

IKPIR

UNIVERZA EDVARDA KARDELJA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ARHITEKTURO, GRADBENIŠTVO
IN GEODEZIJO

INŠTITUT ZA KONSTRUKCIJE,
POTRESNO INŽENIRSTVO IN RAČUNALNIŠTVO

Publikacija IKPIR št. 21

REFERATI NA KONGRESIH V LETU 1980

Ljubljana, marec 1981

IKPIR

UNIVERZA EDVARDA KARDELJA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ARHITEKTURO, GRADBENIŠTVO
IN GEODEZIJO

INŠTITUT ZA KONSTRUKCIJE,
POTRESNO INŽENIRSTVO IN RAČUNALNIŠTVO

Publikacija IKPIR št. 21

REFERATI NA KONGRESIH V LETU 1980

Ljubljana, marec 1981

V S E B I N A

- A) Simpozij o inovaciji jugoslovanskih predpisov za betonske, metalne in sovprežne konstrukcije, Trogir, maj 1980.

J. Duhovnik, V. Ljubič

Predpisi in računalniško projektiranje betonskih konstrukcij.

- B) Posvetovanje o aparturni in programski opremi v analizi konstrukcij in računalniškem projektiranju, Beograd, december 1980.

P. Fajfar, J. Banovec, B. Dobovišek, M. Fischinger, D. Martelanc, J. Reflak, S. Sočan

Pregled aplikativnih programov s področja konstrukcijskega gradbeništva na FAGG.

J. Duhovnik, V. Ljubič

Računalniško projektiranje armature v armiranobetonskih konstrukcijah.

J. Reflak, J. Duhovnik, P. Fajfar, I. Kovačič, B. Lutar, V. Marolt
Program za avtomatični račun montažnih armiranobetonskih konstrukcij.

B. Lutar, V. Marolt

Programa za računanje prostorskih konstrukcij.

I. Kovačič, A. Vitek

Stanje in razvoj računalniške grafike v Inštitutu za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo FAGG.

c) VII. svetovni kongres o potresnem inženirstvu, Istanbul, september 1980

J. A. Blume, H. J. Degenkolb, P. Fajfar, G. Özmen
State-of-the-Art Report on Earthquake Resistant Design
(uvodni referat na področju "Earthquake Resistant Design").

P. Fajfar, Š. Stojnik
Simplified Method for Computation of Earthquake Induced Shears
and Overturning Moments in Regular Multistorey Structures.

Janez Duhovnik, Vlado Ljubič

PREDPISI IN RAČUNALNIŠKO PROJEKTIRANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJ

1. Uvod

Projektiranje katerekoli konstrukcije poteka v treh bistvenih stopnjah. Prva med njimi je zasnova konstrukcije. Pri zasnovi določimo obliko, računski model in obtežbo konstrukcije. Druga stopnja je račun konstrukcije. Pri tej stopnji želimo ugotoviti, če je izbrana konstrukcija varna. Tretja stopnja je izdelava načrta konstrukcije, po katerem bo konstrukcija zgrajena (Sl. 1). Vse stopnje projektiranja so med seboj sovisne. Ta sovisnost je posebno izrazita med prvo in drugo stopnjo. Zaradi neustrezne varnosti ali sploh celotne rešitve je treba določene dele projekta spremeniti, to pa običajno pomeni spremembo vseh korakov, ki temu delu projekta sledijo. Ker obsega sprememb v splošnem ne moremo predvideti, pomeni vsaka sprememba večjo ali manjšo motnjo pri časovnem poteku projektiranja. V običajnih primerih se spremembam skoraj vedno izognemo, če niso zelo pomembne in če to ne zmanjšuje varnosti konstrukcije.

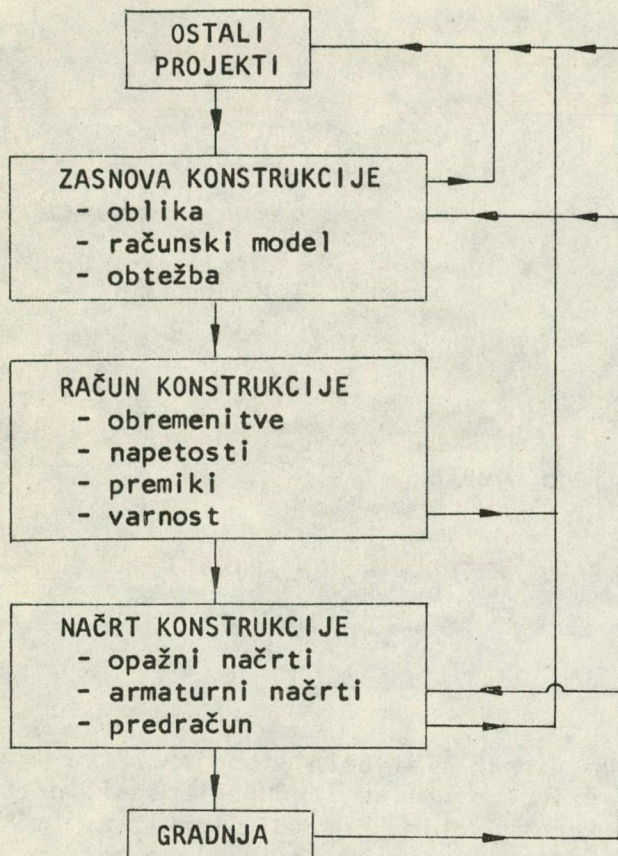
2. Uporaba računalnika pri projektiranju konstrukcij

Posamezne stopnje projektiranja se med seboj bistveno razlikujejo glede na vrsto operacij, ki jih je treba opraviti. V prvi stopnji opravlja projektant predvsem logične operacije, ki temelje na njegovih izkušnjah, pri računanju obtežbe pa uporablja s predpisi določena navodila. V drugi stopnji izvrši projektant vnaprej določene aritmetične operacije. V tretji stopnji pa so operacije deloma aritmetične, deloma pa logične.

Računalnik lahko nadomesti človeka pri vseh aritmetičnih operacijah brez posebnih omejitev. Med logičnimi operacijami pa je sposoben izvršiti le enostavnejše, ker zelo kompliciranih sedaj še ni mogoče vnaprej programirati. To zlasti velja za paketne obdelave. Pri interaktivnem delu je mogoče z neposrednimi vmesnimi logičnimi odločitvami uporabnost računalnika bistveno povečati (Sl. 2).

Za posebne vrste konstrukcij, kakršne so recimo montažne konstrukcije, je mogoče tudi za paketno obdelavo izdelati ustrezne programe, ki opravijo veliko večino računskega dela, narišejo pa tudi osnovne sheme konstrukcije [1].

Vsako nadaljnje širjenje uporabe računalnika je vezano na spremembo načina dela z računalnikom. S paketne obdelave, kjer uporabnik nima možnosti posredovanja med računanjem, je treba preiti na interaktivno delo. Poenostavijo se postopki, ki so sicer možni tudi pri paketni obdelavi, lahko pa rešujemo tudi čisto nove probleme, kakršno je recimo risanje opaznih in armaturnih načrtov elementov ali



S1. 1: Potek projektiranja konstrukcije in povezanost z ostalimi projekti in gradnjo

Stopnja projektiranja	Delo, ki ga lahko opravi računalnik		Delo, ki ga opravi računalnik pri že izdelanem programu za računanje montažnih konstrukcij
	Paketna obdelava	Interaktivna obdelava	
ZASNOVA	100 % 		
RAČUN			
NAČRT			

S1. 2: Uporabnost računalnika pri projektiranju konstrukcij

3. Povezanost procesov projektiranja in izvajanja objektov

Pri projektiranju konstrukcije obravnavamo množico osnovnih podatkov, za večino katerih se izkaže, da so osnovni tudi za projekt arhitekture, opreme in napeljav, zlasti pa za izvajanje celotnega objekta.

Takih programskih sistemov, ki bi bili sposobni za obdelavo celotnega problema projektiranja in gradnje nekega objekta, še ne poznamo. Kljub temu moramo delo na posameznih programih, ki bodo tak sistem nekoč sestavljali, zastaviti tako, da bo izdelava programskega sistema potekala brez posebnih težav.

celih konstrukcij [2].

Uporaba računalnika omogoča obravnavanje boljših računskih modelov, hitrejšo pot do rezultatov in znižanje cene. Pri zadnjem je treba upoštevati večjo kakovost rezultatov.

Prava optimizacija konstrukcij je mogoča samo z uporabo računalnikov, ki občutno skrajšajo čas za projektiranje. Realna ocena lastnosti nekega projekta je namreč mogoča le, če je projekt v celoti izdelan. Tem idealnim razmeram se z uporabo računalnikov lahko močno približamo.

V Sloveniji bomo v tem in naslednjih dveh letih v okviru raziskovalnega projekta [3] obdelali projektiranje in izdelavo armature s pomočjo računalnikov. Pri tem bo zajeta obdelava vseh procesov od računanja notranjih sil in premikov, dimenzioniranja in risanja armaturnih in opažnih načrtov do izdelave armature in vseh knjigovodskih in finančnih opravil.

4. Predpisi in računalniško projektiranje betonskih konstrukcij

Celoten proces projektiranja je pri nas precej neenakomerno urejen s predpisi in standardi. Za nekatera področja so predpisi zelo podrobni, za druga po obstajajo samo nenapisana pravila. Z uporabo računalnikov pri projektiranju konstrukcij nameravamo na težave najprej pri vsebini računalniškega izpisa za račun konstrukcije. Pri urejenem klasičnem računu konstrukcije je iz dokumentacije razviden celoten postopek računanja, kar omogoča sorazmerno enostavno kontrolo katerekoli vrednosti. Pri računalniškem računu konstrukcije imamo največkrat opraviti z obsežnejšimi podatki. Računa v klasični obliki z računalnikom sploh ni mogoče napisati. Običajno nam računalnik izpiše podatke, ki so potrebni za določitev problema in jih mora pripraviti uporabnik. Nato sledijo podatki, kot jih je generiral program, nazadnje pa rezultati za posamezne elemente (Sl. 3). Kako računalnik rezultate izračuna, običajno vedo le tisti, ki so program izdelali. Problemi nastanejo pri kontroliranju tako izdelanih statičnih računov, še težje pa bo ugotavljati ustreznost takih računov čez nekaj let.

Zato je potrebno izdelati standard, ki bo urejal vprašanja glede vsebine računalniško izdelanih računov konstrukcij in ki bo predpisoval način dokumentiranja programov, ki se uporabljajo za račun konstrukcij.

Pri risanju armaturnih in opažnih načrtov z računalnikom in brez njega ugotavljamo, da ni predpisana niti oblika načrtov niti niso predpisani ustrezni znaki, ki so za enolično razumevanje takih načrtov potrebni. Zato prihaja do nepotrebnih nesporazumov pri izdelavi in montaži armature, kar ima ob neustreznem nadzoru lahko težke posledice. Prizadevanja v svetu [6], [8], [9], [10], [12] kažejo na pomembnost tega vprašanja. Z uporabo računalnikov se potreba po poenotenju in poenostavljanju simbolov še povečuje. Znaki, uporabljeni za risanje načrtov z računalnikom morajo biti čimbolj enostavni (Sl. 4), ker to lahko bistveno poceni postopek risanja. Smotno je, da sta način risanja in simbolika enaka pri ročnem ali računalniškem risanju.

Popolna svoboda pri oblikovanju armature povzroča nemalo težav pri proizvodnji, še več pa pri montaži armature. Pri industrijsko izdelanih varjenih armaturnih mrežah ima vsak proizvajalec svoje tipe. Izkaže se [4], [6], [10], [11], da je ta svoboda nepotrebna. V raziskovalnem projektu [3] smo med prvimi predvideli nalogo, ki bo rešila to vprašanje. Rezultat te naloge bo predlog standarda, ki bo urejal načine risanja armaturnih načrtov in oblikovanje armature. Pri projektu sodelujejo najpomembnejše projektantske in izvajalske delovne organizacije.

5. Zaključek

Z razširjanjem uporabe računalnikov za projektiranje konstrukcij se močneje kot pri običajnem projektiranju pojavlja potreba po standardih in predpisih, ki urejajo celoten proces projektiranja. Posledice sežejo tudi na druga področja projektiranja in tudi na področje izvajanja konstrukcij oziroma celotnega objekta. V sedanjih razmerah je treba čimprej izdelati standarde o vsebini računalniško izdelanih računov konstrukcij in standarde za izdelavo dokumentacije o programih, ki se uporabljajo za račun konstrukcij. Pri računalniškem risanju armaturnih načrtov je potreben standard o simbolih, ki se uporabljajo za risanje in standard za oblikovanje armature.

I N G R A D C E L J E
 RACUNSKI CENTER FAGG LJUBLJANA

LIST 29

PROJEKT : MONTAZNI SISTEM INGRAD
 OBJEKT : TOZD MEHANIZACIJA (KN-M)

DATUM 03/06/80

306 S T E B E R

STEBER ST. 6
 STEBER ST. 9
 STEBER ST. 12
 STEBER ST. 15
 STEBER ST. 18
 STEBER ST. 21
 STEBER ST. 24
 STEBER ST. 27
 STEBER ST. 30

VISINA STEBRA = 11.90 M

PREREZ 60. / 40. CM

ARMATURA JE SIMETRICNA IN VELJA ZA POLOVICO PREREZA

NIVO 1 KOTA 0.00 M

MAKSIMALNE STATICNE KOLICINE, NAPETOSTI IN ARMATURA

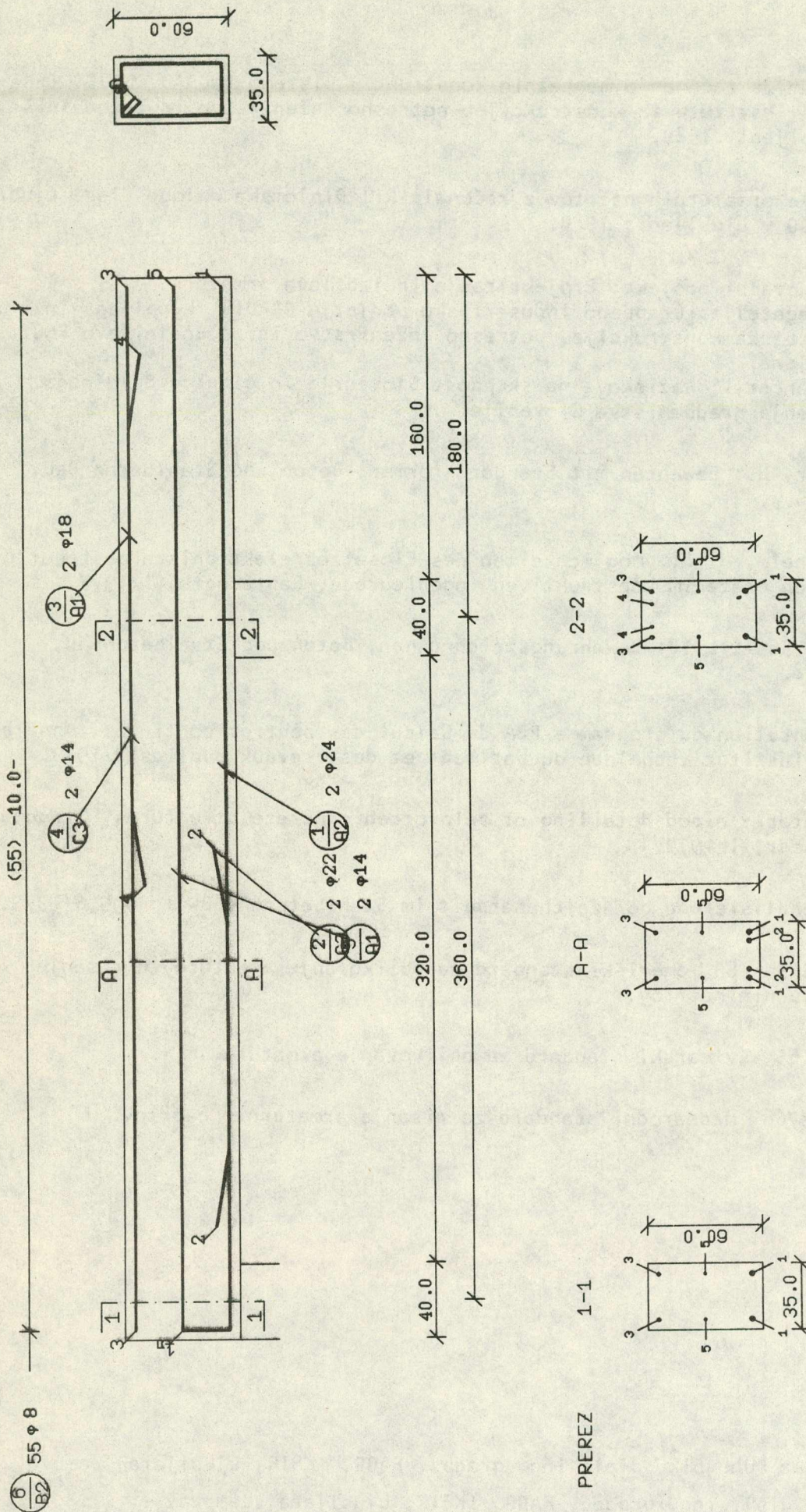
OSNA SILA KN	UP. MOM. X KNM	UP. MOM. Y KNM	OBT. KOIB.
336.84	42.58	46.05	6
336.84	113.65	3.35	4
225.69	31.25	93.68	8

