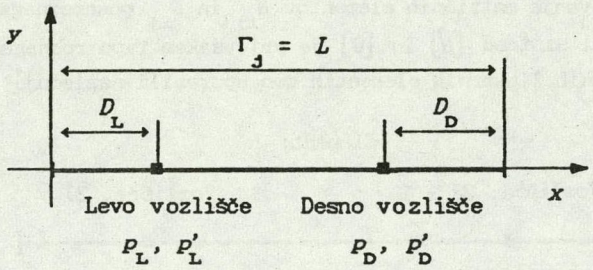
1. UVOD

Z računalniškim programom DYPRE izračunamo količine, ki so potrebne za opis dinamične interakcije med elastično konstrukcijo in tekočino pri vodoravnem, navpičnem ali kombiniranem gibanju tal, z metodo robnih elementov. Linearen robni element, ki ima vozlišči v krajiščih, vnaša v matematični model težavo, ki vpliva na natančnost rezultatov, otežuje vnos podatkov in zakomplicira diskretizacijo. V vozliščih, v katerih se stikata robova območja, na katerih sta predpisana različna robna pogoja, sta istočasno podana dinamični tlak (p) in njegov odvod po zunanji normali ($\delta p/\delta n = p'$), ali dva različna odvoda. Pri nunumerični realizaciji smo tako vedno v zagati, kateri robni pogoj naj upoštevamo. Običajno pridelamo v takšnem vozlišču precej veliko napako, ki se prena-

ša na sosednja vozlišča. Tej nadlogi se izognemo na ta način, da eno vozlišče "po občutku" premaknemo malo proti notranjosti elementa. Te pomanjkljivosti nima nezvezen linearen element, ki ima vozlišči locirani na območju elementa [1, 2]. Pri tem elementu odmik vozlišč upoštevamo s primerno izbranima obli-oblikovnima funkcijama.

2. OSNOVNE ENAČBE MATEMATIČNEGA MODELA

Splošen nezvezen linearen element ima vozlišči oddaljeni od krajišč za D_L in D_D. Pri tem je lahko $D_L = D_D$ ali $D_L \neq D_D$. Po potrebi lahko eno vozlišče premaknemo tudi v krajišče elementa.



Slika 1: Oznake parametrov nezveznega linearnega robnega elementa

Po diskretizaciji roba območja tekočine Γ na N nezveznih linearnih elementov z dolžino Γ_J, dobimo za izvor v vozlišču I naslednjo enačbo [3]:

$$c^I p_I + \sum_{J=1}^{N} \int_{\Gamma_J} p\, \psi'\, d\Gamma = \sum_{J=1}^{N} \int_{\Gamma_J} \psi\, p'\, d\Gamma \qquad (1)$$

kjer je:

p : dinamični tlak
p' : odvod dinamičnega tlaka po zunanji normali
ψ : fundamentalna rešitev
c^I : konstanta
I : vozlišče, v katerem se nahaja enotni tekočinski izvor
J : tekoči robni element

za $2N$ vozlišč pa matrično enačbo

$$[H]\ \{p\} = [G]\ \{p'\} \qquad (2)$$

iz katere lahko izračunamo dinamični tlak na željenih mestih.

Potek dinamičnega tlaka in njegovega odvoda na območju J-tega robnega elementa

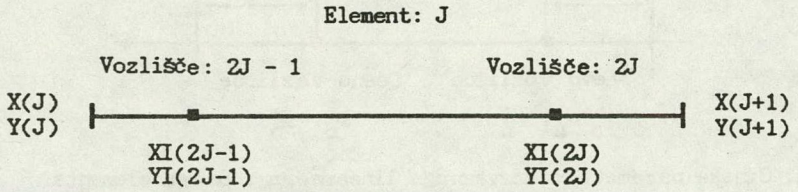
$$(p)_J = [N_L,\ N_D]\begin{Bmatrix} p_L \\ p_D \end{Bmatrix}_J \quad , \quad (p')_J = [N_L,\ N_D]\begin{Bmatrix} p'_L \\ p'_D \end{Bmatrix}_J \qquad (3)$$

aproksimiramo z linearnima oblikovnima funkcijama N_L in N_D, v katerih je upoštevan zamik vozlišč ($\delta_L = 2D_L/L$, $\delta_D = 2D_D/L$)

$$\begin{aligned} N_L &= (1 - \delta_D - \xi)/(2 - \delta_L - \delta_D) \\ N_D &= (1 - \delta_L + \xi)/(2 - \delta_L - \delta_D) \end{aligned} \qquad (4)$$

3. ALGORITEM ZA IZRAČUN TEKOČINSKIH MATRIK

Postopek združevanja matričnih elementov H_{ij} in G_{ij} posameznega elementa v tekočinski matriki sistema $[H]$ in $[G]$ je pri vsakem tipu robnega elementa drugačen. Pri nezveznih linearnih elementih smo uporabili naslednji algoritem:



Slika 2: Oznake koordinat krajišč in vozlišč elementa J

a) Izvor I ne leži na elementu J

$$\begin{aligned} H1 &= \int_{\Gamma_J} \psi'_I\, N_L\, d\Gamma \quad \longrightarrow \quad H(I,\ 2J - 1) \\ H2 &= \int_{\Gamma_J} \psi'_I\, N_D\, d\Gamma \quad \longrightarrow \quad H(I,\ 2J) \\ G1 &= \int_{\Gamma_J} \psi_I\, N_L\, d\Gamma \quad \longrightarrow \quad G(I,\ 2J - 1) \\ G2 &= \int_{\Gamma_J} \psi_I\, N_D\, d\Gamma \quad \longrightarrow \quad G(I,\ 2J) \end{aligned} \qquad (5)$$

Matrične elemente H1, H2, G1 in G2 računamo numerično s pomočjo Gaussove integracijske formule.

b) Izvor I leži v levem vozlišču 2J - 1

$$H1 = 1/2 \longrightarrow H(2J - 1,\ 2J - 1)\ ,\ H2 = 0 \longrightarrow H(2J - 1,\ 2J)$$

$$G1 = \int_{\Gamma_J} \psi_{2J-1} N_L \, d\Gamma \longrightarrow G(2J-1, 2J-1) \qquad (6)$$

$$G2 = \int_{\Gamma_J} \psi_{2J-1} N_D \, d\Gamma \longrightarrow G(2J-1, 2J)$$

c) **Izvor I leži v desnem vozlišču 2J**

$$H1 = 0 \longrightarrow H(2J, 2J-1), \quad H2 = 1/2 \longrightarrow H(2J, 2J)$$

$$G1 = \int_{\Gamma_J} \psi_{2J} N_L \, d\Gamma \longrightarrow G(2J, 2J-1) \qquad (7)$$

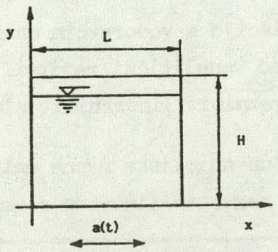
$$G2 = \int_{\Gamma_J} \psi_{2J} N_D \, d\Gamma \longrightarrow G(2J, 2J)$$

Matrična elementa G1 in G2, ki imata singularna integrala, sta izračunana analitično. Pri izračunu adicijske masne matrike združujemo matrične elemente na enak način, le da odvod dinamičnega tlaka izrazimo z relativnimi pospeški omočenih vozlišč končnih elementov konstrukcije [4].

4. NUMERIČNA PRIMERA

Natančnost metode je bila ocenjena na osnovi analize vsiljenega nihanja pravokotnega rezervoarja in dolinske pregrade pri vodoravnem gibanju tal. Za vzbujevalni pospešek smo vzeli pospešek EL CENTRO (1940).

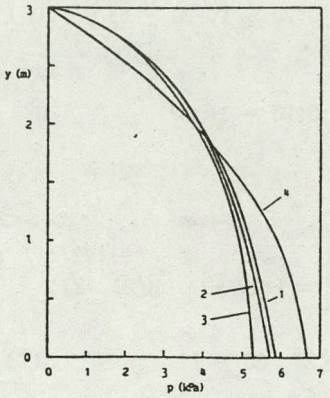
1. PRIMER: Pravokoten rezervoar



L = 4,0 m : dolžina
$\check{S}$ = 4,0 m : širina
H = 3,0 m : globina vode
$a(t)$: pospešek

Slika 3: Geometrija rezervoarja

Dinamični tlak na steni rezervoarja, izračunan s programom DYPRE, je prikazan na sliki 4. Odstopanja od analitično dobljenih rezultatov so največja ob dnu rezervoarja. Za primerjavo je narisan tudi dinamični tlak, izračunan s pomočjo Housnerjeve aproksimativne formule.