NAP. BET. SMER X KN/CM2	NAP. BET. SMER Y KN/CM2	NAP. BET. SMER X, Y KN/CM2	NAP. ARM. KN/CM2	PR. ARM. SMER X CM2	PR. ARM. SMER Y CM2
1.194	0.000	1.343	23.015	9.0	4.8

MB 300

CBR 40/50

Sl. 3: Primer računalniško izdelanega računa za montažni steber



Sl. 4: Računalniško izdelan armaturni načrt

6. Literatura

- [1] Program za računanje montažnih konstrukcij sistema INGRAD CELJE. Izdelan na Inštitutu za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo v Ljubljani, 1980.
- [2] Risanje armaturnih načrtov z računalniki. Diplomski naloga Vlada Ljubliča na FAGG v Ljubljani, 1980.
- [3] Raziskovalni projekt: Projektiranje in izdelava armature.
Predlagatelj: Gradbeno industrijsko podjetje GRADIS, Ljubljana in Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo FAGG, Ljubljana.
Sofinancerji: Raziskovalna skupnost Slovenije in članice Splošnega združenja gradbeništva Slovenije.
- [4] Kramer, H.: Bewehren mit Standard formen, Beton und Stahlbeton Bau, 4/1976.
- [5] Bubenheim, H. J.: Möglichkeiten des Einsatzes elektronisch gesteuerter Zeichengeräte im konstruktiven Ingenieurbau, Bautechnik, 1/1977.
- [6] DIN 1356 TEIL 10: Bewehrungszeichnungen, Beton und Stahlbetonbau, 5/1978.
- [7] Presentation du programme PBA de Calcul des poutres continues, Annales de l'institut technique du batiment et des travaux publics 2/1979.
- [8] Computer - aided detailing of reinforced concrete structures, Structural Engineer, 1/1979.
- [9] Rationalisierung der Zeichenarbeit im Stahlbetonbau BW + FT 5,6/1975.
- [10] ACI 315 - 65 ameriški standard za oblikovanje armature in risanje armaturnih načrtov.
- [11] SIA 165 švicarski standard za oblikovanje armature.
- [12] ISO 3766 mednarodni standard za risanje armaturnih načrtov.

Janez Duhovnik, Vlado Ljubič

PREDPISI IN RAČUNALNIŠKO PROJEKTIRANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJ

P o v z e t e k

Proces projektiranja konstrukcije poteka v večih stopnjah. Uporabnost računalnikov v posameznih stopnjah je različna, odvisna pa je tudi od razpoložljive računalniške opreme. Osnovni podatki so enaki za celoten proces projektiranja in izvajanja. Pri računalniškem projektiranju se pojavi potreba po standardizaciji računalniško izdelanih računov konstrukcij, standardizaciji risanja armaturnih načrtov in standardizaciji oblikovanja armature.

Janez Duhovnik, Vlado Ljubič

STANDARDS AND COMPUTER - AIDED DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES

S u m m a r y

The design of the structure flows in more steps. The applicability of the computers in the particular step is rather different and depends also on the available hardware. The basic data are the same for the entire proces of design and construction. By the computer - aided design the need for the standards for computer - aided analysis of structures, the standards for drawing of concrete reinforcement and the standards for design of concrete reinforcement is present.

SAVETOVANJE O HARDVERU I SOFTVERU U STRUKTURALNOJ
ANALIZI I RAČUNARSKOM PROJEKTOVANJU
BEOGRAD, 10 I 11 DECEMBRA, 1980

PREGLED APLIKATIVNIH PROGRAMOV S PODROČJA
KONSTRUKCIJSKEGA GRADBENIŠTVA NA FAGG

Skupina sodelavcev na FAGG*

I z v l e č e k

V članku je podan pregled najvažnejših aplikativnih programov s področja konstrukcijskega gradbeništva, ki se uporabljajo na gradbenem oddelku Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani. Omenjene so tudi nekatere izkušnje, dobljene pri izdelavi in uporabi programov za pedagoško, raziskovalno in strokovno delo.

* Članek je napisal prof. dr. Peter Fajfar. Pri pripravi članka so sodelovali še: doc. mag. Jure Banovec, prof. dr. Borut Dobovišek, Matej Fischinger, Duška Martelanc, mag. Janez Reflak in Smiljan Sočan, vsi dipl. ing. gradb.

1.0 Uvod

Konstrukcijsko gradbeništvo je eno tistih področij, kjer so se že zelo zgodaj pričeli uporabljati računalniki. Predvsem problemi, ki se pojavljajo pri računu konstrukcij, so idealni za reševanje z računalnikom in prvi aplikativni programi so bili zato namenjeni analizi konstrukcij. Razvile so se nove metode analize in ena izmed njih, metoda končnih elementov, je postala univerzalna metoda za račun vseh vrst konstrukcij. Ta metoda se je razširila daleč preko ozkih meja analize konstrukcij in našla širok krog uporabnikov na vrsti drugih področij. Še dandanes se večina aplikativnih programov na področju gradbeništva nanaša na analizo konstrukcij, ki predstavlja seveda samo en del konstrukcijskega gradbeništva.

Konstrukcijo je potrebno najprej zasnovati. Zasnova zahteva kreativni pristop in to področje bo slej ko prej ostalo domena človeka, tu je le malo možnosti za uporabo računalnika.

Za dimenzioniranje ne obstajajo splošno znani programi, čeprav je to področje dokaj primerno za uporabo računalnikov. Vzroki za to so jasni. Metode dimenzioniranja so sorazmerno enostavne in s pomočjo tabel in diagramov je mogoče priti do rezultatov večkrat hitreje kot z računalnikom. Postopke dimenzioniranja je tudi mogoče enostavno programirati za žepne računalnike, ki omogočajo hitro in poceni pot do rezultatov. Dimenzioniranje s pomočjo večjih računalnikov ima največkrat smisel le pri povezavi več faz dela, na primer analize in dimenzioniranja, kjer se rezultati analize avtomatično uporabljajo kot podatki za dimenzioniranje.

Konstruiranje z računalnikom je področje, kjer do zdaj ni bilo veliko narejenega, v zadnjem času pa se skuša nadomestiti zamujeno. Konstruiranje je zelo težko popolnoma avtomatizirati, saj je praktično nemogoče matematično definirati vse potrebne kriterije. Z razvojem interaktivnega načina dela in grafičnih terminalov so se tudi za to področje odprle široke možnosti, saj lahko projektant ob zaslonu, ki je povezan z računalnikom, s svojimi odločitvami ureja potek dela računalnika.

Za uspešno uporabo računalnikov je potrebna tako ustrezna aparatura kot tudi primerna programska oprema. Članek se ukvarja samo z aplikativno prog-

ramsko opremo in podaja pregled nekaterih aplikativnih programov s področja konstrukcijskega gradbeništva, ki se uporabljajo na FAGG v Ljubljani. Omenjeni so tisti programi, ki so po mnenju avtorja, ki je članek uredil, pomembni za širši krog gradbenikov in ki so obenem ustrezno dokumentirani. Vsi navedeni programi so montirani na računalniku CDC CYBER Republiškega računskega centra v Ljubljani in so po dogovoru dostopni s kateregakoli terminala, ki je povezan z omenjenim računalnikom. Poleg pregleda programov so navedene tudi nekatere izkušnje, dobljene pri izdelavi in uporabi programov za pedagoško, raziskovalno in strokovno delo v okviru Instituta za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo FAGG (IKPIR FAGG, bivši RC FAGG). Vsa mnenja v zvezi s programsko opremo je formuliral avtor, ki je članek uredil, in odražajo mnenja sodelavcev IKPIR FAGG.

2.0 Dileme pri načrtovanju programske opreme

Pri načrtovanju programske opreme obstajata vsaj dve dilemi

- izdelovati svoje ali nabavljati tuje programe?
- uporabljati specializirane ali splošne programe?

Menimo, da je pri obeh vprašanjih možen en sam odgovor - oboje.

Nihče ni sposoben izdelati lastne programe za vse probleme, zato je nedvomno potrebno uporabljati vrsto tujih programov. Po drugi strani smo mnenja, da je vzporedno potrebno razvijati lastne programe predvsem za vsakodnevne aplikacije. Lastni programi so lahko najbolj prilagojeni specifičnim lokalnim potrebam, enostavno jih je spreminjati in dopolnjevati, zaradi natančnega poznavanja njihove zgradbe je mogoče bolje izkoriščati njihove zmogljivosti. V primeru napak je te mogoče takoj odpraviti. Izredno pomembno je tudi znanje, pridobljeno pri razvijanju programov. To znanje ni samo neobhodno potrebno pri izdelavi novih, boljših programov, nač pa je tudi zelo koristno pri uporabi obstoječih programov. Ne nazadnje so nekateri lastni programi nastali tudi kot praktičen rezultat lastnih raziskovalnih rezultatov in predstavljajo tako prispevek avtorjev in institucije v nacionalnem ali celo svetovnem merilu.

V IKPIR FAGG smo za vse vsakodnevne probleme v zvezi z računom običajnih zgradb in mostov že razvili ali še razvijamo lastne programe, obenem pa za račun nestandardnih konstrukcij (in zaenkrat tudi plošč) uporabljamo tuja programa FLASH in SAP IV. Prav tako uporabljamo tuje programe pri ra-

ziskovalnem delu na področju nelinearne dinamične analize.

Pri izbiranju med specializiranimi in splošnimi programi smo prišli prav tako do zaključka, da so potrebni eni in drugi, prvi za vsakodnevne aplikacije, drugi za reševanje problemov, ki se pojavljajo redkeje. Po eni strani predstavlja veliko obremenitev že čisto tehnično vzdrževanje velikega števila specializiranih programov. Možnost napak pri podatkih se bistveno poveča pri uporabi različnih programov z različnimi načini podajanja podatkov. Po naših izkušnjah je način priprave podatkov težko uskladiti celo pri programih, izdelanih v eni instituciji, kaj šele v svetovnem merilu. Po drugi strani je uporaba velikih programskih sistemov za enostavne vsakodnevne probleme največkrat nerodna in neekonomična. Iz teh razlogov smo se v IKPIR FAGG odločili za uporabo specializiranih domačih in splošnih tujih programov, kot je bilo omenjeno v prejšnjem odstavku.

3.0 Nekatere izkušnje, dobljene pri uporabi aplikativnih programov

V Sloveniji ugotavljamo, da se je uporaba aplikativnih programov na področju konstrukcij razširila šele v zadnjih letih, čeprav obstajajo možnosti za uporabo že celo desetletje. Ta razmah v zadnjem času pripisujemo predvsem dejstvu, da so se v projektantskih organizacijah že uveljavili mladi inženirji, ki so bili na fakulteti usposobljeni za uporabo računalnika. Mlade generacije projektantov so pričele samostojno uporabljati obstoječe programe in včasih celo razvijati lastne, medtem ko so pred tem uporabljali računalnik le posamezni projektanti in še to večinoma s posredovanjem specializiranih institucij. Vzgoja študentov ima tako nedvomno bistven vpliv, pri tem pa se je treba zavedati nevarnosti, ki se pojavlja. Kaj lahko se namreč zgodi, da se pri pouku vse "ročno" delo nadomesti z uporabo gotovih računalniških programov, študentje pa pri tem ne dobijo "fizikalnega občutka", večkrat po nepotrebnem komplicirajo računski model ali celo izberejo napačnega, ne obvladajo enostavnih približnih metod, potrebnih za preliminarni račun ter za oceno rezultatov in niso sposobni kritično oceniti dobljenih rezultatov.

Za razširitev uporabe programov je tudi pomembno, da imajo diplomanti v svojih delovnih organizacijah možnost uporabljati tiste programe, za katere so se usposobili v šoli. V ta namen bi bila seveda idealna računalniška mreža, v kateri bi bila tako Univerza kot tudi delovne organizacije.

Tega najbrž nikjer in nikoli ne bo mogoče doseči v celoti, deloma pa je taka povezava v Sloveniji izvedena.

Od programov imajo po naših izkušnjah možnost, da se široko uveljavijo, le programi z enostavnim načinom priprave podatkov, preglednimi rezultati in ustrezno dokumentacijo. Priprava podatkov naj bo po možnosti brezformatna, uporabljajo naj se izrazi iz vsakdanje inženirske prakse. Rezultati naj bodo v čim večji meri grafični. Projektantu je praktično nemogoče predelati ogromne količine števil, zato naj bodo najpomembnejši rezultati prikazani v slikah, kjer je to le mogoče. Na ta način je omogočeno lažje nadaljnje delo in boljša kontrola rezultatov. Številčni rezultati naj bodo po možnosti izpisani v obliki, ki omogoča neposredno vključitev v projektni elaborat (ustrezen glave in po možnosti format A4). Programi brez opisa osnovnih predpostavk in teoretičnih osnov ter dobrih navodil za uporabo, ilustriranih s tipičnimi primeri, so za široko uporabo neprimerni. Vprašljiva je tudi uporabnost programov, za katere nihče strokovno ne skrbi. Slej ko prej se pri uporabi pojavi problem, ki ga uporabnik sam ne zna rešiti in v takem primeru je zelo pomembno, da obstaja nekdo, ki program dobro pozna.

Vprašanja v zvezi s kontrolo računov, izvršenih z računalniškimi programi, še niso rešena. Računalniške statične račune je težje kontrolirati kot klasične. Napake se lahko pojavijo tako pri izbiri programa, ki ne ustreza problemu, kot pri pripravi podatkov. Seveda niso izključene tudi morebitne napake v programih. Vse računalniške rezultate je zato potrebno skrbno preveriti. Verjetno je koristna praksa nekaterih držav, ki za račun pomembnejših objektov dovoljujejo le uporabo programov, ki so bili predhodno odobreni, oziroma zahtevajo kontrolni račun s takim programom.

4.0 Pregled važnejših programov na FAGG

4.1 Programi za elastično statično analizo

OKVIR

Program OKVIR je namenjen za statično analizo linijskih konstrukcij. Z njim je možno računati paličja, ravninske in prostorske okvire ter brane. Podoben je znanemu programu STRESS in podatke, pripravljene za STRESS, je mogoče nespremenjene uporabiti tudi za OKVIR. (podatke podajamo v brezformat-

ni obliki). Dodatno ima možnost generacije vozlišč in elementov, dodatne tipe elementov (s spreminjajočim se prerezom po dolžini elementa, s togimi priključki) in dodatne tipe obtežbe. Program uporablja znano deformacijsko metodo za račun linijskih konstrukcij, sistem enačb pa rešuje po frontalni metodi. V delu je združevanje OKVIRA in popravljenega STRESSPLOTa [1], ki je bil izdelan kot dopolnitev STRESSa za račun ovojníc ter risanje konstrukcije in notranjih statičnih količin. Program OKVIR bo kasneje povezan tudi s programi za dimenzioniranje in risanje armature.

RAVOK (RAVninski OKvir)

Program RAVOK je namenjen statični analizi ravninskih okvirov. Izdelan je bil leta 1975 z namenom, da dobimo kar najbolj ekonomičen program za najpogostejše račune. V zadnjih petih letih je bil najbolj uporabljan program na FAGG. Predvidevamo, da ga bomo po dokončani vpeljavi programa OKVIR prenehali uporabljati.

MAKRE (MAKRoElement)

Program MAKRE je namenjen statični analizi horizontalno obteženih objektov v visokogradnji. V programu lahko zajamemo tipične konstruktivne elemente zgradb: stebre, odprta in zaprta tankostenska jedra, prečke, diagonale ter panele in njihove kombinacije v prostoru. MAKRE lahko uporabljamo kot samostojen program ali v kombinaciji s programom EAVEK, kjer omogoča vključitev kompliciranih prostorskih makroelementov, ki jih z EAVEKom ni mogoče direktno zajeti. Priprava podatkov je v brezformatni obliki. Program je trenutno še v testiranju in bo predvidoma končan do konca leta 1980.

FLASH (Finite Element Analysis of Shells)

Računalniški program FLASH je bil narejen na Inštitutu za gradbeno statiko in konstrukcije (IBE) na ETH v Zürichu. Program je instaliran v raznih računskih centrih in univerzah v inozemstvu, med drugim v računskem centru CONTROL - DATA v Zürichu in Frankfurtu ter v računskem centru FIDES v Zürichu. Na naši fakulteti za program skrbi Katedra za metalne konstrukcije in gradiva. Program računa po metodi končnih elementov homogene, linearne elastične lupine, poliedrične lupine, plošče, stene (ravninsko stanje napetosti in deformacij), prostorske okvire, ravninske okvire kot tudi bra-

ne, obremenjene s statično obtežbo. Bistvene značilnosti programa so:

- Uporaba programa je zelo enostavna in ne zahteva posebnega znanja o programiranju in uporabi računalnika. Podatke pripravimo po zelo enostavni shemi. Jezik za pripravo podatkov je problemsko orientiran in brez formata.

- Kontrolni izpis vhodnih podatkov in veliko vgrajenih komentarjev k izpisu napak omogoča hitro odkrivanje napak. Mogoča je grafična kontrola mreže. Pred samim računanjem je možno vhodne podatke kontrolirati, ne da bi program kaj računal (majhni stroški).

- Udobno generiranje mreže reducira numerične podatke na minimum. Upoštevana je lastnost, da imajo elementi enake oblike, istega položaja v prostoru z enakimi robnimi pogoji in enakimi lastnostmi materiala, enake globalne in lokalne togostne matrike, kar program zajame s tipizacijo elementov (bistven prihranek računalniškega časa pri večjem številu elementov).

- S posebnimi vhodnimi karticami je možno zadržati podatke za kasnejše računanje nadaljnjih obtežnih primerov in za izpis nadaljnjih rezultatov. (Restart)

- Možno je upoštevati vpliv prečne sile na deformacije plošč in lupin ter s tem računanje debelih ploskovnih konstrukcij.

- V program je vgrajen elastično podprt ploskovni element, ki daje bistveno boljše rezultate od točkovnih podpor. Uporaba elastičnih podprtih ploskovnih elementov se priporoča vselej, kadar imamo ploskovna podpiranja: plošče na elastični podlagi, elastično podajne in nepodajne glave stebrov, stene itd. Elastično podprt ploskovni element je izpeljan iz razširjenega variacijskega principa in ima konstanten potek podpornih tlakov po elementu.

- Možnost ekscentričnega priključka linijskega elementa omogoča obravnavanje rebrastih plošč in lupin ter plošč z robnimi nosilci kot ravninski problem.

- Upoštevajo se lahko izotropne ali ortotropne lastnosti materiala.

- Obtežba je lahko koncentrirana, prostorska ali enakomerno porazdeljena v vseh smereh. Kot obtežbo vzamemo tudi predpisane pomike podpor in začetne deformacije (zaradi tečenja, spremembe temperature itd.)

- Rezultati se lahko izpišejo ali narišejo. Za posamezne obtežne primere, kombinacije obtežnih primerov kot tudi za ekstremne vrednosti, ki rezultirajo iz superpozicije najbolj neugodnih skupin obtežb, dobimo: premike vozlišč, podporne reakcije, podporne sile elastično podprtih elementov, upogibne momente v ploščah in lupinah, napetosti v stenah in membranah, glavne napetosti in glavne momente, notranje sile linijskih elementov ter rezultante

napetosti po prerezu.

Sistemi linearnih enačb se v programu rešujejo po frontalni metodi, ki je zelo primerna za reševanje velikih sistemov linearnih enačb. Program sam lahko optimira oštevilčenje elementov, tako da dobimo čim ožjo fronto in s tem prihranimo veliko računalniškega časa.

FLASH računa s trikotnimi in četverokotnimi ravnimi ploskovnimi elementi ter z linijskimi elementi grede. Za ploskovne končne elemente uporablja hibridni napetostni model. Le-ta je sestavljen iz dveh neodvisnih nastavkov: nastavek za napetosti po polju elementa in nastavek za pomike po robu elementa. Nastavek za napetosti mora izpolnjevati ravnotežne pogoje znotraj elementa, nastavki za pomike pa vzdržujejo kompatibilnost pomikov med sosednjimi elementi. Za ploskovne probleme so se pokazali hibridni elementi zelo učinkoviti.

Omejitve uporabe:

število vozlišč ≤ 2000 , število elementov ≤ 2000 , število tipov ≤ 2000 , število obtežnih primerov ≤ 60 , število kombinacij in obtežnih primerov ≤ 60 , število podprtih vozlišč ≤ 250 , število različnih rotacijskih podpor ≤ 40 , število različnih elastično podajnih podpornih vozlišč ≤ 30 .

SHELLS

Program SHELLS omogoča statično analizo lupinskih konstrukcij, katerih osnova je rotacijska lupina ali njen izsek ali prizmatična lupina. Uveljavil se je na mnogih področjih v gradbeništvu in strojništvu. Med probleme, kjer je bil uporabljen, štejejo številni hladilni stolpi, vodni rezervarji, različne posode pri čistilnih napravah, televizijski stolpi, ravni in ukrivljeni škatlasti mostovi, turbine in razni strojni elementi.

Za uspeh programa SHELLS je odločilna konvergentnost rešitve, rezultati so neodvisni od razdelitve konstrukcije na elemente in so pravilni tudi v primeru, kadar je vsa konstrukcija en sam element. Ta konvergentnost temelji na numerični rešitvi pravih diferencialnih enačb upogibne teorije lupin brez predpostavljenih funkcij, ki so sicer običajne pri končnih elementih. Fourierjeva razvrstitev vseh količin stanja lupine vzdolž vzporednikov oziroma tvorilk omogoča upoštevanje poljubne obremenitve, poenostavi analizo (ker prevede prostorski problem v ravninskega) in skrajša računski čas.

Robni pogoji lupine so v veliki meri poljubni in obsegajo tudi elastično podlago. Razpore (palični elementi, ki povezujejo po dve točki lupine)

omogočajo upoštevanje točkovnih robnih pogojev ter različnih ojačitev, kot so na primer prečniki pri mostovih, lopatice turbin ali točkovne podpore hladilnih stolpov.

Prosti format vhodnih podatkov, ki obsegajo besede in števila, je primeren tudi za interaktivno obdelavo preko terminala. Zahtevani so samo osnovni podatki problema in razdelitev lupine na elemente. Z uporabo različnih možnosti generacije je opis razdelitve in različnih obtežnih primerov zelo enostaven.

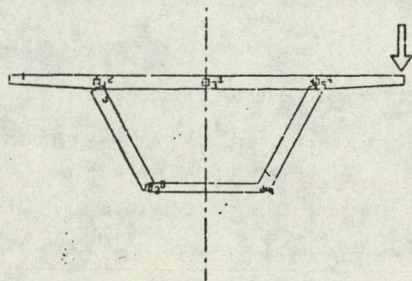
Obremenitev konstrukcije je mnogolična, lastna teža se računa avtomatično, sicer pa je mogoče obremeniti poljubno območje lupine s poljubno porazdeljeno, linijsko ali točkovno obremenitvijo - s silami, momenti, temperaturo, predpisanimi deformacijami itd. Vgrajene so posebne porazdelitvene krivulje za obremenitev rotacijskih lupin z vetrom (hladilni stolpi), druge porazdelitvene krivulje lahko definira uporabnik. Obteženi primeri se lahko kombinirajo kot stalna, prometna in alternativna obremenitev. Program poišče ekstremne in pripadajoče vrednosti za poljubne statične količine v poljubnih točkah.

Rezultati so sile v razporah ter deformacije, notranje sile in napetosti v lupini. Prikazani so v numerični in grafični obliki. Uporabnik si prireja output po lastnih željah z različnimi standardnimi ukazi. Zahteva lahko rezultate na več omejenih območjih lupine, tudi v eni sami točki, za poljubne kombinacije obtežnih primerov. Tako je mogoče zahtevati rezultate ali vzdolž vzporednikov (npr. mostne osi) ali po prečnem prerezu, kar omogoča lažjo in hitrejšo interpretacijo rezultatov.

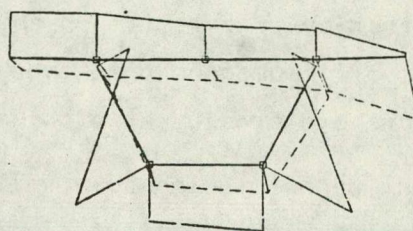
Grafični rezultati obsegajo prerez lupine v merilu s pravimi debelinami in oštevilčenjem in nato poljubne rezultate (tudi deformacije) po profilih ali vzdolž vzporednikov.

V slikah je prikazano nekaj primerov aplikacije.

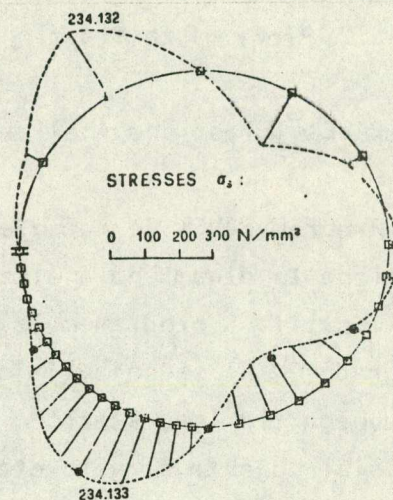
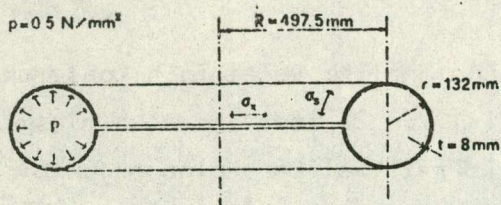
SYSTEM



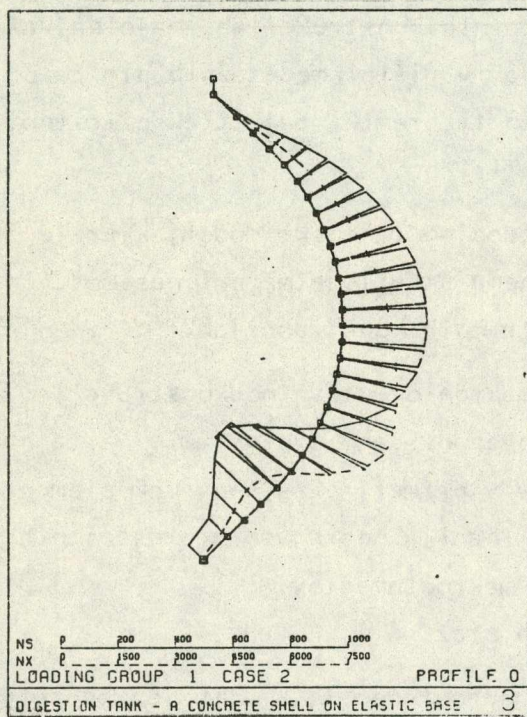
PROFILE 0 LOADING CASE 1



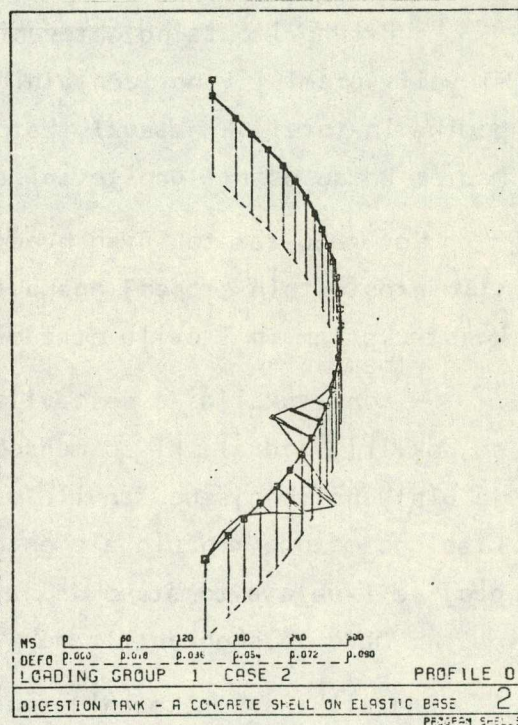
SYSTEM:



ATTENTION - RESULTS ARE NOT LINEAR BETWEEN COMPUTED POINTS



ATTENTION - RESULTS ARE NOT LINEAR BETWEEN COMPUTED POINTS



4.2 Programi za elastično statično in dinamično analizo

EAVEK (Elastična Analiza VEčetažnih Konstrukcij)

Program EAVEK je namenjen za elastično analizo večetažnih konstrukcij (statična in dinamična analiza po teoriji 1. in 2. reda in račun elastične stabilnosti). S programom je mogoče analizirati veliko večino objektov visokogradnje, ki se pojavljajo v praksi. Konstrukcije so lahko nesimetrične, poljubnega tlorisa, statične in dinamične karakteristike se lahko menjajo po višini objekta, število etaž po različnih delih tlorisa je lahko različno. Osnovne predpostavke, ki jih upošteva, so:

- Medetažne plošče so toge v svoji ravnini in brez togosti pravokotno na to ravnino.

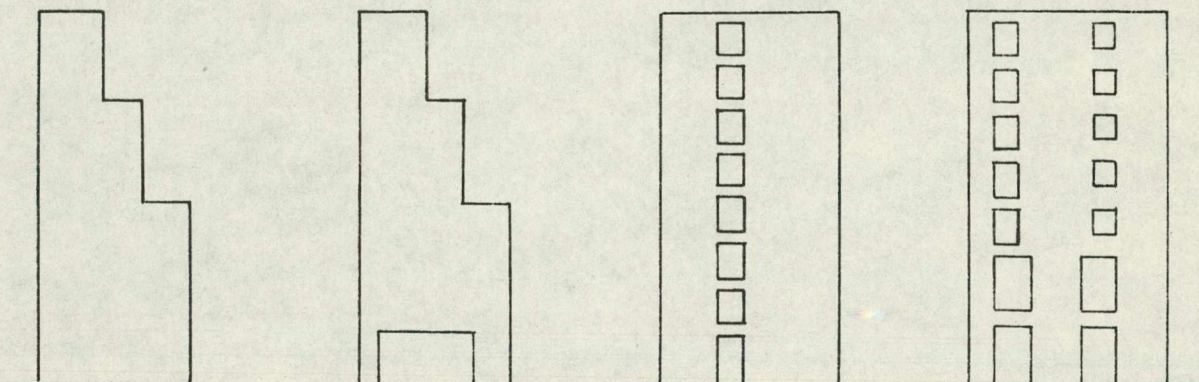
- Pri horizontalno obteženih večetažnih konstrukcijah imajo najvažnejši vpliv premiki v horizontalnih ravninah v višini medetažnih plošč (po dva pomika in torzijski zasuk), zato so samo ti premiki zajeti eksplicitno, medtem ko so ostali upoštevani samo implicitno.

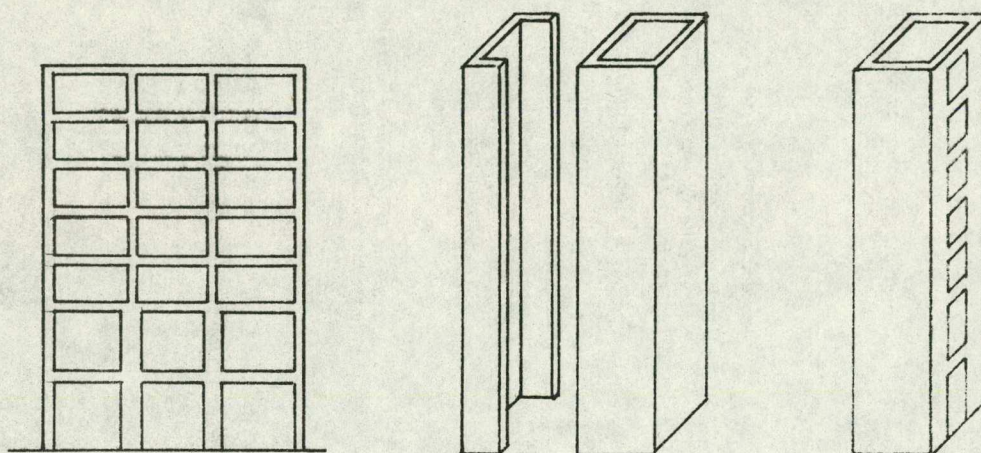
Kot rezultat teh dveh predpostavk dobimo računski model, kjer je število prostostnih stopenj enako trikratnemu številu etaž pri nesimetričnih konstrukcijah in številu etaž pri simetričnih konstrukcijah.