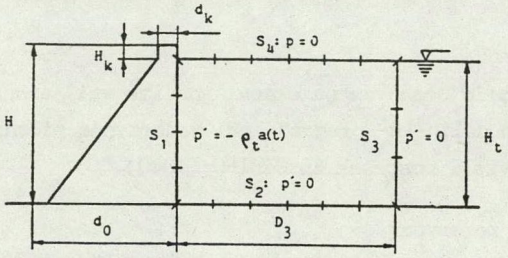


1: analitična rešitev
2: MRE - nezvezen lin. element
3: MRE - konstanten element
4: Housner

Slika 4: Porazdelitev maksimalnih dinamičnih tlakov po višini rezervoarja

2. PRIMER: Težnostna pregrada

Za analize je bila uporabljena pregrada z naslednjimi parametri: H = 104 m, H_t = 100 m, H_k = 5 m, d_k = 4 m , d_o = 80 m, ρ = 2,5 kg/dm^3, $E = 3{,}45.10^{10}$ N/m^2, ν = 0,17.



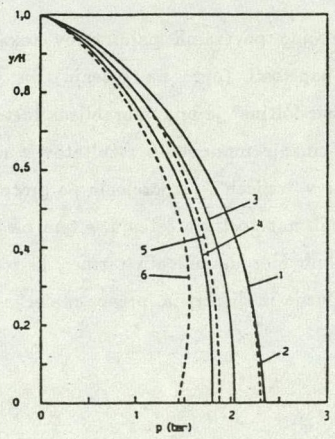
Slika 5

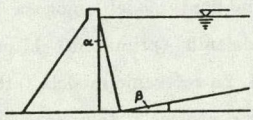
Za pregrado z navpično vzvodno steno in akumulacijo z vodoravnim dnom za dinamični tlak in adicijsko masno matriko poznamo analitični rešitvi. Dinamični tlak, narisan je na sliki 6, izračunan z nezveznimi linearnimi elementi, se

TABELA 1: Vpliv razdalje D_3 in metode za izračun adicijske masne matrike na lastno frekvenco pregrade (MRE - nezvezen linearen element)

Nih. oblika	Lastna frekvenca (Hz)			
	ANAL.	MRE (D_3=H)	MRE (D_3=2H)	MRE (D_3=3H)
1	7,33	7,25	7,31	7,31
2	18,49	18,39	18,41	18,42
3	30,21	30,02	30,08	30,12
4	42,06	41,80	41,86	41,90
5	54,31	53,94	53,96	53,96

zelo dobro ujema z analitičnimi vrednostmi.Na sliki so prikazani tudi dinamični tlaki na pregradi, ki nima navpične vzvodne stene in vodoravnega dna zajezitve. Natančnost izračuna adicijske masne matrike tekočine je bila preverjena z analizo lastnega nihanja pregrade. Lastne frekvence pregrade, izračunane na osnovi analitično dobljene adicijske masne matrike, smatramo za točne. Pri diskretizaciji akumulacije je potrebno na neki razdalji od pregrade postaviti fiktiven rob S_3. Ker pa je prisevek posameznega robnega elementa k dinamičnemu tlaku v dani točki pregrade obratno sorazmeren z razdaljo, dobimo dovolj natančne rezultate, če diskretizacijo zaključimo na razdalji $2H$ od pregrade.





1: analitična rešitev
2: MRE - nezvezen lin. element
3: $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 0$
4: $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 0$
5: $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 5^\circ$
6: $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 10^\circ$

Slika 6: Porazdelitev maksimalnih dinamičnih tlakov po višini pregrade

5. ZAKLJUČEK

Metoda robnih elementov predstavlja učinkovit pripomoček za opis dinamične interakcije med konstrukcijo in tekočino. Nezvezen linearen element sicer ne daje bistveno boljših rezultatov kot linearen element, omogoča pa enostavnejše modeliranje tudi večkrat sovisnih območij s kompliciranimi robnimi pogoji.

6. LITERATURA

1. Patterson, C., Sheikh, M., Interelement Continuity in the Boundary Element Method, Topics in Boundary Element Research, Springer-Verlag, 1984
2. Yan, G., Lin, F.B., Treatment of Corner Node Problems in Boundary Element Method, Proc. of 11th Int. Conf. on Boundary Element Methods, Vol.2: Field and Fluid Flow Solutions, Springer-Verlag, 1989
3. Brebbia, C. A., Telles, J.C.F., Wrobel L.C., Boudary Element Techniques, Spinger-Verlag, 1984
4. Šolinc, H., Aproksimativna metoda za izračun adicijske masne matrike, Zbor. 5. kongr. Zveze društev za seizm. gradb. Jugoslavije, Bled, 1990

doc.dr.-ing. Franci Steinman
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
Odsek za hidrotehniko
Laboratorij za mehaniko tekočin
Hajdrihova 28, Ljubljana

STRUKTURA TOKA V ODPRTIH VODOTOKIH

POVZETEK

Predstavljeni matematični model omogoča izračun medsebojno povezanih parametrov toka v odprtih vodotokih, t.j. vzdolžnih (primarnih) hitrosti, strižnih napetosti (npr. na ostenju) in porazdelitve sekundarnih hitrosti. Za reševanje modela turbulence "mešalne dolžine" je bila uporabljena metoda končnih razlik. Za vse glavne procese v toku je doseženo dobro ujemanje numeričnih rezultatov z meritvami v laboratoriju oz. na terenu. Rezultati kažejo zaključene tokove v "celicah", razporejenih po prečnem prerezu, porazdelitev strigov v prečnem prerezu in porazdelitev strižnih napetosti po ostenju, s tem pa tudi nastale vlečne sile. Model omogoča praktične analize 3-dimenzionalnih hidrodinamičnih razmer, ki so osnova (in gonilo) za ostale procese v odprtih vodotokih, kot so npr. difuzija in disperzija, prenos materije oz. toplote, preoblikovanje ostenja ipd.

OPEN CHANNELS FLOW STRUCTURE

ABSTRACT:

A mathematical model is presented which is capable of simulating interactions among the primary flow velocity, shear stress, and secondary flow velocity distributions in open channels. A finite-difference calculation procedure with a "mix length" turbulence model is used. Agreement betwen numerical results and experimental (both laboratory and field) data is judged to be satisfactory in all major flow phenomena. The present model shows stacked-up "cells" of secondary flow, formed side by side across the channel width and calculates secondary currents, shear stress distribution, and spatial distribution of boundary shear. It is designed to facilitate practical applications in studying various processes in open channels, such as diffusion and dispersion, sediment and heat transport, or changes in bed topography, which require 3-D modelling.

1.0 UVOD

Tok v odprtih koritih je, ne glede na geometrijo prečnega prereza, tridimenzionalen (3-D). Celovito obravnavanje 3-D toka na nekem rečnem odseku je zelo zahtevno, zato smo se odločili, da z nekaterimi poenostavitvami izvrednotimo 3-D parametre toka v dveh korakih. Najprej obravnavamo odsek vodotoka v smeri glavnega toka (račun primarnih hitrosti iz 1-D oziroma 2-D računa gladin), nato pa obravnavamo dogajanje v posameznih prečnih prerezih (račun sekundarnih tokov). S poenostavitvijo 3-D toka na obravnavo 2-D razmer lahko namreč obravnavamo tri primere:

a) tloris rečnega odseka (ravnina X-Z) : globina h in povprečna hitrost po globini sta v posamezni vzdolžni lameli konstantni, dogajanje po globini zanemarimo

b) vertikalna vzdolžna ravnina (ravnina X-Y) : obravnavamo vertikalno cirkulacijo (npr. sedimentacija v zajetjih) v vertikalni lameli izbrane širine - prečni raznos zanemarimo.

c) vertikalni prečni prerez (ravnina Y-Z) : obravnavamo prečno cirkulacijo po prerezu, pri čemer predpostavimo, da razmere v vzdolžni smeri poznamo.

Obravnavamo le drugi korak k prehodu na obravnavanje celovitega 3-D toka v odprtih koritih, torej razmere iz tč. c). Za analizo dogajanja moramo poznati (izmeriti, izračunati) dogajanje v vzdolžni smeri - torej izotahe primarnih hitrosti. To področje je v znatni meri že obdelano [4, 13], zato predstavlja podano delo nadgradnjo na obstoječe 1-D oz. 2-D matematične modele za račun gladin v vzdolžni smeri (iz tč. a)).

Podane so razmere za stalni, enakomerni tok. Iz znane porazdelitve primarnih lokalnih hitrosti določimo, s pomočjo modela turbulence (t.i. "model mešalne dolžine"), porazdelitev strižnih napetosti po prerezu, in od le-te odvisne porazdelitve prečnih (sekundarnih) tokov. Tako določene sekundarne hitrosti omogočajo vpogled v dogajanje v prečnem prerezu : razporeditev celic sekundarne cirkulacije, prerazporeditev strižnih napetosti na ostenju, ipd. Skupaj z (osnovnimi) primarnimi hitrostmi dobimo parametre 3-D strukture toka v odprtih vodotokih.

2.0 TEORETIČNE OSNOVE

Matematični model sekundarnih tokov temelji na vzpostavitvi ortogonalnega krivočrtnega koordinatnega sistema (Slika 1.), kjer upoštevamo kot eno družino koordinatnih krivulj konstruirane izotahe primarnih hitrosti, kot drugo pa družino ortogonalnih trajektorij. Osnovni problem pri detajlnejšem obravnavanju razmer v vodotoku je torej, kako vrednosti v diskretnih točkah ekstrapolirati oz./in interpolirati na celoten prečni prerez vodotoka, posebej še na območje ob ostenju.