- Konstrukcija je sestavljena iz makroelementov (podkonstrukcije: stene, okviri, jedra), ki so medsebojno povezani samo s ploščami. Na ta način je bistveno zmanjšano število elementov v primerjavi s številom elementov klasične metode končnih elementov. Eliminacija nebistvenih prostostnih stopenj se izvaja avtomatsko že na nivoju makroelementov.

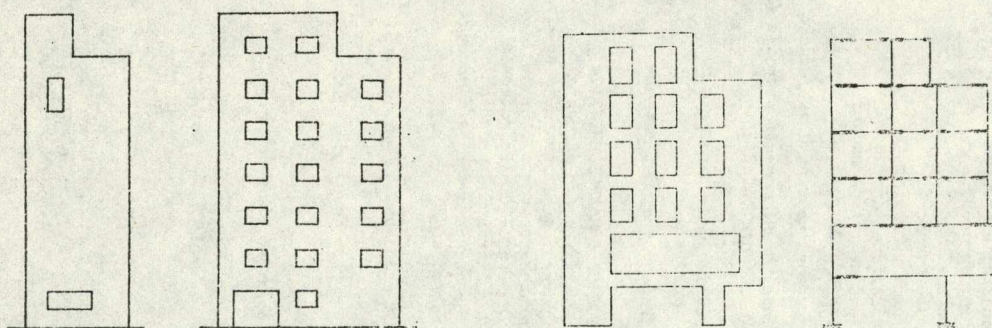
- Mase so skoncentrirane v višinah etaž.

Na sliki so prikazani standardni makroelementi, ki jih je mogoče uporabljati v programu tako, da podamo le njihove osnovne karakteristike.





Če je uporabnik seznanjen s predpostavkami, ki so uporabljene za račun posameznih elementov, je mogoče s standardnimi elementi aproksimativno zajeti tudi bolj komplicirane elemente, kot npr. stene na levi strani naslednje slike. V programu je mogoče zajeti tudi popolnoma neregularne elemente, če je mogoče na kakršenkoli način izračunati ali eksperimentalno določiti podajnostno ali togostno matriko, ki povezuje horizontalne pomike v višinah etaž s horizontalno obtežbo elementa. Element na desni strani slike je mogoče idealizirati s pomočjo nadomestnega okvira, za katerega je mogoče izračunati podajnostno matriko s pomočjo kateregakoli programa za račun ravninskih okvirov.



Obtežba je lahko statična ali dinamična. Pri dinamični obtežbi je možno izbrati bodisi metodo računa s spektri odziva (po veljavnih jugoslovanskih predpisih o gradnji na potresnih območjih ali poljuhen podan spekter) bodisi pravo dinamično analizo, s pomočjo katere dobimo celoten časovni potek odziva konstrukcije.

V nadaljnjem je za ilustracijo podan del podatkov in rezultatov programa EAVEK. Prikazan način priprave podatkov in izpisa rezultatov je značilen za večino programov, izdelanih v IKPIR FAGG.

PODACI O KONSTRUKCIJI

STRUCTURE IDEALIZOVANA KONSTRUKCIJA IDENTIFIKACIJA KONSTRUKCIJE

* PRIMER ZA KONGRES KONSTRUKTERA Komentar

* DIMENZIJE M,MP

* TYPE SPACE

NUMBER OF STORIES 12

NUMBER OF ELEMENTS 13

NUMBER OF LOADINGS 3

NUMBER OF MODES 6

CONSTANTS 3000000. 1300000.

METHOD STATIC DYNAMIC STABILITY

SECOND ORDER THEORY

STORIES HEIGHTS

1 THRU 12 3.

MASSSES

1 THRU 10 36. 4800. 0. 0.5

11 THRU 12 6. 65. 0. 7.5

VERTICAL LOADING

FACTOR 9.81

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 1 2 3

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 4 5 6

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC X

TYPE CANTILEVER

DIRECTION X

COORDINATES 0. 9.37

SECTION PROPERTIES

1 THRU 12 0.4 53.86

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC Y

TYPE CANT

DIRE Y

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.73 0.757

* ELEMENT JEZGRO TORZIJSKO

TYPE TUBE

DIRE Z

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.0416 20.1

* ELEMENT LEVI ZID

TYPE WALL

NUMBER OF STORIES 10

DIRE Y

COORD -16. 0.

SECT PROP

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* ELEMENT DESNI ZID

TYPE SCANTILEVER

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* PRIMER ZA KONGRES KONSTRUKTERA Komentar

* DIMENZIJE M,MP

* TYPE SPACE

NUMBER OF STORIES 12

NUMBER OF ELEMENTS 13

NUMBER OF LOADINGS 3

NUMBER OF MODES 6

CONSTANTS 3000000. 1300000.

METHOD STATIC DYNAMIC STABILITY

SECOND ORDER THEORY

STORIES HEIGHTS

1 THRU 12 3.

MASSSES

1 THRU 10 36. 4800. 0. 0.5

11 THRU 12 6. 65. 0. 7.5

VERTICAL LOADING

FACTOR 9.81

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 1 2 3

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 4 5 6

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC X

TYPE CANTILEVER

DIRECTION X

COORDINATES 0. 9.37

SECTION PROPERTIES

1 THRU 12 0.4 53.86

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC Y

TYPE CANT

DIRE Y

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.73 0.757

* ELEMENT JEZGRO TORZIJSKO

TYPE TUBE

DIRE Z

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.0416 20.1

* ELEMENT LEVI ZID

TYPE WALL

NUMBER OF STORIES 10

DIRE Y

COORD -16. 0.

SECT PROP

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* ELEMENT DESNI ZID

TYPE SCANTILEVER

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* PRIMER ZA KONGRES KONSTRUKTERA Komentar

* DIMENZIJE M,MP

* TYPE SPACE

NUMBER OF STORIES 12

NUMBER OF ELEMENTS 13

NUMBER OF LOADINGS 3

NUMBER OF MODES 6

CONSTANTS 3000000. 1300000.

METHOD STATIC DYNAMIC STABILITY

SECOND ORDER THEORY

STORIES HEIGHTS

1 THRU 12 3.

MASSSES

1 THRU 10 36. 4800. 0. 0.5

11 THRU 12 6. 65. 0. 7.5

VERTICAL LOADING

FACTOR 9.81

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 1 2 3

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 4 5 6

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC X

TYPE CANTILEVER

DIRECTION X

COORDINATES 0. 9.37

SECTION PROPERTIES

1 THRU 12 0.4 53.86

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC Y

TYPE CANT

DIRE Y

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.73 0.757

* ELEMENT JEZGRO TORZIJSKO

TYPE TUBE

DIRE Z

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.0416 20.1

* ELEMENT LEVI ZID

TYPE WALL

NUMBER OF STORIES 10

DIRE Y

COORD -16. 0.

SECT PROP

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* ELEMENT DESNI ZID

TYPE SCANTILEVER

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* PRIMER ZA KONGRES KONSTRUKTERA Komentar

* DIMENZIJE M,MP

* TYPE SPACE

NUMBER OF STORIES 12

NUMBER OF ELEMENTS 13

NUMBER OF LOADINGS 3

NUMBER OF MODES 6

CONSTANTS 3000000. 1300000.

METHOD STATIC DYNAMIC STABILITY

SECOND ORDER THEORY

STORIES HEIGHTS

1 THRU 12 3.

MASSSES

1 THRU 10 36. 4800. 0. 0.5

11 THRU 12 6. 65. 0. 7.5

VERTICAL LOADING

FACTOR 9.81

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 1 2 3

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 4 5 6

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC X

TYPE CANTILEVER

DIRECTION X

COORDINATES 0. 9.37

SECTION PROPERTIES

1 THRU 12 0.4 53.86

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC Y

TYPE CANT

DIRE Y

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.73 0.757

* ELEMENT JEZGRO TORZIJSKO

TYPE TUBE

DIRE Z

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.0416 20.1

* ELEMENT LEVI ZID

TYPE WALL

NUMBER OF STORIES 10

DIRE Y

COORD -16. 0.

SECT PROP

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* ELEMENT DESNI ZID

TYPE SCANTILEVER

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* PRIMER ZA KONGRES KONSTRUKTERA Komentar

* DIMENZIJE M,MP

* TYPE SPACE

NUMBER OF STORIES 12

NUMBER OF ELEMENTS 13

NUMBER OF LOADINGS 3

NUMBER OF MODES 6

CONSTANTS 3000000. 1300000.

METHOD STATIC DYNAMIC STABILITY

SECOND ORDER THEORY

STORIES HEIGHTS

1 THRU 12 3.

MASSSES

1 THRU 10 36. 4800. 0. 0.5

11 THRU 12 6. 65. 0. 7.5

VERTICAL LOADING

FACTOR 9.81

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 1 2 3

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 4 5 6

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC X

TYPE CANTILEVER

DIRECTION X

COORDINATES 0. 9.37

SECTION PROPERTIES

1 THRU 12 0.4 53.86

* ELEMENT JEZGRO PRAVAC Y

TYPE CANT

DIRE Y

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.73 0.757

* ELEMENT JEZGRO TORZIJSKO

TYPE TUBE

DIRE Z

COORD 0. 9.37

SECT PROP

1 THRU 12 0.0416 20.1

* ELEMENT LEVI ZID

TYPE WALL

NUMBER OF STORIES 10

DIRE Y

COORD -16. 0.

SECT PROP

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* ELEMENT DESNI ZID

TYPE SCANTILEVER

1 THRU 10 6.5 1. 6.5 .45 1.6 1.33 8.533 .1 .0036

* PRIMER ZA KONGRES KONSTRUKTERA Komentar

* DIMENZIJE M,MP

* TYPE SPACE

NUMBER OF STORIES 12

NUMBER OF ELEMENTS 13

NUMBER OF LOADINGS 3

NUMBER OF MODES 6

CONSTANTS 3000000. 1300000.

METHOD STATIC DYNAMIC STABILITY

SECOND ORDER THEORY

STORIES HEIGHTS

1 THRU 12 3.

MASSSES

1 THRU 10 36. 4800. 0. 0.5

11 THRU 12 6. 65. 0. 7.5

VERTICAL LOADING

FACTOR 9.81

PRINTPLOT 15 15 EIGENVECTORS 1 2 3

PRINTPLOT 15 1


```

=====
RC FAGG   P R O G R A M   E A V E K   04/20/78   STRAN 2A
=====
STRUCTURE IREALIZOVANA KONSTRUKCIJA * LOAD ZENLJ. U Y PRAVCU PO P
=====

```

*** ELEMENT DESNI ZID

ETAZA	Q PRECKE	M STENE	Q L. STENE	M L. STENE	Q D. STENE	M D. STENE
10	11.953	11.958	2.025	3.342	35.094	57.027
9	12.791	24.731	2.186	4.267	37.881	73.962
8	15.213	39.812	3.274	6.949	56.749	120.445
7	13.360	57.026	4.259	12.848	73.819	120.445
6	21.093	78.700	5.071	20.352	87.898	222.687
5	22.462	100.790	4.272	25.006	74.045	352.766
4	23.047	123.454	5.022	31.655	87.040	433.432
3	23.300	146.308	5.748	40.397	98.623	548.681
2	21.372	167.279	6.372	51.731	110.444	700.238
1	14.735	181.749	6.058	64.236	104.099	896.655
						1113.400

*** ELEMENT DESNI ZID

ETAZA	PRECNA SILA	UPOGIBNI MOMENT
10	39.332	117.998
9	37.125	208.909
8	56.341	357.374
7	74.031	570.238
6	89.276	829.348
5	71.022	1036.921
4	87.142	1207.554
3	99.439	1573.363
2	125.164	1933.007
1	220.601	23.289
	M L. SP.	M D. ZG.
	31.174	23.289
		M D. SP.
		31.174

*** ELEMENT RAH 6

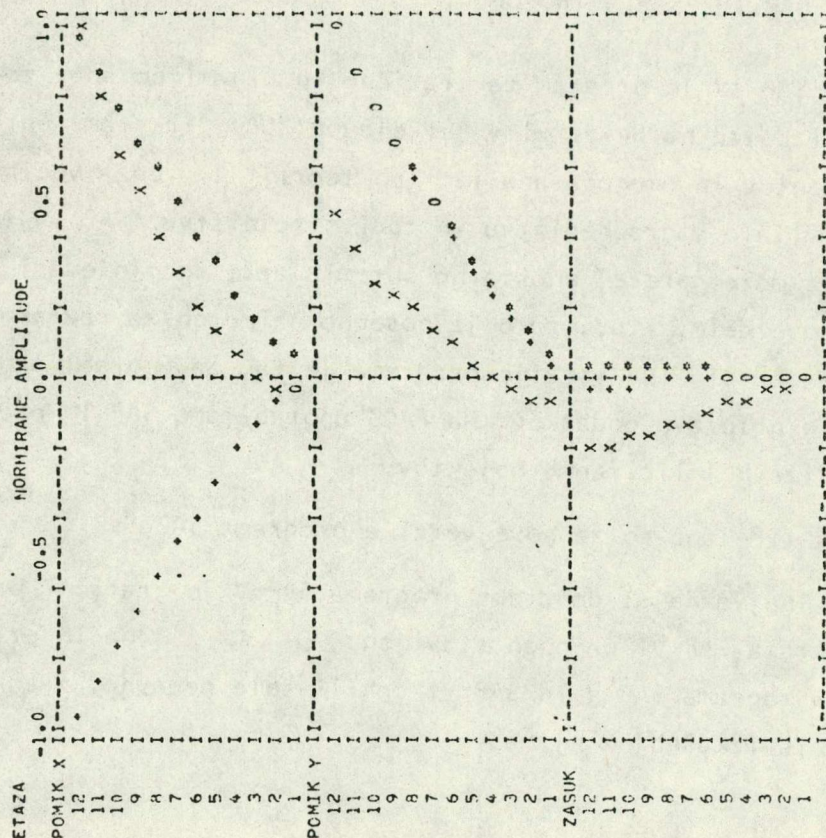
ETAZA	1. OBL.	2. OBL.	3. OBL.	4. OBL.	5. OBL.	6. OBL.
1	-3.663	-3.663	-2.284	.331	-.036	.293
2	-1.926	-2.795	-.180	.213	.019	.291
3	-.660	-1.967	-.139	.529	.038	.442
4	-.732	-1.797	-.116	.696	.054	.479
5	3.581	9.358	.554	.554	.022	-.081
6	-.151	-.241	-.015	.354	.023	.105
7	-.044	.107	.005	.314	.017	.000
8	-.009	.280	.014	.260	.008	-.117
9	-.129	.060	.010	.411	.007	-.313
10	3.461	8.184	.451	-1.540	-.043	-.061

NOTRANJE SILE ELEMENTA

ETAZA	PRECNA SILA	UPOGIBNI MOMENT	ETAZNI PRENIK*100
10	8.619	29.853	.108
9	8.622	51.708	.110
8	8.677	73.318	.113
7	8.959	105.163	.114
6	8.449	131.182	.112
5	18.390	186.214	.101

PRINTPLOT NIHAJNJI OBLIK

NIHAJNA OBLIKA	NIHAJNA DOKA (S)	KROZNA FREKVENCIA (RAD/S)	FREKVENCIA (1/S)	OZNAKA NA SLIKI
1	.589	10.65	1.70	*
2	.541	11.61	1.85	*
3	.332	18.94	3.01	X



SAP IV, SAP V in SAP VI

SAP IV je program za statično in dinamično analizo konstrukcij, ki je bil izdelan na Univerzi v Berkeleyu (ZDA). Program uporablja metodo končnih elementov in omogoča analizo (po teoriji 1. reda) večine konstrukcij, ki se pojavljajo v gradbeništvu in tudi strojništvu. SAP IV je zgrajen tako, da ga je možno precej enostavno spreminjati, dopolnjevati, uporabljati samo njegove dele, itd., zato je posebnost primeren za raziskovalno delo. Slaba stran originalne verzije programa je ta, da uporablja precej nepregleden način priprave podatkov. Na FAGG uporabljamo SAP IV predvsem za dinamične analize kompliciranih objektov.

Izdelane so že nove verzije programa SAP.

Najvažnejši doprinos programa SAP V je grafični prikaz rezultatov, programa SAP VI pa poenostavljen način priprave podatkov. Ker smo programa SAP V in SAP VI dobili šele nedavno, zaenkrat še nimamo praktičnih izkušenj z njima.

4.3 Program za nelinearno statično analizo

NONFRAN

Program NONFRAN omogoča nelinearno in linearno analizo poljubno oblikovanih ravninskih okvirov [14]. Upoštevan je poljuben nelinearen napetostni diagram ter teorija velikih pomikov in zmernih deformacij. Pri tem je uporabljena metoda končnih elementov v kombinaciji z Galerkinovo metodo. Vzdolž posameznega elementa (palice) poteka ukrivljenost kot polinom četrte stopnje, kar omogoča, da okvirno konstrukcijo računamo že z minimalnim številom elementov. Za reševanje nelinearnega sistema enačb je uporabljen Newton-ov (tangentni) iteracijski postopek. Pri elasto-plastični analizi se ugotavljajo lastnosti prerezov s točnim integriranjem po prerezu, lahko pa se upošteva kar podani funkcijski odnos upogibni moment - ukrivljenost skupno z interakcijskim diagramom mejne nosilnosti prereza. V prvi fazi program simulira elasto-plastičen material z ustreznim nelinearnim elastičnim materialom, torej plastičnost v fazi obremenjevanja konstrukcije. Metoda omogoča statično analizo za različne podane nivoje obtežbe, lahko pa avtomatično določi mejno stanje konstrukcije. Pri tem uporablja energetske principe.

4.4 Programi za nelinearno dinamično analizo

Dejansko stanje konstrukcij med močnimi potresi je mogoče opisati le z nelinearno dinamično analizo. Kljub temu se ta način računa v praksi še ne uporablja, saj je račun še sorazmerno drag, negotovi pa so tudi podatki o obtežbi in nelinearnih karakteristikah konstrukcij. Programi, ki omogočajo nelinearno dinamično analizo, se uporabljajo v glavnem za raziskovalno delo, kjer so že postali nepogrešljiv pripomoček pri raziskavah o potresni varnosti konstrukcij. Pri nas uporabljamo v ta namen tri programe, ki so bili vsi izdelani na Univerzi v Berkeleyu.

ANSR

Program ANSR omogoča nelinearno statično in dinamično analizo splošnih prostorskih konstrukcij. Uporablja metodo končnih elementov. Možno je upoštevati tako geometrijsko kot tudi materialno nelinearnost. Knjižnica elementov, ki jih je mogoče uporabljati, je trenutno še precej skromna (palični element, gredni element in dvodimenzionalni element s 4 - 8 vozlišči, s katerimi je mogoče zajeti ravninsko napetostno in ravninsko deformacijsko stanje ter osnosimetrične elemente), vendar se dopolnjuje.

DRAIN - 2D

Program DRAIN - 2D je namenjen za neelastično dinamično analizo ravninskih konstrukcij. Možno je upoštevati materialno nelinearnost, medtem ko je mogoče zajeti majhno geometrijsko nelinearnost samo približno s pomočjo približnih geometrijskih matrik elementov. Trenutno so vgrajeni naslednji elementi: palični element, ravni gredni elementi z različnimi nelinearnimi karakteristikami, element za polnilne stene in delno togi vezni element.

DRAIN - TABS

Program DRAIN - TABS je namenjen za neelastično dinamično analizo zgradb. Predstavlja sintezo programov DRAIN - 2D in TABS. TABS je program, ki je bil izdelan na Univerzi v Berkeleyu za elastično dinamično analizo zgradb in temelji na podobnih predpostavkah kot program EAVEK. Za program DRAIN - TABS opišemo celotno konstrukcijo z makroelementi, ki so povezani z medetažnimi

ploščami (kot pri programih TABS in EAVEK), posamezne makroelemente pa obravnavamo nelinearno (kot pri programu DRAIN - 2D).

4.5 Razni programi

GEKAR (GEometrijske KARakteristike prerezov)

Program GEKAR omogoča račun upogibnih karakteristik prerezov poligonalnih oblik in torzijskih geometrijskih karakteristik tankostenskih odprtih in zaprtih prerezov poligonalnih oblik. Program, ki ima brezformatne podatke, olajša račun geometrijskih karakteristik prerezov kompliciranih oblik, ki jih srečujemo tako v mostogradnji kot tudi v visokogradnji in ki zanje v literaturi ni mogoče najti končnih formul.

ANRES

Program ANRES je namenjen za določanje karakteristik armiranobetonskih pravokotnih prerezov po metodi mejnih stanj. Program na podlagi podatkov o prerezu in o armaturi izračuna odnos med momentom in ukrivljenostjo, interakcijski diagram mejnih vrednosti osne sile in momenta ter ob predpostavkah linearne poteka momentov po nosilcu tudi odnos med momentom in rotacijo. Rezultati programa služijo tako za oceno nosilnosti in duktilnosti prereza, kot tudi kot podatek za nelinearno dinamično analizo konstrukcij. Podatke podajamo v brezformatni obliki.

Programi za račun montažnih konstrukcij

V IKPIR FAGG smo razvili več programov za račun montažnih konstrukcij. Kot prvi je bil leta 1973 izdelan program za račun montažnih armiranobetonskih hal po sistemu MOL SGP Gorica, sledilo pa je še več programov za druge tipe armiranobetonskih konstrukcij. Nazadnje je bil izdelan dokaj splošen program, ki ga je mogoče uporabiti za poljuben (z določenimi omejitvami) montažni sistem. V ta namen je za račun montažnih konstrukcij določenega tipa treba vgraditi v program geometrijske karakteristike ustreznih elementov (stebrov, nosilcev, stropnih plošč, krovnih plošč itd.).

Račun temelji na predpostavki, da so posamezni montažni elementi medsebojno členkasto povezani. Program na osnovi osnovnih geometrijskih podat-

kov o obtežbi izračuna vse statične količine in deformacije, za vse elemente konstrukcije določi potrebne preseke armature ali kable za napenjanje in v predpisanih presekih izračuna dosežene napetosti v betonu in jeklu. Pri računu so upoštevani vsi možni obtežni primeri in njihove kombinacije. Čeprav so bile vse dosedanje aplikacije programa povezane z armiranobetonskimi konstrukcijami, je program uporaben tudi za jeklene konstrukcije.

Pregled važnejših programov na FAGG

ime	kratek opis	literatura	vzdrževanje in informacije
OKVIR	Statika linijskih konstr.	[8]	IKPIR
RAVOK	Statika ravninskih okvirov	[2]	IKPIR
MAKRE	Statika zgradb	[9]	IKPIR
FLASH	Statika splošnih konstr. po MKE	[11]	KMKG
EAVEK	Statika, dinamika in stabilnost zgradb	[4]	IKPIR
SHELLS	Statika lupinskih konstr.	[5]	Dobovišek
SAP IV	Statika in dinamika	[3]	
SAP V	splošnih konstrukcij po MKE	[12]	IKPIR
SAP VI		[13]	
NONFRAN	Nelinearna statika ravninskih okvirov	[14]	KMKG
ANSR	Nelinearna statika in dinamika splošnih konstr. po MKE	[15]	IKPIR
DRAIN - 2D	Nelinearna dinamika ravninskih okvirov	[16]	IKPIR
DRAIN - TABS	Nelinearna dinamika zgradb	[17]	IKPIR
GEKAR	Geometrijske karakteristike prerezov	[6]	IKPIR
ANRES	Karakteristike armiranobetonskih pravokotnih prerezov	[7]	IKPIR
Program za montažne konstr.	Analiza in dimenzioniranje montažnih konstrukcij	[10]	IKPIR

IKPIR = Institut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo

KMKG = Katedra za metalne konstrukcije in gradiva

5.0 Razvojni načrti

Delo, ki deloma že teče, deloma pa je v planu za prihodnje leto, obsega dopolnjevanje obstoječih programov (vključitev novih elementov v EAVEK, združitev OKVIRa in popravljenega programa STRESSPLOT, dopolnjevanje OKVIRa) in izdelavo novih programov (za račun plošč po metodi končnih elementov z avtomatično generacijo mreže ter grafičnim prikazom rezultatov, za računalniško projektiranje armature). Nadalje imamo v planu povezavo nekaterih programov v programski sistem (geometrijske karakteristike - analiza - dimenzioniranje - konstruiranje in risanje armature), ki bo omogočal avtomatizacijo celotnega postopka projektiranja.

6.0 Literatura

Publikacije RC FAGG in IKPIR FAGG

- [1] Kovačič I., Breška Z.
STRESSPLOT, Navodila za uporabo programa, Publikacija št. 9, 1975.
- [2] Planinc J.
RAVOK, Navodila za uporabo programa. Publikacija št. 10, 1975.
- [3] SAP IV, Navodila za uporabo programa. Publikacija št. 11, 1977.
- [4] Fajfar P.
EAVEK, Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij.
Publikacija št. 13, 1976.
- [5] Dobovišek B., Kramar J.
SHELLS, Opis programa in navodila za uporabo. Publikacija št. 14, 1977.
- [6] Lutar B.
GEKAR, Geometrijske karakteristike prerezov. Publikacija št. 15, 1979.
- [7] Štiherl D., Žigante R., Fischinger M., Fajfar P.
ANRES, Program za določanje karakteristik armiranobetonskih prerezov.
Publikacija št. 17, 1980 (v tisku).
- [8] Marolt V.
OKVIR, Program za račun linijskih konstrukcij, Publikacija št. 18, 1980 (v tisku).
- [9] Lutar B.
MAKRE (v pripravi)

SAVETOVANJE O HARDVERU I SOFTVERU U STRUKTURALNOJ
ANALIZI I RAČUNARSKOM PROJEKTOVANJU
BEOGRAD, 10 I 11 DECEMBRA, 1980

RAČUNALNIŠKO PROJEKTIRANJE ARMATURE
V ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJAH

Janez Duhovnik, Vlado Ljubič*

P o v z e t e k

Na Inštitutu za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR) FAGG v Ljubljani in v razvojnem oddelku GIP GRADIS tečejo raziskave v okviru raziskovalnega projekta "Projektiranje in izdelava armature", ki ga poleg Raziskovalne skupnosti Slovenije sofinancira tudi več pomembnih izvajalskih in projektantskih delovnih organizacij. V projektu je zajet celoten postopek projektiranja in izdelave armature v armiranobetonskih konstrukcijah vključno s knjigovodstvom. Rezultat projekta bo uvedba računalnikov v celoten proces od projekta do vgraditve armature. Na IKPIR-u smo v okviru projekta razvili nekaj programov za risanje armature. Tako delo omogoča nova grafična oprema in programi za računalniško grafiko, ki so bili že prej razviti na našem inštitutu.

*

Doc. mag. Janez Duhovnik, dipl. ing. gradb.

Vlado Ljubič, dipl. ing. gradb.

Naslov: IKPIR FAGG, 61000 Ljubljana, Jamova 2

1. Uvod

Z razvojem strojne in programske opreme se možnosti za uporabo računalnikov pri delu gradbenega konstrukterja čedalje bolj večajo. V Sloveniji smo prvi, za gradbenike uporabljeni STRESS program, dobili z računalnikom IBM 1130 na IMFIM FNT Univerze v Ljubljani leta 1968. Danes lahko na FAGG v Ljubljani uporabljamo več v tujini razvitih splošnejših programov, sami pa smo razvili več programov za obravnavanje posebnih problemov, ki se v vsakdanji praksi pogosto pojavljajo. Vsi ti programi le redko uporabljajo računalniško grafiko. Največkrat služi grafika za prikaz računskega modela in posameznih rezultatov. Precejšen delež konstrukterskega dela se zato še vedno opravlja na klasičen način. Projektiranje konstrukcije je proces, v katerem nastopajo določeni postopki, med katerimi se dajo nekateri enostavno programirati, ker je zanje vnaprej določen točen algoritem. Nekateri postopki pa so sestavljeni iz odločitev, ki so odvisne od izkušenj konstruktérja in številnih parametrov. Take postopke je danes nemogoče v celoti programirati. Eden izmed takih postopkov je projektiranje armature v armarobetonjskih konstrukcijah. [1].

2. Raziskovalni projekt "Projektiranje in izdelava armature"

Projekt sta raziskovalni skupnosti Slovenije predložila GIP GRADIS in IKPIR FAGG. K sofinanciranju so povabljene vse večje izvajalske in projektantske delovne organizacije iz Slovenije. Večina se je povabilu odzvala. Projekt je bil med predlogi za raziskave na področju konstrukcij v letih 1981 - 1985 med najboljše ocenjenimi. Oceno je izvršilo splošno združenje gradbeništva in industrije gradbenega materiala Slovenije na podlagi posebne ankete med delovnimi organizacijami.

Projekt sestavljajo naloge s področja projektiranja: Računalniško projektiranje armature, Računalniško projektiranje armaturnih načrtov za elemente montažnih konstrukcij, za ravninske okvirne konstrukcije, za plošče in stene, ter naloge s področja izdelave armature: Teze za pripravo standarda o tipizaciji oblik armaturnih palic, Uporaba računalnika pri industrijski izdelavi armature, Računalniško vodeno naročanje in izdelava arma-

ture, Računalniško knjigovodstvo pri izdelavi armature.

Predvidena vrednost projekta po cenah iz leta 1980 je 8.65 miliona.

IKPIR FAGG je nosilec nalog s področja projektiranja. Naloge tečejo vzporedno in bodo zaključene leta 1983.

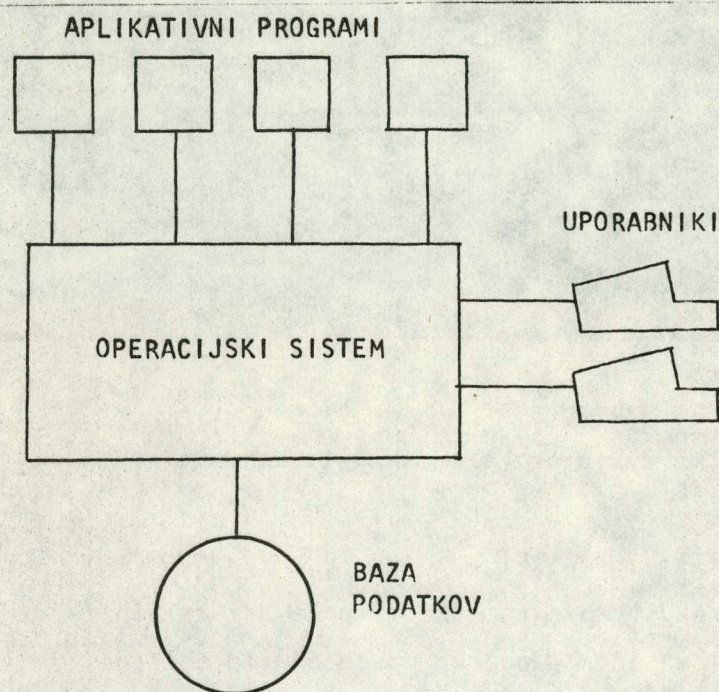
Osnovni problemi, s katerimi so se srečavali tudi raziskovalci na tujem [2] so taki, ki bi jih bilo treba rešiti že pri običajnem projektiranju armature. Gre za standardizacijo oblik armaturnih palic, standardizacijo simbolov, ki se uporabljajo pri risanju in za standardizacijo nekaterih vrst armaturnih načrtov. Jasno je, da je tudi v prihodnosti nemogoče pričakovati, da bomo prav vse armaturne načrte izdelovali z računalniki, oziroma da bo izdelava vse armature tekla na s procesnimi računalniki vodenih strojih. Zato je prva temeljna odločitev naslednja: med posameznimi fazami projektiranja ali izdelave mora biti mogoč prehod z računalniške obdelave na klasično in obratno. Zato je bila v prvih dveh nalogah predvidena izdelava predlogov ustreznih standardov, ki bi ustrezali obema načinoma dela. Medtem je Jugoslovanski zavod za standardizacijo izdelal te predloge, ki so kopija ISO standardov, ki pa niso popolnoma prilagojeni računalniški obdelavi. Ustrezne predloge za spremembe oziroma način sprejemanja teh standardov smo posredovali Jugoslovanskemu zavodu za standardizacijo. Osnovni namen teh standardov je poenostavitev in pocenitev dela v celoti. Druga temeljna odločitev je, da morajo biti programi za projektiranje izdelani tako, da omogočajo interaktivno delo, ker le to omogoča ustvarjalno delo konstrukterja tudi v teku posameznih faz dela. Tretja temeljna odločitev pa je, da morajo biti načrti izdelani v merilu in ne v obliki posplošenih shem, ki jih je mogoče uporabiti le pri enostavnih konstrukcijah. Odločitev za razvijanje lastnih programov je bila sprejeta, ker so tuji programi predvsem komercialni in ker v celoti pri nas niso uporabni zaradi različnih tehničnih predpisov.