Po daljšem testiranju in obravnavanju lastnosti različnih funkcij, smo za nadalnje delo izbrali interpolacijsko SPLINE funkcijo tretjega reda (ti. kubični spline), dopolnjeno s posebnim nastavkom, s katero določimo vrednosti primarnih hitrosti po celem prerezu - gladko opno nad prečnim prerezom.

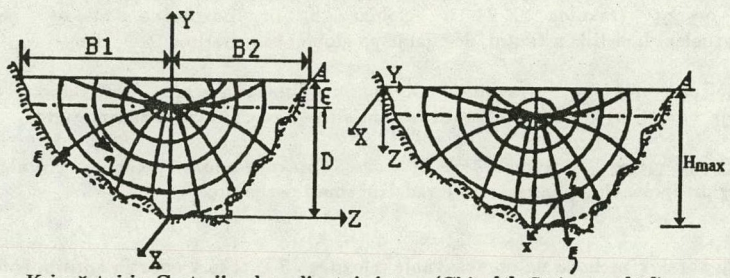
Poleg osnovnega Cartesijevega koordinatnega sistema (x,y,z) potrebujemo še krivočrtni koordinatni sistem: vzdolžna os (x) ostane ista (2-D model), ostali sta pravokotno na smer izotah (ξ) oz. v smeri tangente na izotahe (η).

Zaradi izbire krivočrtnega koordinatnega sistema lahko v vsaki točki numerične mreže izvrednotimo prve in druge odvode primarne hitrosti po horizontalni in vertikalni smeri:

$$\frac{\partial v_x(i,j)}{\partial y} \quad , \quad \frac{\partial v_x(i,j)}{\partial z} \quad , \quad \frac{\partial^2 v_x(i,j)}{\partial y^2} \quad , \quad \frac{\partial^2 v_x(i,j)}{\partial z^2} \quad , \ldots$$

ter odvode v izračunanih krivočrtnih smereh ($\vec{\xi}$, $\vec{\eta}$)

$$\frac{\partial v_x(i,j)}{\partial \xi} \quad , \quad \frac{\partial^2 v_x(i,j)}{\partial \xi^2} \quad , \quad \frac{\partial \tau_{x\xi}(i,j)}{\partial \xi} \ldots$$



Slika 1. Krivočrtni in Cartesijev koordinatni sistem (Chiu [4], Steinman [15])
(izotahe in njihove ortogonalne trajektorije ξ , η)

Za primer počasi spreminjajočega se toka, kjer smemo privzeti hidrostatično porazdelitev tlakov lahko gibalno enačbo za smer ξ zapišemo takole:

$$h_\xi \left\{ \rho\left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_\xi \cdot \frac{1}{h_\xi} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial \xi}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(p+\rho g H) - \frac{\partial \sigma_x'}{\partial x} \right\} = \frac{\partial \tau_{\xi x}}{\partial \xi} + \frac{1}{h_\eta} \cdot \frac{\partial h_\eta}{\partial \xi} \cdot \tau_{\xi x}$$

kjer pomenijo:

v_x , v_ξ , v_η	...	primarna hitrost oz. komponenti sekundarnega toka
p	...	hidrostatični tlak na enoto površine
$\tau_{\xi x}$	...	strižne napetosti v smeri x v ravnini z normalo ξ
σ_x'	...	normalna napetost (brez p) v x-smeri - običajno jo lahko v primerjavi z ostalimi členi zanemarimo.

Za izračun diferencialne enačbe moramo torej poznati porazdelitev strižnih napetosti. Gibalno enačbo lahko zapišemo tudi tako, da izraža strižne napetosti:

$$\frac{\partial \tau_{\xi x}}{\partial \xi} + \frac{1}{h_\eta} \cdot \frac{\partial h_\eta}{\partial \xi} \cdot \tau_{\xi x} = h_\xi \cdot F \ ,$$

kjer je:

$$F = \rho \cdot \left\{ \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_\xi \cdot \frac{1}{h_\xi} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial \xi} \right\} + \frac{\partial}{\partial x}(p+\rho g H) - \frac{\partial \sigma' x}{\partial x}$$

Rešitev take diferencialne enačbe gibanja je:

$$\tau_{\xi x}(\xi,\eta) = \frac{-1}{h_\eta} \cdot \int_{\xi}^{\xi_{max}(\eta)} h_\xi \cdot h_\eta \cdot F \cdot d\xi$$

pri čemer za stalni enakomerni tok dobimo obliko:

$$\tau_{\xi x}(\xi,\eta) = \frac{1}{h_\eta} \cdot \left\{ \rho \cdot g \cdot I_o \cdot \int_{\xi}^{\xi_{max}(\eta)} h_\xi \cdot h_\eta \cdot d\xi - \rho \cdot \int_{\xi}^{\xi_{max}(\eta)} h_\eta \cdot v_\xi \cdot \frac{\partial v_x}{\partial \xi} \cdot d\xi \right\}$$

Prvi integral zajema vpliv težnosti, drugi integral pa vpliv sekundarnih tokov. Vidimo torej, da so sekundarni tokovi in strižne napetosti tako medsebojno povezani, da potrebujemo dodatne enačbe ti."modele turbulence". Pri našem delu smo sprva uporabljali Prandtlov [17] izraz, kasneje pa izraz van Driesta [9]:

$$\tau_{turb} = \left[\mu + \rho \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \right] \cdot \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)$$

ki upošteva z izrazom za mešalno dolžino tudi razmere na ostenju:

$$l = k \cdot y \cdot \left[1 - \exp\left(1 - \frac{y \cdot \sqrt{\tau_{stena}/\rho}}{\rho \cdot g \cdot I_o} \right) \right]$$

Potek strižnih napetosti na ostenju izrazimo po Manningu [13]:

$$\tau_{sx:stena} = \rho \cdot g \cdot h \cdot n_g^2 \cdot \frac{v_{x:stena} \cdot \sqrt{v_{x:stena}^2 + v_{s:stena}^2}}{h^{4/3}}$$

Iz meritev hitrosti v neposredni bližini ostenja in privzetega logaritemskega poteka hitrosti od najbližje merske točke do ostenja izvrednotimo velikost vzdolžne hitrosti ob steni ($v_{x:stene}$) in iz nje strižno napetost na ostenju. Podajamo tipično enačbo, povzeto po Knightu [11]:

$$v_{x:stene} = \sqrt{\frac{\tau_{sx:stene}}{\rho}} = \frac{v_1 - v_2}{5.75 \cdot \log\left(\frac{y_1}{y_2}\right)}$$

kjer pomenijo:
v_1 , v_2 .... izmerjene hitrosti na razdaljah y_1 oz. y_2 od ostenja.

Kontinuitetno enačbo zapišemo z izrazom za divergenco v krivočrtnih koordinatah in upoštevamo vse prednosti, ki jih prinaša izbira krivočrtnega koordinatnega sistema (odvode, konstantosti, ipd.). Dobimo:

$$h_\xi \cdot h_\eta \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial \xi}(h_\eta \cdot v_\xi) + \frac{\partial}{\partial \eta}(h_\xi \cdot v_\eta) = 0$$

Z izračunano prvo komponento hitrosti v_ξ, lahko iz zgornje enačbe izrazimo še drugo komponento sekundarnega toka v_η:

$$v_\eta = v_{\eta *} - \frac{1}{h_\xi} \int_{\eta *}^{\eta} \left\{ h_\xi \cdot h_\eta \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial \xi}(h_\eta \cdot v_\xi) \right\} d\eta .$$

Pri tem predstavlja člen $v_{\eta *}$ razmere (vrednost v_η) na ostenju, integriranje pa poteka vzdolž krivočrtne koordinatne osi (krivulje η) od ostenja ($\eta = \eta_*$), do točke s koordinato η , v kateri računamo neznano komponento hitrosti v_η .

3.0 PRIMERJALNA BAZA PODATKOV

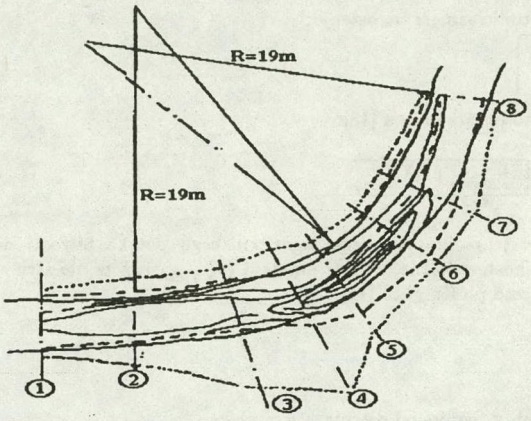
Za verifikacijo rezultatov matematičnega modela smo uporabili lastne eksperimentalne rezultate in tiste objave v literaturi, kjer smo našli zadosten obseg podanih eksperimentalnih rezultatov.

3.1 Meritve na modelih v laboratoriju za mehaniko tekočin

Meritve, ki smo jih potrebovali za izdelavo in verifikacijo matematičnega modela, smo opravili na dveh modelih v LMTe z uporabo 2-D elektromagnetne sonde (ECM) za meritev lokalnih hitrosti. Na prvem modelu smo zasledovali dogajanje v pravokotnem koritu v polkrožni krivini, postavljeni med dva ravna odseka. Drugi model je bil zgrajen v okviru magistrske naloge (Avšič, Juvan [2]). Obsega ravni odsek trapeznega korita z vgrajeno nizko stopnjo (pragom) in podslapjem.