3. Reševanje problemov projektiranja armature s pomočjo računalnika

Nekaterih faz projektiranja ni mogoče do konca avtomatizirati, zato je nesmiselno pričakovati, da bomo izdelali programski sistem, ki bo iz vhodnih podatkov izračunal končne rezultate in izrisal načrte. Obstajajo problemi, ki so preveč odprte narave in zahtevajo prisotnost konstrukterja.

Razumen programski sistem mora dovoljevati [3]:

- INTERAKTIVNI DIALOG, kjer se razrešujejo logične in izkustvene odločitve, ki se ne morejo vnaprej predvidevati
- Projektiranje konstrukcij je proces, ki ima opraviti z veliko količino podatkov, ki jih je nesmiselno pri vsakokratnem delu z računalnikom na novo podajati. Računalnik izkoristimo za umeten spomin, kjer so shranjeni vsi podatki o konstrukciji v BAZI PODATKOV, ki je vedno dostopna programom. Programi podatke v bazi dopolnjujejo in nekatere tudi spreminjajo.

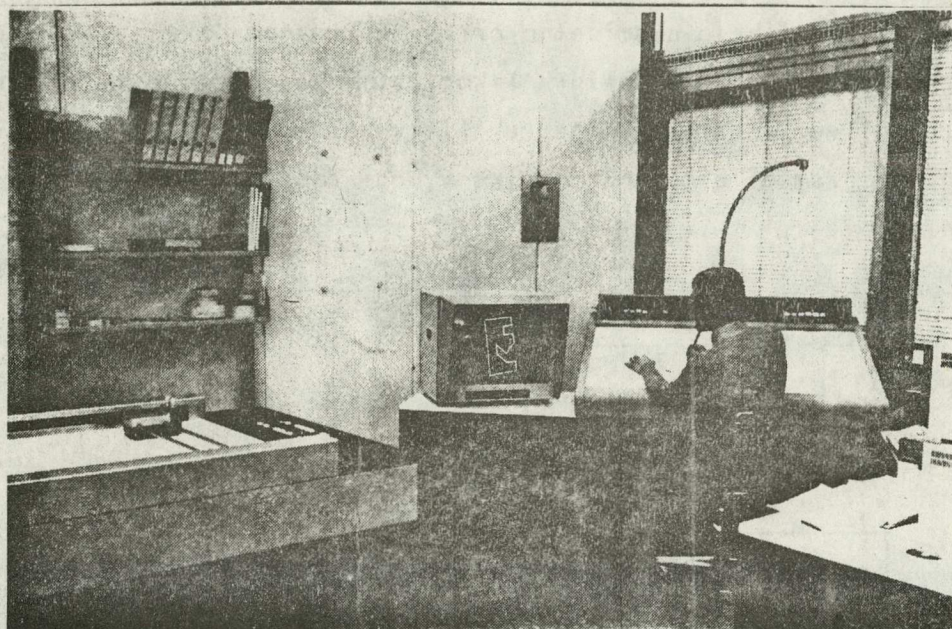


Slika 1: Integrirani programski sistem

Razvoj programiranja naj bi v naslednjih letih predstavljala sinteza enoproblemskih programov v integrirane programske sisteme (Slika 1). Ta sistem naj bi zajemal vse faze obravnave konstrukcije, podatke pa črpal in spreminjal iz skupne baze podatkov, stalno shranjenih na disku.

Programiranje se razvija v smeri večje UDOBNOŠTI uporabnika in USTVARJALNEGA DIALOGA. Izdelujejo se terminali, ki so poleg komunikacijske vezi z računalnikom tudi inteligen ten pripomoček. Razvijajo se različne interaktivne metode za preprost dialog med uporabnikom in računalnikom. Opremo, ki vse to omogoča, imenujemo INTERAKTIVNO KONSTRUKTERSKO MESTO [4], kjer je na voljo grafični terminal z digitalno tablo in risalnikom. Tako organizirano

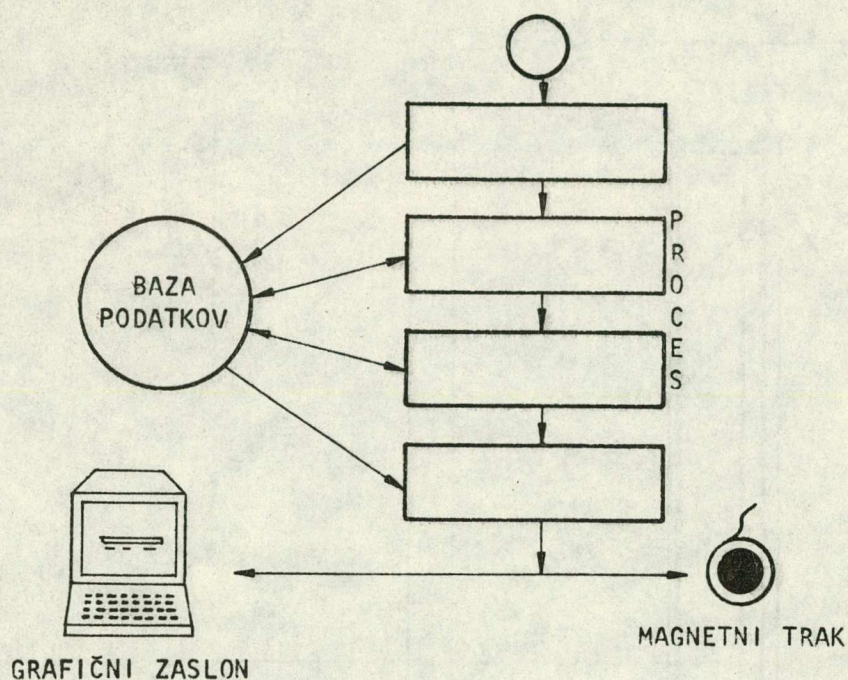
konstruktorsko mesto omogoča ob razumnem programskem sistemu za projektiranje popoln izkoristek časa, znanja in ustvarjalnosti (Slika 2).



Slika 2. Interaktivno konstruktorsko mesto

Na IKPIR smo razvili programe za risanje armaturnih načrtov enostavnih nosilcev [5]. Izdelava načrta poteka po fazah (ločeni enostavni programi), med katerimi gre informacija o podatkih preko enostavne baze podatkov. Vsaka faza izdelava višji nivo baze podatkov. Najvišji nivo je enostaven grafični programski jezik, ki ga ustrezen program čita in izvaja (riše na grafični zaslon ali izpisuje določeno informacijo za risanje na magneten trak, ki se kasneje izriše na računalniku (Slika 3).

Težili smo za tem, da bo mogoče kasneje izdelane programe enostavno vključiti v integrirani programski sistem za projektiranje. Programi omogočajo risanje armaturnih načrtov in prostorski prikaz armiranja elementov (Slika 4 in Slika 5). Obravnavali smo tudi fazo dimenzioniranja montažnega prostoležečega nosilca [6]. Pokazalo se je, da je razporejanje izračunane armature najzahtevnejša faza.



Slika 3: Dograjevanje nivoja baze podatkov

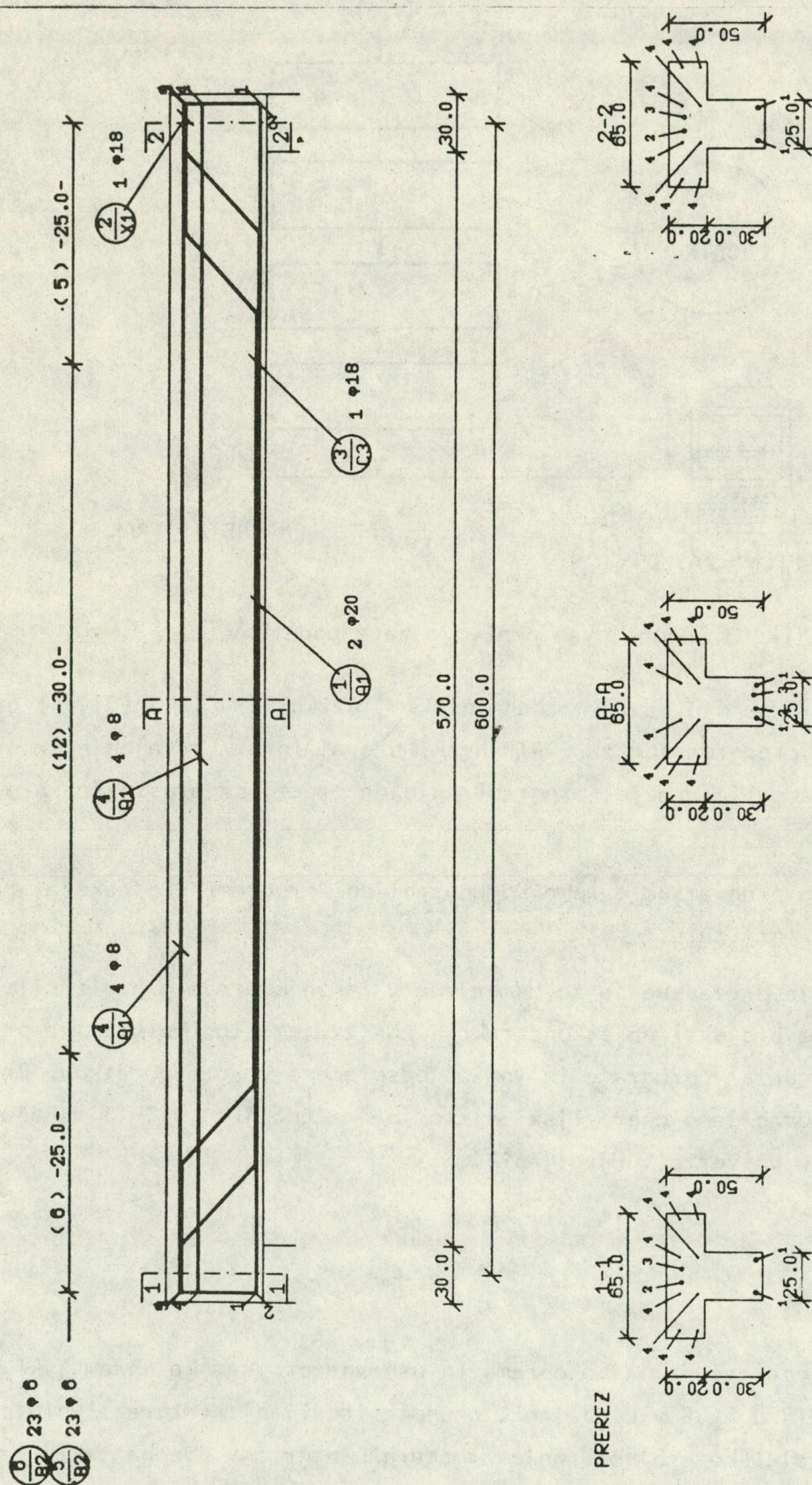
Vsi programi so napisani v računalniškem jeziku STRUCTRAN [7], ki ga uporabljamo kot predprocesor za FORTRAN-ski prevajalnik. Prevajanje tako napisanih programov je dražje, programiranje pa precej preprostejše in preglednejše.

Za grafično programsko opremo so uporabljeni programi -P- paketa, razvitega na našem Inštitutu.

Naša sedanja prizadevanja so usmerjena v iskanje prave organizacije baze podatkov za projektiranje konstrukcij. Načrtujemo tudi sistem za prenos podatkov iz baze v programe in vnašanje sprememb v bazo podatkov. Pri tem s pridom uporabljamo operacijski sistem na računalniku DEC-10 v Računalniškem centru Univerze v Ljubljani.

4. Sklep

Nova grafična računalniška oprema in osnovna programska oprema, ki je na voljo na IKPIR-u FAGG v Ljubljani, omogoča razvijanje interaktivnih programov za računalniško projektiranje armaturnih načrtov. Uvedba takih programov bo omogočala konstrukterju, da ves svoj čas posveti ustvarjalnemu delu, uvedba računalnikov v celoten proces projektiranja in izdelave armature pa bo poenostavila in pocenila delo v celoti.



Slika 4: Armaturni načrt prostoležečega nosilca

IZBERI SI TOCKO POGLEDA. POGLEDI SO
UGRAJENI - IZBIRAJ MED 1 IN 14. 0 CE
KONČAS 713

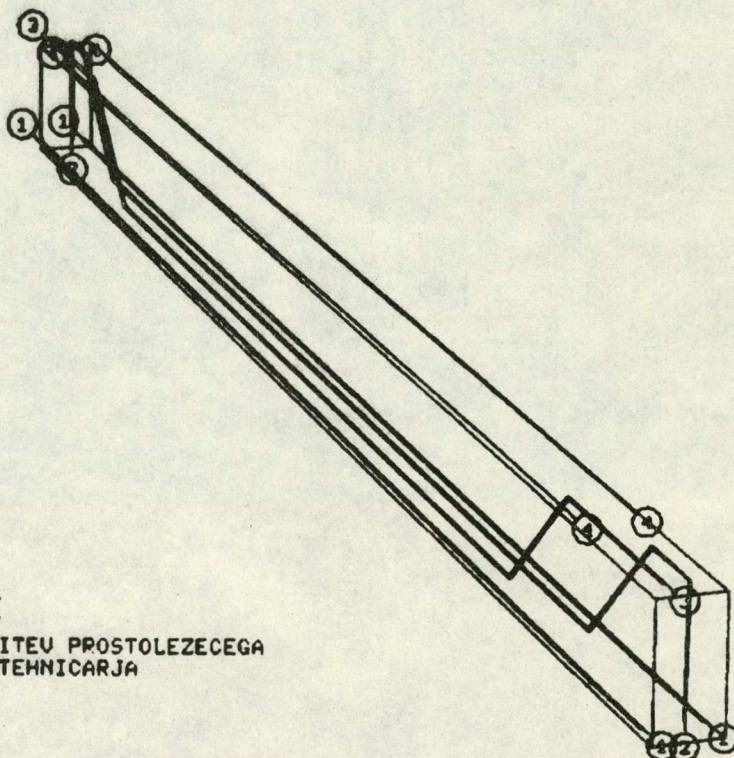
PODAJ FAKTOR NAKLONA POGLEDA 1:FAKT
FAKTOR (MED -9999999 IN 9999999) ?1

PODAJ TOCKO OD KODER GLEDAS X Y Z ?1000 505 400

PODAJ FAKTOR POVEČAVE OSNOVNE SLIKE
(OD 0.1 DO 20.0) ?3

PROGRAM SPACE

PROSTORSKA PREDSTAVITEV PROSTOLEZECEGA
NOSILCA, PRIMER IZ TEHNICARJA



Slika 5: Prostorska predstavitev vzdolžne armature nosilca

5. Literatura

- [1] Simon Bensasson: A state-of-the-art review of computer programs for the detailed design of reinforced concrete. The Structural Engineer 1978 No. 10, Volume 56A.
- [2] L. L. Jones: LUCID - an aid to structural detailing. The Structural Engineer, Januar 1975, No. 1, Volume 53.
- [3] O. Jungbluth: Rechnerunterstütztes Entwerfen in Stahlbrückenbau. Bauingenieur 52 (1977).
- [4] Flessner H.: Interaktives Konstruktionsplatz. Deutscher Betontag 1975 Hamburg.

- [5] Ljubič V.: Risanje armaturnih načrtov z računalniki. Diplomski naloga FAGG Ljubljana, 1980.
- [6] Pangeršič M.: Dimenzioniranje in risanje armaturnih načrtov prostoležečega nosilca. Diplomski naloga FAGG Ljubljana, 1980.
- [7] STRUCTRAN, Priročnik za programski jezik STRUCTRAN. IKPIR 1979.
- [8] - P - paket, Paket programov za risalnik, IKPIR 1979.

SAVETOVANJE O HARDVERU I SOFTVERU U STRUKTURALNOJ
ANALIZI I RAČUNARSKOM PROJEKTOVANJU
BEOGRAD, 10 I 11 DECEMBRA, 1980

PROGRAM ZA AVTOMATIČNI RAČUN MONTAŽNIH ARMIRANO-
BETONSKIH KONSTRUKCIJ

J.Reflak, J.Duhovnik, P.Fajfar, I.Kovačič, V.Marolt

P o v z e t e k

V članku se podaja opis in uporaba posebnega avtomatičnega računa za montažne armiranobetonske konstrukcije s pomočjo računalniškega programa. Program je v zasnovi splošen in ga je možno aplicirati na poljuben montažni sistem, ki ima vnaprej določene geometrijske karakteristike posameznih elementov. V programu so avtomatično zajeti vsi možni obtežni slučajji na konstrukciji v skladu z našimi predpisi, avtomatično se upošteva vpliv obtežbe vetra, žerjavov ter seizmičnih sil. Pri računu stebrov se upošteva teorija II. reda. Program na osnovi geometrijskih podatkov o konstrukciji ter podatkov o obtežbi avtomatično izračuna za kombinacijo kritičnih obtežnih slučajev za posamezne elemente konstrukcije vse statične količine in deformacije ter za vse elemente konstrukcije določi potrebne preseke armature ali kable za napenjanje in v vnaprej predpisanih presekih izračuna in izpiše dosežene napetosti v betonu in jeklu. Program opravi v celoti dimenzioniranje celotne konstrukcije razen temeljev. Po zaključku izračuna in dimenzioniranja vseh elementov program na tiskalniku izriše shemo elementov po posameznih etažah.

1.0. Uvod

Želji investorjev, da poceni in predvsem hitro zgradi nove pokrite površine za najrazličnejše namene (proizvodne dvorane, poslovne prostore, otroške vrtce, šole, ipd.), je mogoče ustreči le z gradnjo objektov iz industrijsko izdelanih montažnih modularnih elementov. V Sloveniji obstoja že več znanih in zelo uporabnih montažnih sistemov, ki jih proizvajajo SGP Gorica, SGP Grosuplje, SGP Gradis, SGP Vegrad, SGP Primorje, idr. Vsi zgoraj naštetih montažni sistemi se predvsem uporabljajo za gradnjo montažnih dvoran za industrijo in servisne storitve. V omenjenem članku pa bomo največ pozornosti posvetili sistemu "INGRAD-CELJE", ki se po obsegu svojih elementov in njih uporabnosti najbolj približa konstrukcijam, ki ne služijo samo kot industrijske zgradbe, ampak tudi za objekte poslovnega, trgovskega značaja, za šole, vrtce, ipd. Za omenjeni sistem "INGRAD" je bil izdelan poseben program za avtomatični račun celotne statike in dinamike teh konstrukcij vključno z dimenzioniranjem vseh elementov. Program je po zasnovi splošen in ga je možno aplicirati na poljuben montažni sistem, ki ima vnaprej določene geometrijske karakteristike posameznih elementov. Upravičenost montažne gradnje in izdelava posebnih računalniških programov za te konstrukcije potrjujejo naslednje prednosti: predvsem cenečnost ob istočasni zelo dobri kvaliteti objekta ter v kratkem času izgradnje, ki je skoraj neodvisna od vremena. Ob utečeni industrijski proizvodnji in izdelavi standardnih elementov na zalogo pomeni čas za izdelavo tehnične dokumentacije dobljen del časa, potrebnega za postavitve zgradbe, šteto od priprave investicijske dokumentacije do začetka uporabe objekta. S tipizacijo elementov po geometriji je možno ob uporabi ustreznega računalniškega programa izredno ekonomično in časovno hitro izdelati statični elaborat za poljuben montažni objekt. V programu so avtomatično zajeti vsi obtežni slučajji na konstrukciji v skladu z našimi predpisi, avtomatično se upošteva vpliv obtežbe vetra, žerjavov ter seizmičnih sil. Pri računu stebrov program upošteva teorijo II. reda. Program na osnovi osnovnih geometrijskih podatkov o konstrukciji ter podatkov o obtežbi

avtomatično izračuna za kombinacijo kritičnih obtežnih slučajev za posamezne elemente konstrukcije vse statične količine in deformacije ter za vse elemente konstrukcije določi potrebne preseke armature ali kable za napenjanje in v vnaprej predpisanih presekih izračuna in izpiše dosežene napetosti v betonu in jeklu. Program opravi v celoti dimenzioniranje celotne konstrukcije razen temeljev. Po zaključku izračuna in dimenzioniranja vseh elementov program na tiskalniku izriše shemo montažnih elementov po posameznih etažah.

2.0. Konstruktivni sistem

Konstrukcije sestavljajo trije osnovni elementi:

a/ Krovni elementi, ki so ali dvojne TT krovne plošče ali strešne lege različnih prerezov ali pa etažne TT plošče različnih prerezov.

b/ Nosilci, ki so: jekleni nosilci žerjavne proge, dvokapni strešni I nosilci različnih višin, prednapeti strešni I nosilci različnih višin, T nosilci različnih višin, U nosilci, H nosilci, PI nosilci ter T nosilci žerjavnih prog.

c/ Stebri so dimenzij od 20/40 cm do 60/100 cm.

Krovni elementi so dolžine od 6 m do 13,20 m. Nosilci pa imajo razpone od 6 do 24 m, odvisno od obtežbe nosilca in njegove funkcije. Dolžina in dimenzija stebrov zavisita od števila in višine etaž.

Oblika objektov v tlorisu je sestavljena iz pravokotnih polj. Konstrukcija ima lahko v tlorisu največ 100 stebrov. Po višini pa ima lahko objekt največ 4 etaže. Stebri so postavljeni v vogalih polj, nosilci morajo biti položeni na robovih ali vzdolž robov polj in morajo segati od stebra do stebra. Krovni elementi morajo prekrivati celotno polje, na nosilec pa lahko z ene ali z druge strani nalega le po ena vrsta krovnih elementov.

Nosilci žerjavnih prog morajo ležati vzdolž smeri hale, lega ostalih tipov nosilcev je možna v prečni in vzdolžni smeri.

Nosilci so na stebrih položeni ekscentrično. Če je ekscentričnost enojna, je upoštevana v celoti. Če pa je ekscentričnost dvojna, zanemarimo ekscentričnost v smeri vzdolž no-

silca, ker je običajno veliko manjša od ekscentričnosti prečno na os nosilca. Nosilci imajo tudi lahko konzole.

Stebri so v temelje toga vpeti, kar mora biti zagotovljeno s čašastim stikom nad temeljem in stebrom. Nosilci so na stebre pritrjeni členkasto. Stik je izveden z armaturnim trnom, ki mora biti sposoben prenašati sile, ki nastanejo v stiku. Krovni elementi so med seboj in z nosilci toga povezani in tvorijo v ravnini stropa toga šipo, ki se premika samo kot toga telo.

3.0. Računski model

Za posamezne elemente konstrukcije je v programu upoštevan čimbolj poenostavljen, večinoma statično določen sistem. Poenostavitve, ki so pri tem upoštevane, so take, kot jih običajno uporabljamo v statičnih računih. Statično določen sistem omogoča enostaven izračun notranjih sil in enostavno odvisnost medsebojnih sil na stikih med elementi. Med najpomembnejše posledice odločitve, da naj bo računski model statično določen, sodi možnost enostavne optimizacije pri dimenzioniranju. Če spremenimo dimenzije prečnih presekov elementov in tako nastalo spremembo lastne teže zanemarimo, ni treba znova računati notranjih sil. Za preračun objekta na horizontalno obtežbo upoštevamo naslednje predpostavke:

- objekt je sestavljen iz stebrov, ki so medsebojno členkasto povezani z nosilci oziroma krovnimi elementi. Vsak steber zase lahko obravnavamo kot konzolo, ki je toga vpeta v temeljna tla in obremenjena s horizontalnimi silami;
- mase so skoncentrirane v višini nivojev;
- posamezni nivoji (etaže) objekta so togi v svoji (horizontalni) ravnini.

Pri računu horizontalne obtežbe je upoštevana teorija elastičnosti in teorija II. reda. Objekti so v splošnem nesimetrični in je pri računu vplivov horizontalnih sil upoštevan prostorski način računa.

4.0. Obtežba

Obtežba deluje neposredno na krovne elemente ali no-

silce, lahko pa tudi na konstrukcijo kot celoto. Na krovne elemente lahko deluje neposredno stalna obtežba, sneg, koristna obtežba in veter. Na nosilce lahko delujejo neposredno stalna obtežba, koristna obtežba, potres, veter in žerjav. Posredno so nosilci obteženi z akcijami krovnih elementov. Stebri so lahko obteženi samo z akcijami nosilcev.

Konstrukcija kot celota je obtežena s silami zaradi vetra, potresa in žerjava. Sile vetra in žerjava izračuna uporabnik peš, sile zaradi potresa pa izračuna program na osnovi podatkov avtomatično. Elementi zgradbe so preračunani na obtežne kombinacije, ki so sestavljene iz osmih osnovnih obtežnih primerov:

1. Lastna teža elementov in stalna obtežba
2. Koristna obtežba stropov med etažami
3. Sneg po celi površini strehe
4. Obtežba z žerjavi
5. Veter v prečni smeri, ki povzroča obtežbo tudi v navpični smeri
6. Veter v vzdolžni smeri
7. Potres v prečni smeri
8. Potres v vzdolžni smeri.

Pregled obtežnih kombinacij pri posameznih elementih je podan na naslednji strani.

5.0. Obremenitev

Obremenitve krovnih elementov program izračuna s predpostavko, da so to prostoležeči nosilci. Tudi vsi nosilci so obravnavani kot prostoležeči. Obremenitve stebrov so s programom izračunane, kot da so stebri konzolni nosilci, ki so na stiku s posameznimi nivoji obteženi s silami v vseh treh smereh. Pri računanju premikov zaradi navpične obtežbe je račun izvršen po teoriji II. reda. Na ta način je upoštevan uklon stebrov. Raznos vodoravne obtežbe v višinah posameznih nivojev je izvršen v razmerju togosti stebrov.

6.0. Dimenzioniranje

Napetosti so izračunane po metodi dopustnih napetosti pri vseh elementih. Pri računu deformacij krovnih elementov

je upoštevano zmanjšanje vztrajnostnega momenta zaradi razpok v natezni coni ter lezenje betona.

7.0. Opis poteka programa

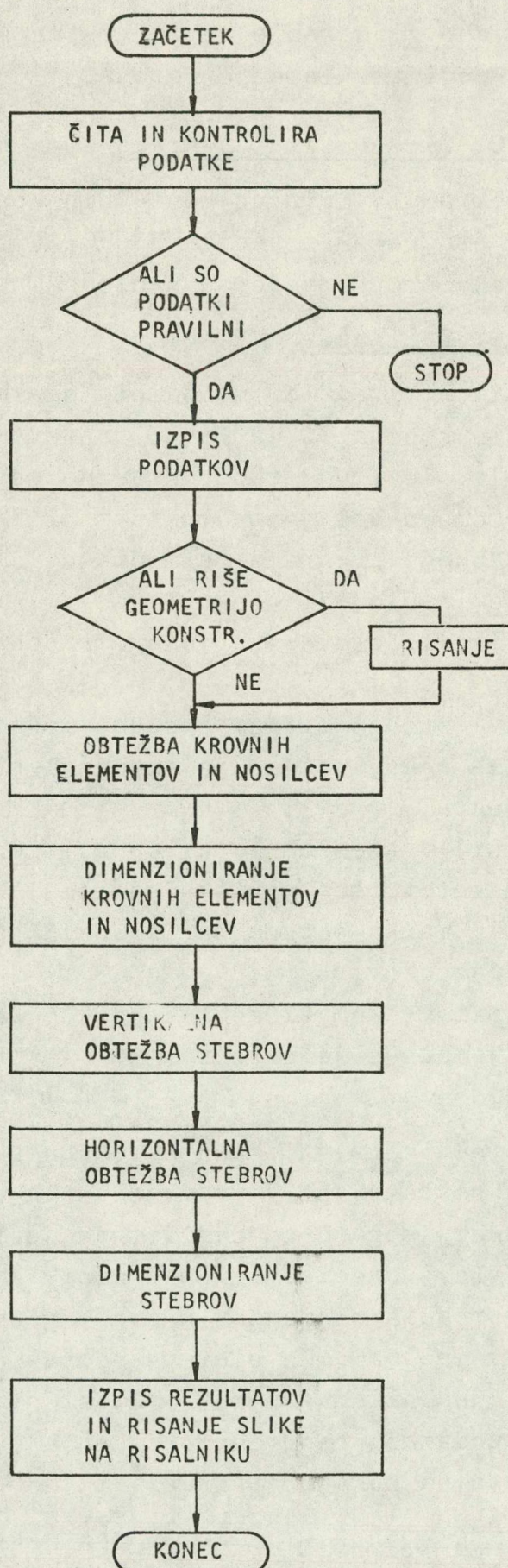
Program za izračun montažnih konstrukcij "INGRAD" je napisan v programskem jeziku STRUCTAN za računalnik Cyber. Diagram poteka programa je na naslednji strani.

8.0. Zaključek

Vsi proizvajalci montažnih sistemov v Sloveniji so po nekaj letih spoznali, da lahko zahtevam investitorja hitro ustrežejo le, če imajo tudi ustrezno tehnično dokumentacijo, katere pomemben del je tudi statični izračun objekta. S pomočjo posebnega programa za montažne sisteme so bili doseženi predvsem naslednji efekti:

- čas izdelave statičnega računa se je zmanjšal na minimum;
- v izredno hitrem času so možne variantne rešitve;
- za nekajkrat se je zmanjšal strošek za statični elaborat objekta;
- pri vsakem objektu, čeprav je izdelan iz prefabriciranih elementov, se upošteva racionalizacija, vsa potrebna armatura in marka betona ter preseki zavisijo od konkretne obtežbe in razponov;
- pri vsakem elementu objekta se upoštevajo vse možne kritične kombinacije obtežbe, kar je pri peš računanju večkrat nemogoče.

Investicija v izdelavo posebnega programa za izvajalce montažnih sistemov se je v dosedanjih primerih bogato obrestovala. Posebej moramo poudariti, da je takšno učinkovitost možno doseči le s specialnim programom, kjer je možno vse poznane količine tipskih elementov z vsemi geometrijskimi podatki že vgraditi v program. Če bi iste montažne sisteme računali prav tako z računalnikom s pomočjo klasičnih programov, bi bila priprava podatkov neprimerno obsežnejša in bolj komplicirana, sam izračun pa nekajkrat dražji in ne bi vseboval vseh obtežnih primerov, ki so posebej značilni za te konstrukcije. Poleg tega bi morali dimenzioniranje vseh elementov opraviti po-



SAVETOVANJE O HARDVERU I SOFTWARE U STRUKTURALNOJ
ANALIZI I RAČUNARSKOM PROJEKTOVANJU
BEOGRAD, 10 I 11 DECEMBRA, 1980

PROGRAM ZA AVTOMATIČNI RAČUN MONTAŽNIH ARMIRANO-
BETONSKIH KONSTRUKCIJ

J.Reflak, J.Duhovnik, P.Fajfar, I.Kovačič, V.Marolt

P o v z e t e k

V članku se podaja opis in uporaba posebnega avtomatičnega računa za montažne armiranobetonske konstrukcije s pomočjo računalniškega programa. Program je v zasnovi splošen in ga je možno aplicirati na poljuben montažni sistem, ki ima vnaprej določene geometrijske karakteristike posameznih elementov. V programu so avtomatično zajeti vsi možni obtežni slučaji na konstrukciji v skladu z našimi predpisi, avtomatično se upošteva vpliv obtežbe vetra, žerjavov ter seizmičnih sil. Pri računu stebrov se upošteva teorija II. reda. Program na osnovi geometrijskih podatkov o konstrukciji ter podatkov o obtežbi avtomatično izračuna za kombinacijo kritičnih obtežnih slučajev za posamezne elemente konstrukcije vse statične količine in deformacije ter za vse elemente konstrukcije določi potrebne preseke armature ali kable za napenjanje in v vnaprej predpisanih presekih izračuna in izpiše dosežene napetosti v betonu in jeklu. Program opravi v celoti dimenzioniranje celotne konstrukcije razen temeljev. Po zaključku izračuna in dimenzioniranja vseh elementov program na tiskalniku izriše shemo elementov po posameznih etažah.