3.2 Podatki iz literature

Za primerjavo rezultatov matematičnega modela smo iz literature povzeli podatke po Chiu [5,6] za model trapeznega korita v krivini in po Anwar-u za tok v rečni krivini. Na Sliki 2. so podani oblika dna v krivini ter merski prerezi, kjer so bile opravljene meritve z mersko sondo ECM d=50mm.

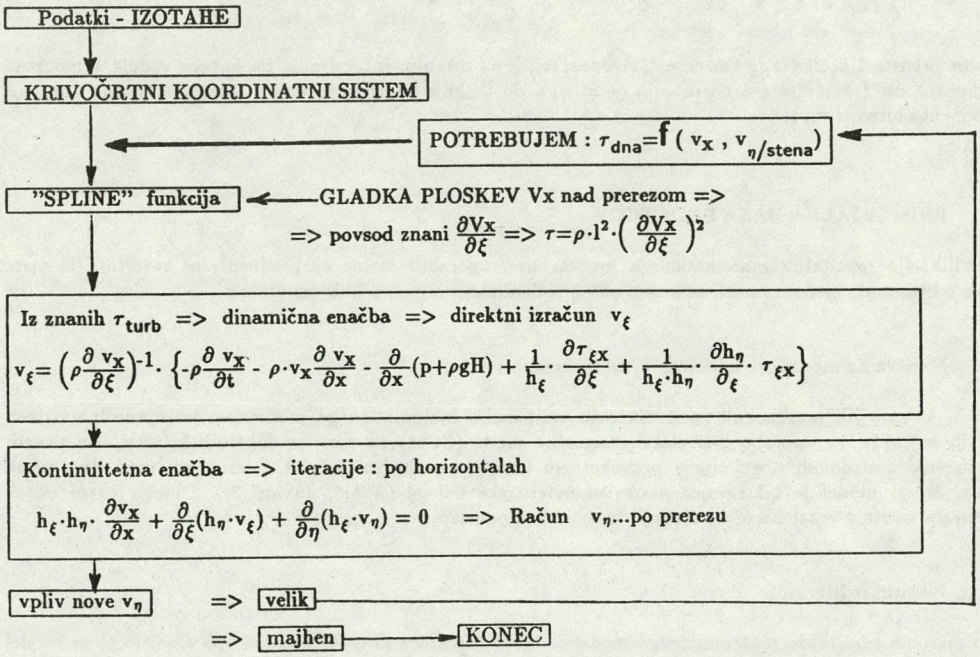


Slika 2. Situacija krivine in prečna prereza (Anwar)

4.0 MATEMATIČNO MODELIRANJE

4.1 Shema modela

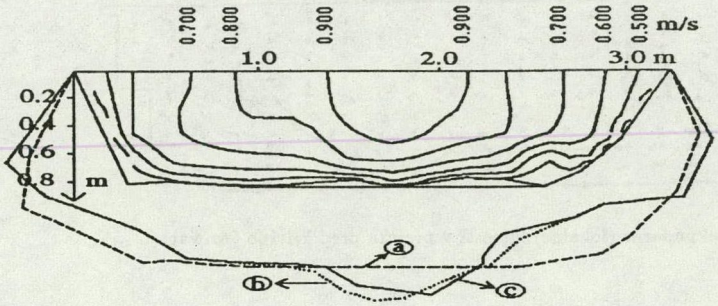
Podajamo le prikaz poteka dela v matematičnem modelu, kjer so zajete enačbe in predpostavke, navedene v dosedanjih poglavjih (glej Sliko 3.).



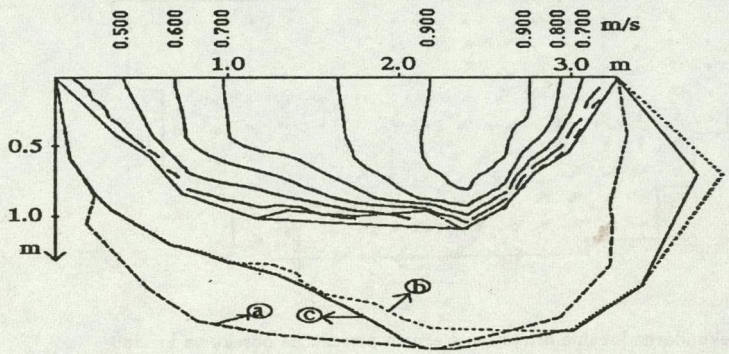
Slika 3.: Diagram poteka matematičnega modela

4.2 Rezultati modeliranja

Predstavljeni model daje dva uporabna rezulata: predstavitev sekundarnih tokov po celotni širini kanal in porazdelitev strižnih napetosti po celotnem obodu. Sliki 4 in 5 nam prikazujeta izmerjene primarne hitrosti v dveh prečnih prerezih, povzetih po Anwarju in uporabljene za naše izračune.



Slika 4.: Izmerjena porazdelitev izotah (Anwar) in izračunana porazdelitev strižnih napetosti po ostenju (Steinman) - prerez 2



Slika 5.: Izmerjena porazdelitev izotah (Anwar) in izračunana porazdelitev strižnih napetosti po ostenju (Steinman) - prerez 8

Na ostenje profilov smo dodali še izračunane porazdelitve strižnih napetosti po obodu za naslednje primere:

a) izračun porazdelitve upošteva le razmerje lokalne in povprečne globine (y/h_o):

$$\tau_{stena} = \tau_o * f_1 (y / h_o)$$

b) izračun upošteva porazdelitev primarnih hitrosti $(v_{x:stena})$:

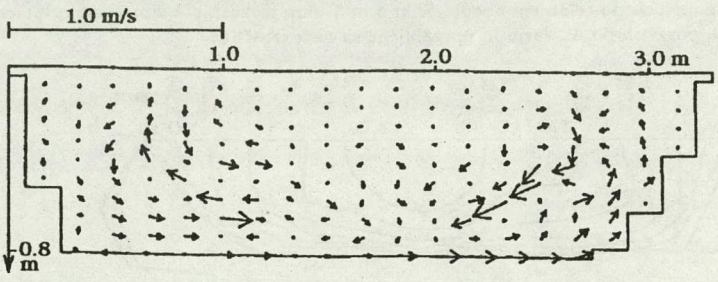
$$\tau_{stena} = \tau_o * f_2 (v_{x:stena})$$

c) Izračun upošteva dejanske lokalne hitrosti toka $(v_{x:stena}$, $v_{s:stena})$ ob ostenju:

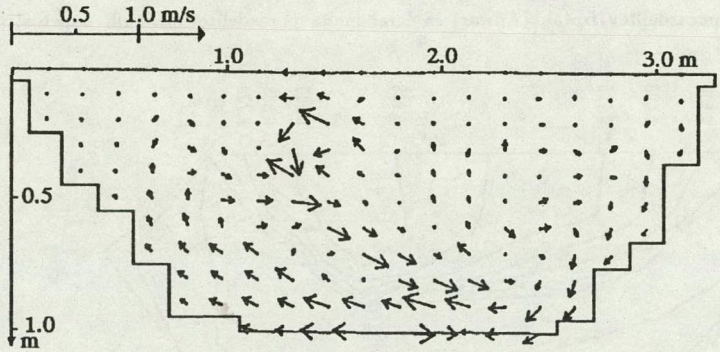
$$\tau_{stena} = \tau_o * f_3 (\vec{v})_{stena}$$

Matematični model pokaže prerazporeditve zaradi različnih jakosti sekundarnih hitrosti (tokov) v bližini ostenja. Na ravnem odseku pred krivino (Slika 5.) nam rezultati kažejo, da se pojavijo le manjše

prerazporeditve, razmere takoj za krivino pa pokažejo (pričakovano) večje strižne napetosti na konkavni brežini in manjše na konveksni brežini. Celice sekundarnih tokov na ravninskem delu (Slika 6.) so med seboj ločene, kar dokazuje, da v tem primeru ne more biti izrazitega prečnega prenosa.



Slika 6.: Izračunane sekundarne (lokalne) hitrosti v prerezu pred krivino (Anwar)



Slika 7.: Izračunane sekundarne lokalne hitrosti v prečnem prerezu na odseku za krivino

V prerezu za krivino (Slika 7.) lahko vidimo, da obstaja intenzivno premešanje po celem prečnem prerezu, material se zajema na konkavni brežini in odlaga na notranji.

5.0 ZAKLJUČEK

Ujemanje numeričnih in eksperimentalnih podatkov je dobro, nekoliko večja odstopanja se kažejo le v neposredni bližini gladine. Torej bo potrebno v nadaljnem delu van Driestov izraz, ki smo ga v modelu uporabili, še nekoliko modificirati. Matematični model daje hidrodinamične 3-D razmere, ki so podlaga za kvalitativne in kvanitativne analize različnih procesov v odprtih vodotokih.

6.0 LITERATURA

6.1 Revije:

1. Anwar H.O. - Turbulent Structure in a River Bend, PASCE, JHE 8 657 -669 (1986)
2. Avšič F., Juvan S. - Low Head Drop Structure, M.Sc. themes, Ljubljana (1989, 1990)
3. Bathurst J.C., Thorne C.R., Hey R.D. - Secondary Flow and Shear Stress at River Bends, PASCE, JHE 10 1277 - 1295 (1979)
4. Chiu, C.-L., Hsiung, D.E., and Lin, H. - Three-Dimensional Open Channel Flow, PASCE, JHE 8 1119-1136 (1978)
5. Chiu, C.L., G.F. Lin - Computation of 3-D Flow and Shear in Open Channels, PASCE, JHE 11 1424-1440 (1983)
6. Chiu, C.L. - Structure of 3-D Flow in Rectangular Open Channels, PASCE, JHE 11 1050-1068 (1986)
7. Chiu, C.L. - Velocity Distribution in Open Channel Flow, PASCE, JHE 5 576-594 (1989)
8. Četina M. - Two-dimensional mathematical modelling, M.Sc. theme, Ljubljana (1988)
9. Driest van E.R. - On the Turbulent Flow Near the Wall, Journal of Aero. Sci. 23 (1956)
10. Keulegan G.H. -Laws of Turbulent Flow in Open Channels, Journal of Research 21 (1938)
11. Knight D.W., Patel H.S. - Boundary Shear in Smooth Rectangular Ducts, PASCE, JHE 1 (1985)
12. Koutitas C., O'Connor - Turbulence Model for Flow over Dredged Channels, PASCE, JHE 8 (1981)
13. Končar B. - Open Channel Flow Dynamics, B.Sc. theme, Ljubljana (1990)
14. Rajar R., Četina M. - Influence of Linearisation and of Vertical Distribution of Turbulent Viscosity Coefficient on 3-D Simulation of Currents, International Symposium on Computational Modelling and Experimental Methods in Hydraulics, Dubrovnik (1989)
15. Steinman F., "Secondary flow in open-channels", Researching project RSS, Ljubljana (1988,1989,1990)
16. Steinman F., "Secondary flow in open-channels", 7th International Conference on Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow, July 1991, Stanford, USA

6.1 Knjige:

17. Prandtl L. - Essentials of Fluid Dynamics, 1st ed., Blackie, London, England (1952)
18. Spath H. - Spline-Algorithmen zur Konstruktion glatter Kurven und Flachen, R. Oldenburg Verlag (1978)

mag. Matjaž Četina, dipl.ing.gradb.
FAGG, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, LMTe, Hajdrihova 28, Ljubljana

RAČUNALNIŠKA SIMULACIJA DVODIMENZIONALNEGA TOKA V OŽINI DROBOČNIK NA REKI SOČI

Povzetek

Ob poplavah v Sloveniji 1. in 2. novembra 1990 je prišlo do poškodbe železniškega nasipa na levem bregu Soče tik nizvodno od ožine Drobočnik. Najugodnejšo varianto zaščite levega brega smo iskali s pomočjo računalniške simulacije toka v ožini. Uporabili smo dvodimenzionalni matematični model, ki temelji na kontinuitetni in dinamičnih enačbah globinsko povprečnega toka. Njihovo reševanje poteka numerično z metodo kontrolnih volumnov kot variante končnih razlik, računalniški program TEACH pa je prirejen za uporabo na osebnih računalnikih. Rezultati simulacije so pokazali, da bi trajnejšo zaščito izpostavljenega levega brega Soče na obravnavanem odseku dosegli z radikalnejšo odstranitvijo skalnega masiva na desnem bregu tik nizvodno od ožine.

COMPUTER SIMULATION OF TWO-DIMENSIONAL FLOW AT THE DROBOČNIK NARROW OF THE SOČA RIVER

Summary

The left bank of the Soča River just downstream of the Drobočnik narrow was damaged by floods on the 1st and 2nd of November 1990. The most convenient way to protect the damaged place was investigated by the computer flow simulation in the narrow. Two-dimensional mathematical model is based on depth-averaged continuity and momentum equations which are solved by a control volume based finite-difference method. The TEACH computer program runs on personal computers. The results of simulation showed that the left bank could be successfully protected by mining the rocks on the right bank just downstream of the Drobočnik narrow.

1.0 UVOD

V Sloveniji so bile 1. in 2. novembra 1990 obsežne poplave, ki so povzročile veliko škode na naših vodotokih. Med drugim je bil močno poškodovan tudi odsek reke Soče v akumulacijskem bazenu HE Doblar v bližini železniškega predora Drobočnik. Na levem bregu tik nizvodno od ožine je prišlo do poškodbe železniškega nasipa, tako da je bil nekaj časa ustavljen celo promet na progi Jesenice-Nova Gorica. V naslednjih dneh je bil bazen HE Doblar izpraznjen in pristopilo se je k sanaciji železniškega nasipa, ki je bila v začetku leta 1991 tudi končana. Obnovljena je bila kamnita obloga nasipa, temeljenje pa izvedeno s t.im. "jet grounding" postopkom z uporabo pilotov. Z izvedenimi ukrepi pa je bilo stanje le sanirano in niso bili odstranjeni vzroki poškodb. Ti ležijo v hidravlični konfiguraciji toka, saj se curek tik nizvodno od ožine usmeri proti levemu bregu. Dolgoročna in trajna rešitev problema je zato v preusmeritvi curka. Tok v področju ožine smo simulirali s pomočjo matematičnega modela, ki naj bi dal odgovore predvsem na naslednja vprašanja:

1. Ali doslej že izvedena odstrelitev manjšega dela desnoobrežnega nosu tik nizvodno od ožine preusmeri matico toka tako, da doseže levi breg ca $400\,m$ nizvodneje, ko se že pojavi skalna osnova na brežini?

2. Če zgornji ukrep ne zadostuje, kateri dodatni ukrepi so za zagotovitev željenega cilja še potrebni (obsežnejša odstranitev skalnega masiva na desnem bregu, podaljšek nosu Drobočnika, dodatno zavarovanje levega brega in podobno).

3. Ker prihaja v ožini do velikih lokalnih izgub, bi naj račun pokazal, kako se izgube manjšajo s širitvijo ožine. To bi obravnavali v povezavi z osnovnim ciljem preusmeritve matice toka proti sredini struge.

2.0 MATEMATIČNI MODEL

2.1 Osnovne enačbe

Upoštevali smo dvodimenzionalni globinsko povprečni stalni tok. V pravokotnem Kartezijevem koordinatnem sistemu imajo osnovne enačbe naslednjo obliko:
– Kontinuitetna enačba:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

– Dinamični enačbi:

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh\frac{\partial h}{\partial x} - gh\frac{\partial z_b}{\partial x} - ghn^2\frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}} + \frac{\partial}{\partial x}\left(h\nu_{ef}\frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\nu_{ef}\frac{\partial u}{\partial y}\right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh\frac{\partial h}{\partial y} - gh\frac{\partial z_b}{\partial y} - ghn^2\frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}} + \frac{\partial}{\partial x}\left(h\nu_{ef}\frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\nu_{ef}\frac{\partial v}{\partial y}\right) \tag{3}$$

Pomen oznak: h - globina vode, u in v - komponenti hitrosti v x in y smeri, z_b - kota dna, n - Manningov koeficient hrapavosti, g- gravitacijski pospešek, ν_{ef} - kinematični koeficient efektivne viskoznosti, ν - kinematični koeficient laminarne viskoznosti.

2.2 Model turbulence

Za določevanje koeficienta turbulentne viskoznosti smo uporabili globinsko povprečni $k-\epsilon$ model, kjer stanje turbulentnosti toka opišemo s turbulentno kinetično energijo na enoto mase k in stopnjo njene disipacije ϵ:

$$\nu_{ef} = \nu + c_\mu\frac{k^2}{\epsilon} \tag{4}$$

Količini k in ϵ določimo na osnovi dodatnih transportnih enačb:

$$\frac{\partial(huk)}{\partial x} + \frac{\partial(hvk)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(h\frac{\nu_{ef}}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\frac{\nu_{ef}}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial y}\right) + hG - c_D h\epsilon + hP_{kv} \tag{5}$$

$$\frac{\partial(hu\epsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(hv\epsilon)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(h\frac{\nu_{ef}}{\sigma_\epsilon}\frac{\partial \epsilon}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\frac{\nu_{ef}}{\sigma_\epsilon}\frac{\partial \epsilon}{\partial y}\right) + c_1\frac{\epsilon}{k}hG - c_2\frac{\epsilon^2}{k}h + hP_{\epsilon v} \tag{6}$$

G je produkcija turbulentne kinetične energije zaradi horizontalnih gradientov hitrosti, P_{kv} in $P_{\epsilon v}$ pa sta izvorna člena zaradi trenja ob dno. Izrazi za G, P_{kv} in $P_{\epsilon v}$ so skupaj z empiričnimi konstantami v modelu turbulence c_D, c_μ, c_1, c_2, σ_k in σ_ϵ podani v [1].

2.3 Metoda reševanja

Parcialne diferencialne enačbe (1), (2), (3), (5) in (6) rešujemo numerično z metodo kontrolnih volumnov Patankarja in Spaldinga [2], ki spada med končne razlike in je podrobneje opisana v [3]. Bistvene značilnosti so premaknjena numerična mreža in uporaba hibridne sheme kot kombinacije med uzvodno in centralnodiferenčno. Povezava med globino in hitrostmi je rešena z iteracijskim postopkom popravljanja globin. Za dosego konvergentne rešitve je bilo pri obravnavanih primerih povprečno potrebnih okrog 3000 iteracij pri maksimalni dopustni relativni napaki 1% ($SORMAX = 0.01$ [3]).

2.4 Računalniški program

Računalniški program TEACH smo tekom dosedanjega večletnega dela ves čas dograjevali, tako da je bila osnovna verzija najprej dopolnjena z možnostjo upoštevanja spremenljive globine h in poljubne geometrije [3], nato z globinsko povprečno verzijo $k - \epsilon$ modela in nazadnje z možnostjo, da glede na izračunano gladino sam poišče meje računskega področja [1]. Izvorna koda programa je napisana v programskem jeziku FORTRAN 77. Sedanja verzija programa teče na osebnih računalnikih, pri čemer uporabljamo prevajalnik Lahey V3.0, ki izkorišča zaščiteni način procesorjev Intel i80386, tako da nismo omejeni s 640 Kb RAM. Edina omejitev je fizično instalirana količina RAM spomina. Program v praktično nespremenjeni obliki teče tudi na zelo hitrem Intelovem i80860 RISC procesorju, ki ga imamo vgrajenega na Microwayevi razširitveni kartici v enem od PC računalnikov Laboratorija za mehaniko tekočin FAGG. Uporabiti moramo le ustrezen fortranski prevajalnik NDP860 in program ponovno prevesti. Razširitvena kartica ima vgrajenega 8MB lastnega RAM spomina, procesor i80860 pa deluje s frekvenco 40 MHz popolnoma avtonomno od gostujočega PC računalnika, ki je lahko tudi navaden AT s procesorjem i80286. Računi z i80860/40 MHz so približno trikrat hitrejši kot na računalniku 386/33 MHz s hitrim Cyrix-ovim koprocesorjem 387/33 MHz, kar pomeni že velik prihranek računalniškega časa ob dokaj sprejemljivi ceni.

2.5 Grafični prikaz rezultatov

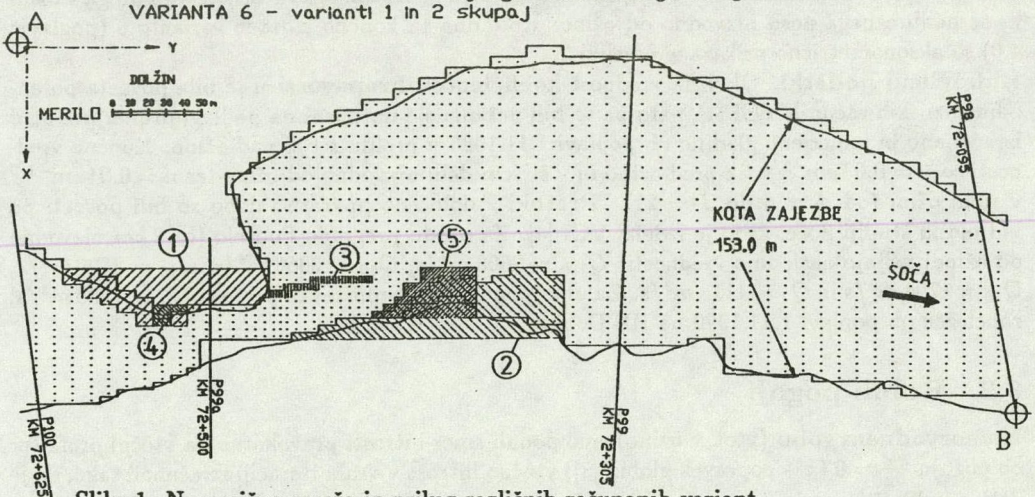
Pri dvodimenzionalnih modelih je grafični prikaz rezultatov zelo pomemben, saj nam šele izris izračunanih količin da pravo predstavo o simuliranih tokovih. Izrišemo lahko globinsko povprečne vektorje hitrosti in gladine v več izbranih prečnih ali podolžnih profilih. Številčni rezultati programa TEACH se v ASCII obliki zapišejo na datoteko, nato pa nadaljno obdelavo teh podatkov izvršita vmesna programa GRAFAC in BEDACAD (napisana v Turbo basicu), ki izvršita potrebne interpolacije in pripravita DXF datoteke za izris v zelo razširjenem grafičnem okolju AutoCAD. Program GRAFAC lahko na podlagi hitrosti in globin ter znane geometrije izračuna še Froudova števila in s pomočjo numerične integracije tudi tokovno funkcijo ter pripravi ustrezne datoteke za izris.

3.0 PODATKI IN ROBNI POGOJI

3.1 Podatki

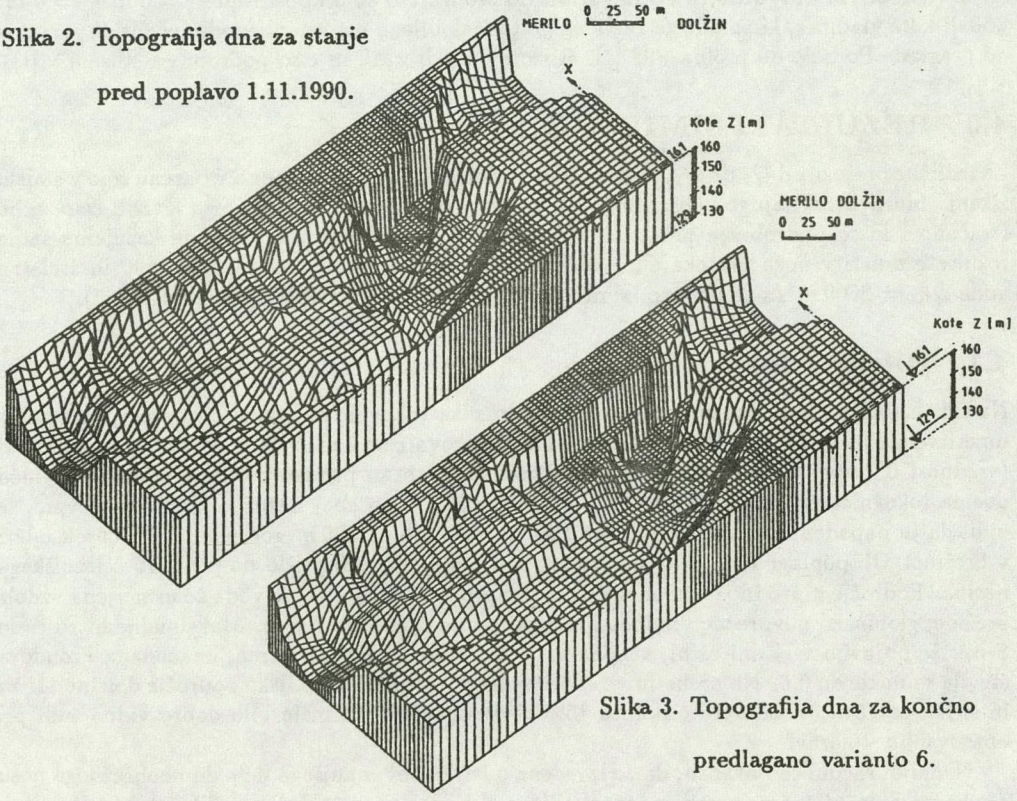
Geodetski podatki. Kote dna potrebujemo v vsaki točki numerične mreže (slika 1), ki je imela 71 točk v y smeri vzdolž toka in 43 točk v prečni x smeri in je bila zgoščena v ožini ter na prehodu v razširitev. Dolžina računskega področja je bila $550\,m$, širina $200\,m$, povprečna dimenzija kontrolnega volumna pa ca $10 \times 5\,m$. Kote dna so bile izvrednotene na podlagi 28 izmerjenih prečnih profilov na medsebojni razdalji ca $20\,m$, dodatnih profilov 98, 99 in

VARIANTA 1 - odstranitev levega dela Drobočnika do kote 145.0
VARIANTA 2 - odstranitev desnega dela Drobočnika do kote 145.0
VARIANTA 3 - podaljšan nos levega dela Drobočnika
VARIANTA 4 - odstranitev manjšega dela levega brega Drobočnika do kote 145.0
VARIANTA 5 - odstranitev manjšega dela desnega brega Drobočnika do kote 140.
VARIANTA 6 - varianti 1 in 2 skupaj



Slika 1. Numerična mreža in prikaz različnih računanih variant.

Slika 2. Topografija dna za stanje pred poplavo 1.11.1990.



Slika 3. Topografija dna za končno predlagano varianto 6.

100 iz leta 1982 in ocenjenega dna v profilu 99a v ožini [4]. Aksonometrična slika dna v bazenu za prvotno stanje pred poplavo je prikazana na sliki 2. Na sliki 1 je podanih 6 različnih preiskanih variant z odstranitvijo večjega ali manjšega dela skalnega masiva levega brega v ožini in desnoobrežnega nosu nizvodno od ožine. Kote dna za končno izbrano varianto 6 (poglavje 4.0) so aksonometrično prikazane na sliki 3.

Hidravlični podatki. Okvirna vrednost **koeficientov hrapavosti** n je bila povzeta po enodimenzijskih računih VGI [4], nato pa so bili natančneje umerjeni na podlagi primerjave med izračunano in izmerjeno gladino ob poplavi 1.11.1990 v profilu P100 nad ožino. Končne vrednosti so $n = 0.03\, sm^{-1/3}$ tik pred ožino in v širšem delu nizvodno od ožine ter $n = 0.04\, sm^{-1/3}$ v sami ožini (od $J = 6$ do $J = 21$). **Pretoki** z določeno povratno dobo so bili povzeti po hidrološki študiji Soče, ki jo je izdelal VGI [4]. Za mesto pregrade Podselo (ca $2\, km$ nizvodno od ožine) veljajo naslednje vrednosti: $Q_{100} = 2600\, m^3/s$, $Q_{50} = 2366\, m^3/s$, $Q_{20} = 2600\, m^3/s$, $Q_{10} = 1794\, m^3/s$ in $Q_2 = 1118\, m^3/s$. Za umerjanje pa smo upoštevali pretok $Q_{um} = 1906\, m^3/s$, zabeležen ob poplavi 1.11.1990 na HE Doblar.

3.2 Robni pogoji

Na gorvodnem robu (vtok v ožino) smo podali smer hitrosti pravokotno na vtočni profil ter ob pogoju $\frac{\partial h'}{\partial y} = 0$ (h' - popravek globin [3]) vtočno hitrost v vsaki iteraciji izračunali tako, da je vtok v model ustrezal obravnavanemu stalnemu pretoku Q. Na vseh **trdnih robovih** (bregovi) so prečne hitrosti enako 0, za vzdolžne hitrosti pa smo privzeli, da je njihov gradient prečno na steno enak 0. Na **dolvodnem robu** (približno profil P98) smo upoštevali $\frac{\partial v}{\partial y} = 0$ in $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ ter podali kote gladin z, ki so bile za različne pretoke dobljene na osnovi enodimenzijskih računov od pregrade Podselo do profila P98 [4]. **Robni pogoji za** k **in** ϵ so podrobneje opisani v [1].

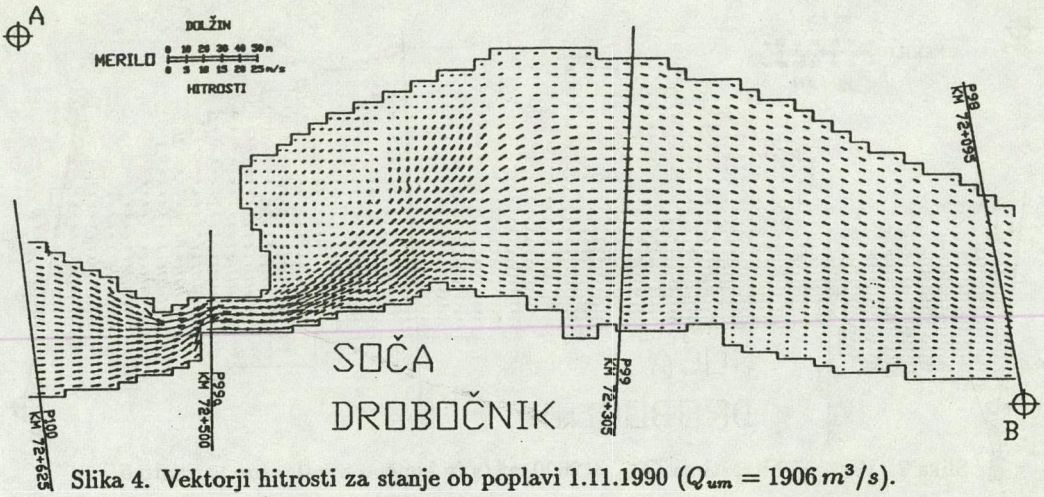
4.0 REZULTATI SIMULACIJE

Za različne pretoke od Q_2 do Q_{100} ter različne variante 1-6 topografije dna v bazenu smo v smislu iskanja hidravlično najugodnejše možnosti zaščite napadenega levega brega izvršili celo serijo izračunov, ki so podrobneje prikazani v poročilu [5]. V našem prispevku prikazujemo samo rezultate umeritvenega pretoka $Q_{um} = 1906\, m^3/s$ za stanje ob poplavi 1.11.1990 in stoletne vode $Q_{100} = 2600\, m^3/s$ za končno izbrano rešitev toka v ožini (varianta 6, sliki 1 in 3).

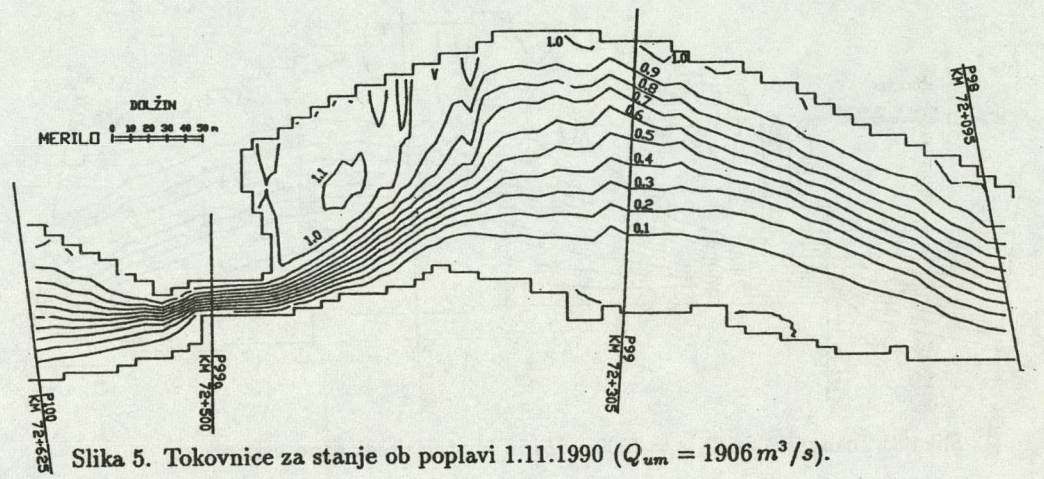
4.1 Hitrosti in slika tokovnic

Na slikah 4 in 5 sta prikazani hitrostno polje in slika tokovnic za stanje dna pred poplavo ter umeritveni pretok $Q_{um} = 1906\, m^3/s$. Vrednosti tokovnic so označene v brezdimenzijski obliki (vrednost 0.2 npr. pomeni 20% celotnega pretoka), izbran prirastek 0.1 pa pomeni, da med dvema tokovnicama teče 10% pretoka. Iz obeh slik, še posebej nazorno iz slike tokovnic, se vidi, da je napaden levi breg od profila P99 do razdalje ca $100\, m$ gorvodno, kjer curek udari v brežino. Ob poplavi 1.11.1990 je ravno v tem področju tudi prišlo do poškodb železniškega nasipa. Področje nizvodno od profila P99 ni več problematično, saj je voda že usmerjena vzdolž brežine, globinsko povprečne vrednosti hitrosti pa ne presežejo $2\, m/s$. Maksimalne hitrosti do $8\, m/s$ se pojavijo v skalni ožini, vendar pa je tok tudi v ožini še miren, izračunana Froudova števila so nekje do 0.6. Na prehodu v razširitev se pojavi recirkulacijsko področje dolžine $115\, m$ in širine ca $70\, m$, v katerem cirkulira 15% celotnega pretoka in je bilo dobro vidno tudi pri opazovanjih v naravi.

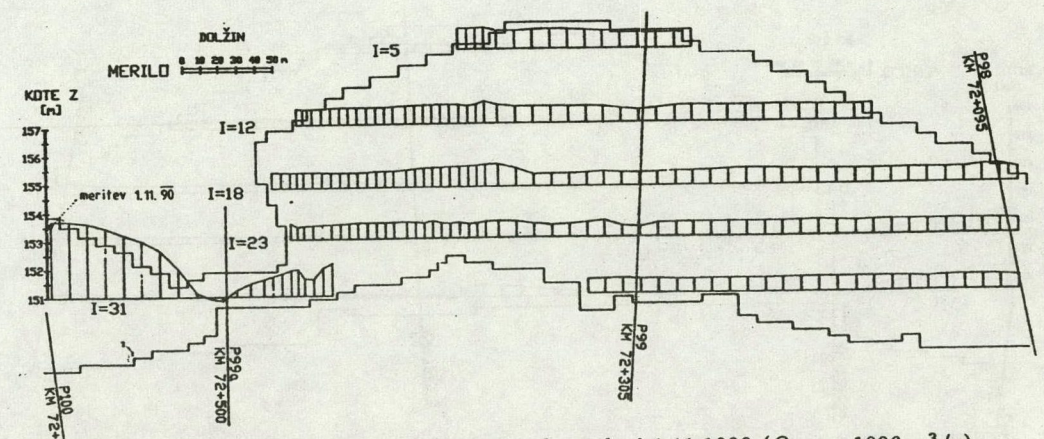
Nadaljni računi so pokazali, da že izvedena odstranitev manjšega dela desnoobrežnega nosu Drobočnika praktično ne zmanjša izpostavljenosti levega brega. Tudi nekoliko obsežnejše mini-



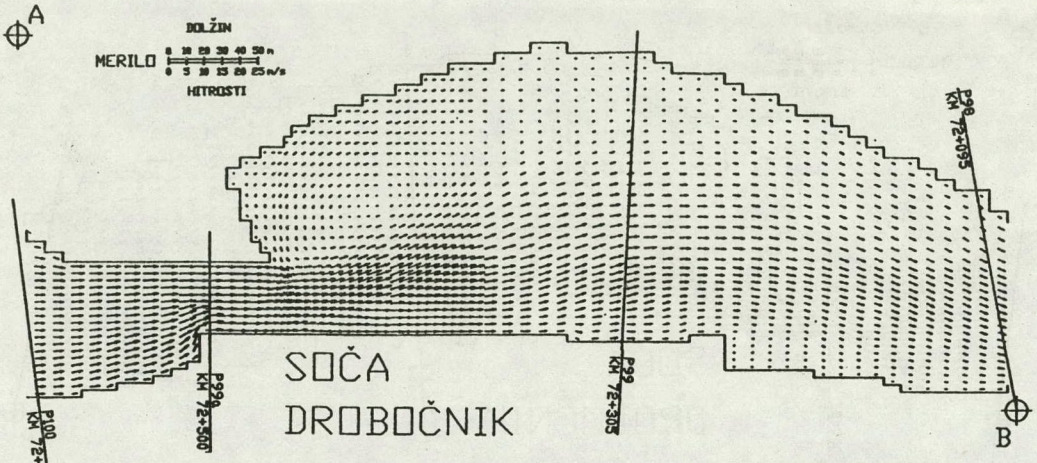
Slika 4. Vektorji hitrosti za stanje ob poplavi 1.11.1990 ($Q_{um} = 1906\,m^3/s$).



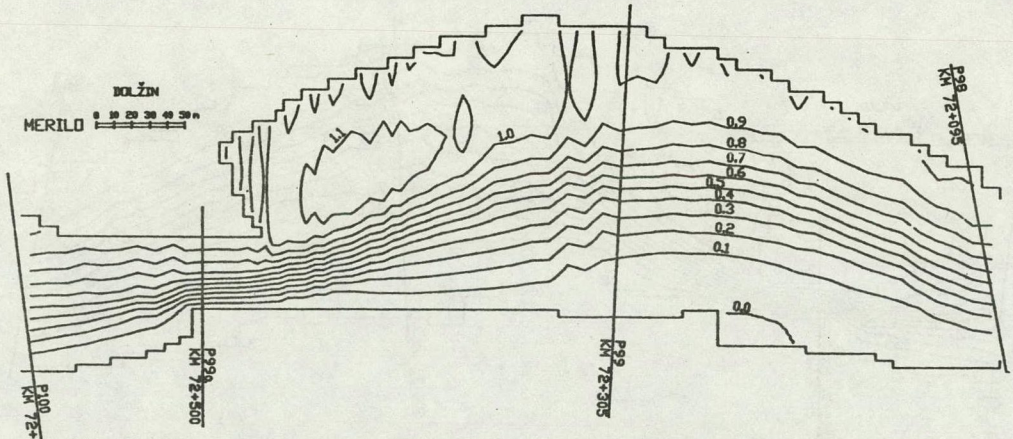
Slika 5. Tokovnice za stanje ob poplavi 1.11.1990 ($Q_{um} = 1906\,m^3/s$).



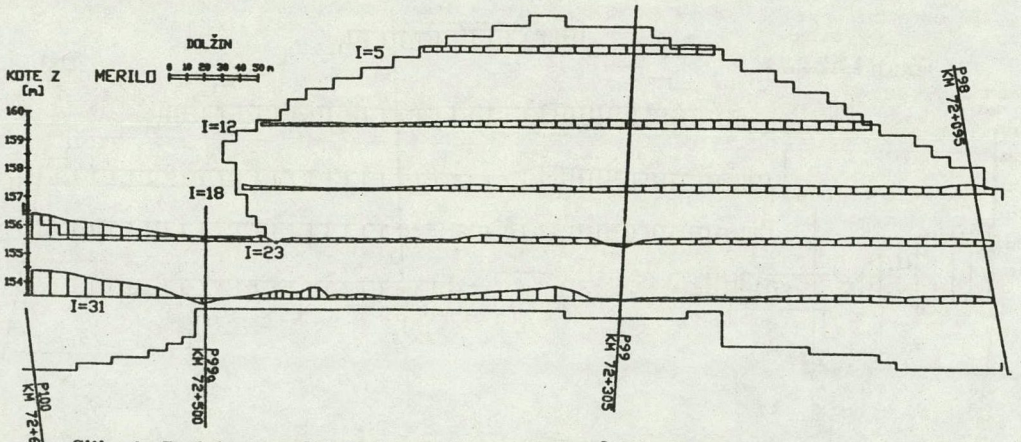
Slika 6. Podolžni profili gladin za stanje ob poplavi 1.11.1990 ($Q_{um} = 1906\,m^3/s$).



Slika 7. Vektorji hitrosti za $Q_{100} = 2600\,m^3/s$ in končno predlagano varianto 6.



Slika 8. Tokovnice za $Q_{100} = 2600\,m^3/s$ in končno predlagano varianto 6.



Slika 9. Podolžni profili gladin za $Q_{100} = 2600\,m^3/s$ in končno predlagano varianto 6.

ranje po varianti 5 ne zadostuje, podaljšanje nosu levega dela Drobočnika po varianti 3 pa bi sicer izboljšalo razmere, vendar se izgube v ožini preveč povečajo.

Tako je hidravlično najugodnejša rešitev razmeroma radikalna odstranitev desnoobrežnega nosu (varianta 2), v kombinaciji z odstranitvijo levega dela Drobočnika (varianta 6) pa se močno zmanjšajo tudi lokalne izgube v ožini. Vektorji hitrosti in tokovnice so za varianto 6 in $Q_{100} = 2600\,m^3/s$ prikazani na slikah 7 in 8. Razmere se bistveno izboljšajo, saj sega recirkulacijsko področje ob levem bregu praktično do profila P99 in je dolgo že $210\,m$ in široko skoraj $80\,m$. Nizvodno od profila P99 so hitrosti že usmerjene vzdolž levega brega in v glavnem ne presegajo $1.5\,m/s$.

4.2 Kote gladin

Izračunani primeri kažejo na precejšnje lokalne izgube v ožini. Za umeritveni pretok $Q_{um} = 1906\,m^3/s$ je razlika med gladino na dolvodnem robu računskega področja (P98) in gladino gorvodno od ožine ca $2.2\,m$, kar kažejo tudi meritve (slika 6). Pri $Q_{100} = 2600\,m^3/s$ razlika naraste na $3.25\,m$, ki pa se pri predlagani varianti 6 zmanjša na samo $0.7\,m$ (slika 9). Absolutne kote so razvidne iz izrisanih podolžnih profilov na prilogah 6 in 9.

5.0 ZAKLJUČKI

Z dvodimenzionalnim globinsko povprečnim matematičnim modelom smo izvršili hidravlični račun v ožini Drobočnik na odseku Soče v bazenu HE Doblar. Bistvene ugotovitve v pogledu zaščite levega brega in zmanjšanja izgub v ožini so naslednje:

1. Dosedaj že izvedeno miniranje manjšega dela desnega brega Drobočnika tik nizvodno od ožine ne zadostuje za zaščito levega brega.

2. Hidravlično najugodnejša rešitev problema zaščite levega brega je v dokaj radikalni odstranitvi desnega dela masiva nad koto $145\,m$ tik nizvodno od ožine. V kombinaciji z odstranitvijo levega dela ožine Drobočnik do kote $145\,m$ (varianta 6) pa se močno zmanjšajo tudi lokalne izgube v ožini.

Dvodimenzionalni računalniški program TEACH se je pokazal kot močno orodje pri reševanju praktičnih hidrotehničnih problemov, kar opravičuje dosedanja vlaganja v njegov razvoj in izpopolnjevanje.

6.0 LITERATURA

1. M. Četina: *Uporaba $k - \epsilon$ modela turbulence pri računu toka vode s prosto gladino*, Kuhljevi dnevi 89, Zbornik del, str. 253-262, 1989.

2. S.V. Patankar: *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill Book Company, 1980.

3. M. Četina: *Matematično modeliranje dvodimenzionalnih turbulentnih tokov*, magistrska naloga, FAGG, Ljubljana, 1988.

4. R. Fazarinc, O. Colarič: *Ukrepi za zmanjšanje poplav Soče na območju bazena HE Doblar*, Poročilo VGI, junij 1989.

5. M. Četina, R. Rajar, A. Širca: *Hidravlični preračun toka na odseku Soče v območju Drobočnika*, FAGG, Ljubljana, julij 1991.