1.0. Uvod

Želji investitorjev, da poceni in predvsem hitro zgradi nove pokrite površine za najrazličnejše namene (proizvodne dvorane, poslovne prostore, otroške vrtce, šole, ipd.), je mogoče ustreči le z gradnjo objektov iz industrijsko izdelanih montažnih modularnih elementov. V Sloveniji obstoja že več znanih in zelo uporabnih montažnih sistemov, ki jih proizvajajo SGP Gorica, SGP Grosuplje, SGP Gradis, SGP Vegrad, SGP Primorje, idr. Vsi zgoraj naštetih montažni sistemi se predvsem uporabljajo za gradnjo montažnih dvoran za industrijo in servisne storitve. V omenjenem članku pa bomo največ pozornosti posvetili sistemu "INGRAD-CELJE", ki se po obsegu svojih elementov in njih uporabnosti najbolj približa konstrukcijam, ki ne služijo samo kot industrijske zgradbe, ampak tudi za objekte poslovnega, trgovskega značaja, za šole, vrtce, ipd. Za omenjeni sistem "INGRAD" je bil izdelan poseben program za avtomatični račun celotne statike in dinamike teh konstrukcij vključno z dimenzioniranjem vseh elementov. Program je po zasnovi splošen in ga je možno aplicirati na poljuben montažni sistem, ki ima vnaprej določene geometrijske karakteristike posameznih elementov. Upravičenost montažne gradnje in izdelava posebnih računalniških programov za te konstrukcije potrjujejo naslednje prednosti: predvsem cenečnost ob istočasni zelo dobri kvaliteti objekta ter v kratkem času izgradnje, ki je skoraj neodvisna od vremena. Ob utečeni industrijski proizvodnji in izdelavi standardnih elementov na zalogo pomeni čas za izdelavo tehnične dokumentacije dobršen del časa, potrebnega za postavitve zgradbe, šteto od priprave investicijske dokumentacije do začetka uporabe objekta. S tipizacijo elementov po geometriji je možno ob uporabi ustreznega računalniškega programa izredno ekonomično in časovno hitro izdelati statični elaborat za poljuben montažni objekt. V programu so avtomatično zajeti vsi obtežni slučajji na konstrukciji v skladu z našimi predpisi, avtomatično se upošteva vpliv obtežbe vetra, žerjavov ter seizmičnih sil. Pri računu stebrov program upošteva teorijo II. reda. Program na osnovi osnovnih geometrijskih podatkov o konstrukciji ter podatkov o obtežbi

avtomatično izračuna za kombinacijo kritičnih obtežnih slučajev za posamezne elemente konstrukcije vse statične količine in deformacije ter za vse elemente konstrukcije določi potrebne preseke armature ali kable za napenjanje in v vnaprej predpisanih presekih izračuna in izpiše dosežene napetosti v betonu in jeklu. Program opravi v celoti dimenzioniranje celotne konstrukcije razen temeljev. Po zaključku izračuna in dimenzioniranja vseh elementov program na tiskalniku izriše shemo montažnih elementov po posameznih etažah.

2.0. Konstruktivni sistem

Konstrukcije sestavljajo trije osnovni elementi:

a/ Krovni elementi, ki so ali dvojne TT krovne plošče ali strešne lege različnih prerezov ali pa etažne TT plošče različnih prerezov.

b/ Nosilci, ki so: jekleni nosilci žerjavne proge, dvo-
kapni strešni I nosilci različnih višin, prednapeti strešni I
nosilci različnih višin, T nosilci različnih višin, U nosilci,
H nosilci, PI nosilci ter T nosilci žerjavnih prog.

c/ Stebri so dimenzij od 20/40 cm do 60/100 cm.

Krovni elementi so dolžine od 6 m do 13,20 m. Nosilci pa imajo razpone od 6 do 24 m, odvisno od obtežbe nosilca in njegove funkcije. Dolžina in dimenzija stebrov zavisita od števila in višine etaž.

Oblika objektov v tlorisu je sestavljena iz pravokotnih polj. Konstrukcija ima lahko v tlorisu največ 100 stebrov. Po višini pa ima lahko objekt največ 4 etaže. Stebri so postavljeni v vogalih polj, nosilci morajo biti položeni na robovih ali vzdolž robov polj in morajo segati od stebra do stebra. Krovni elementi morajo prekrivati celotno polje, na nosilec pa lahko z ene ali z druge strani nalega le po ena vrsta krovnih elementov.

Nosilci žerjavnih prog morajo ležati vzdolž smeri hale, lega ostalih tipov nosilcev je možna v prečni in vzdolžni smeri.

Nosilci so na stebrih položeni ekscentrično. Če je ekscentričnost enojna, je upoštevana v celoti. Če pa je ekscentričnost dvojna, zanemarimo ekscentričnost v smeri vzdolž no-

silca, ker je običajno veliko manjša od ekscentričnosti prečno na os nosilca. Nosilci imajo tudi lahko konzole.

Stebri so v temelje toga vpeti, kar mora biti zagotovljeno s čašastim stikom nad temeljem in stebrom. Nosilci so na stebre pritrjeni členkasto. Stik je izveden z armaturnim trnom, ki mora biti sposoben prenašati sile, ki nastanejo v stiku. Krovni elementi so med seboj in z nosilci toga povezani in tvorijo v ravnini stropa toga šipo, ki se premika samo kot toga telo.

3.0. Računski model

Za posamezne elemente konstrukcije je v programu upoštevan čimbolj poenostavljen, večinoma statično določen sistem. Poenostavitve, ki so pri tem upoštevane, so take, kot jih običajno uporabljamo v statičnih računih. Statično določen sistem omogoča enostaven izračun notranjih sil in enostavno odvisnost medsebojnih sil na stikih med elementi. Med najpomembnejše posledice odločitve, da naj bo računski model statično določen, sodi možnost enostavne optimizacije pri dimenzioniranju. Če spremenimo dimenzije prečnih presekov elementov in tako nastalo spremembo lastne teže zanemarimo, ni treba znova računati notranjih sil. Za preračun objekta na horizontalno obtežbo upoštevamo naslednje predpostavke:

- objekt je sestavljen iz stebrov, ki so medsebojno členkasto povezani z nosilci oziroma krovnimi elementi. Vsak steber zase lahko obravnavamo kot konzolo, ki je toga vpeta v temeljna tla in obremenjena s horizontalnimi silami;
- mase so skoncentrirane v višini nivojev;
- posamezni nivoji (etaže) objekta so togi v svoji (horizontalni) ravnini.

Pri računu horizontalne obtežbe je upoštevana teorija elastičnosti in teorija II. reda. Objekti so v splošnem nesimetrični in je pri računu vplivov horizontalnih sil upoštevan prostorski način računa.

4.0. Obtežba

Obtežba deluje neposredno na krovne elemente ali no-

silce, lahko pa tudi na konstrukcijo kot celoto. Na krovne elemente lahko deluje neposredno stalna obtežba, sneg, koristna obtežba in veter. Na nosilce lahko delujejo neposredno stalna obtežba, koristna obtežba, potres, veter in žerjav. Posredno so nosilci obteženi z akcijami krovnih elementov. Stebri so lahko obteženi samo z akcijami nosilcev.

Konstrukcija kot celota je obtežena s silami zaradi vetra, potresa in žerjava. Sile vetra in žerjava izračuna uporabnik peš, sile zaradi potresa pa izračuna program na osnovi podatkov avtomatično. Elementi zgradbe so preračunani na obtežne kombinacije, ki so sestavljene iz osmih osnovnih obtežnih primerov:

1. Lastna teža elementov in stalna obtežba
2. Koristna obtežba stropov med etažami
3. Sneg po celi površini strehe
4. Obtežba z žerjavi
5. Veter v prečni smeri, ki povzroča obtežbo tudi v navpični smeri
6. Veter v vzdolžni smeri
7. Potres v prečni smeri
8. Potres v vzdolžni smeri.

Pregled obtežnih kombinacij pri posameznih elementih je podan na naslednji strani.

5.0. Obremenitev

Obremenitve krovnih elementov program izračuna s predpostavko, da so to prostoležeči nosilci. Tudi vsi nosilci so obravnavani kot prostoležeči. Obremenitve stebrov so s programom izračunane, kot da so stebri konzolni nosilci, ki so na stiku s posameznimi nivoji obteženi s silami v vseh treh smereh. Pri računanju premikov zaradi navpične obtežbe je račun izvršen po teoriji II. reda. Na ta način je upoštevan uklon stebrov. Raznos vodoravne obtežbe v višinah posameznih nivojev je izvršen v razmerju togosti stebrov.

6.0. Dimenzioniranje

Napetosti so izračunane po metodi dopustnih napetosti pri vseh elementih. Pri računu deformacij krovnih elementov

je upoštevano zmanjšanje vztrajnostnega momenta zaradi razpok v natezni coni ter lezenje betona.

7.0. Opis poteka programa

Program za izračun montažnih konstrukcij "INGRAD" je napisan v programskem jeziku STRUCTAN za računalnik Cyber. Diagram poteka programa je na naslednji strani.

8.0. Zaključek

Vsi proizvajalci montažnih sistemov v Sloveniji so po nekaj letih spoznali, da lahko zahtevam investitorja hitro ustrežejo le, če imajo tudi ustrezno tehnično dokumentacijo, katere pomemben del je tudi statični izračun objekta. S pomočjo posebnega programa za montažne sisteme so bili doseženi predvsem naslednji efekti:

- čas izdelave statičnega računa se je zmanjšal na minimum;

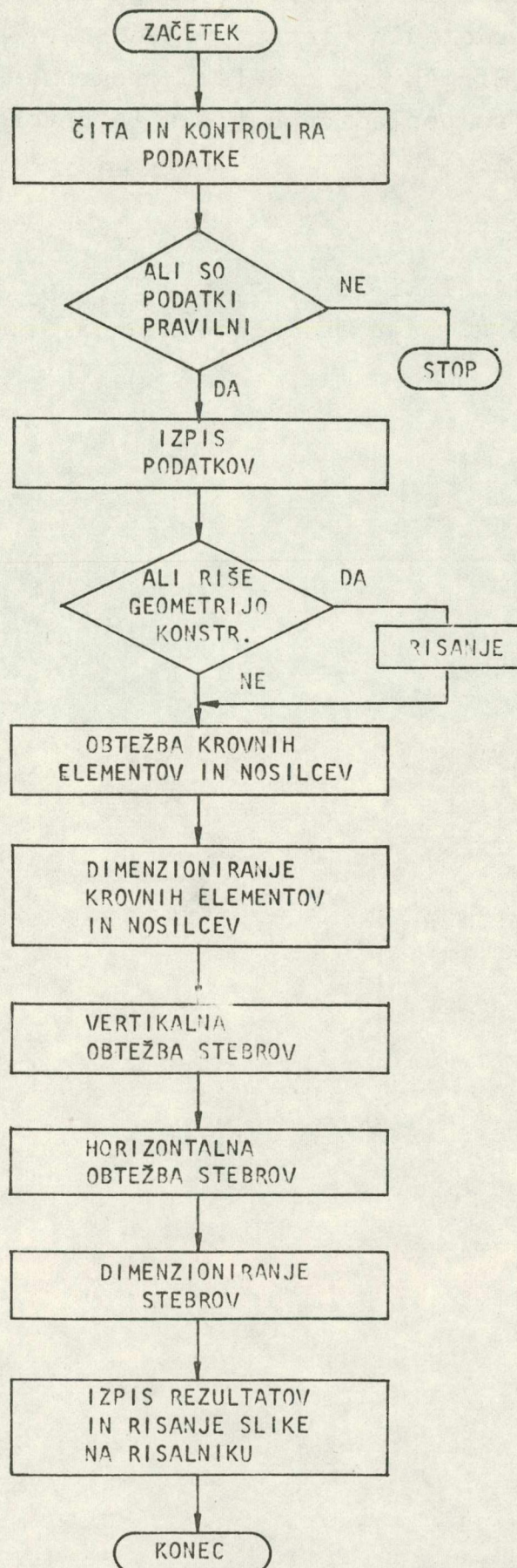
- v izredno hitrem času so možne variantne rešitve;

- za nekajkrat se je zmanjšal strošek za statični elaborat objekta;

- pri vsakem objektu, čeprav je izdelan iz prefabriciranih elementov, se upošteva racionalizacija, vsa potrebna armatura in marka betona ter preseki zavisijo od konkretne obtežbe in razponov;

- pri vsakem elementu objekta se upoštevajo vse možne kritične kombinacije obtežbe, kar je pri peš računanju večkrat nemogoče.

Investicija v izdelavo posebnega programa za izvajalce montažnih sistemov se je v dosedanjih primerih bogato obrestovala. Posebej moramo poudariti, da je takšno učinkovitost možno doseči le s specialnim programom, kjer je možno vse poznane količine tipskih elementov z vsemi geometrijskimi podatki že vgraditi v program. Če bi iste montažne sisteme računali prav tako z računalnikom s pomočjo klasičnih programov, bi bila priprava podatkov neprimerno obsežnejša in bolj komplicirana, sam izračun pa nekajkrat dražji in ne bi vseboval vseh obtežnih primerov, ki so posebej značilni za te konstrukcije. Poleg tega bi morali dimenzioniranje vseh elementov opraviti po-



sebej. V splošnem lahko trdimo, da je za objekte, grajene iz industrijsko izdelanih elementov, vedno vredno izdelati specialni program. Stroški za izdelavo programa so v primerjavi s prihranki, ki so posledica hitrega in natančnega izračuna, neprimerno manjši.

Literatura:

1. INGRAD-MONTAŽNI SISTEM (Študija IKPIR-FAGG, 1980)
2. Publikacije RC FAGG in IKPIR-FAGG od št. 1 - 17

SAVETOVANJE O HARDVERU I SOFTVERU U STRUKTURALNOJ
ANALIZI I RAČUNARSKOM PROJEKTOVANJU
BEOGRAD, 10 I 11 DECEMBRA, 1980

PROGRAMA ZA RAČUNANJE PROSTORSKIH KONSTRUKCIJ

Boris Lutar, Vid Marolt*

I z v l e č e k

Programa OKVIR in MAKRE sta specializirana programa, namenjena reševanju okvirnih konstrukcij v visokogradnji, obremenjenih s horizontalno obtežbo v ravninah etažnih plošč. V delu je podana strnjena informacija o možnostih uporabe, prikazani so vhodni podatki s komentarjem in del rezultatov.

* Boris Lutar, dipl. ing. gradb.

Vid Marolt, dipl. ing. gradb.

Naslov: IKPIR FAGG, 61000 Ljubljana, Jamova 2

1.0 Uvod

Statična analiza prostorskih okvirov in konstrukcij v visokogradnji, obremenjenih s horizontalno obtežbo v ravninah etažnih plošč, sta problema, s katerima se srečuje statik pogosto. Reševanje navedenih problemov je možno bodisi s specializiranimi programi ali pa s splošnimi programi. Prednost specializiranih programov je v ekonomičnejši obdelavi, ker je problem ožje definiran, predvsem pa v možnostih upoštevanja posebnosti, ki problem pogosto rešujejo.

Programa OKVIR in MAKRE sta rezultat skupnih naporov delavcev in sodelavcev IKPIR - FAGG pri razvijanju lastne programske opreme. Program OKVIR je namenjen reševanju prostorskih in ravninskih okvirnih konstrukcij, program MAKRE pa reševanju konstrukcij v visokogradnji, obremenjenih s horizontalno obtežbo v ravninah etažnih plošč.

Ob koncu omenimo le še to, da sta oba programa prvi verziji, ki bosta doživljali izboljšave in dopolnila v izbiri novih elementov, ekonomizaciji in grafični interpretaciji rezultatov.

2.0 Program MAKRE

Program MAKRE (Makroelement) omogoča statično, posredno pa tudi dinamično analizo objektov v visokogradnji, obremenjenih s horizontalno obtežbo, ki deluje v ravninah etažnih plošč.

Prva verzija programa omogoča neposredno le statično analizo, s pomočjo programa EAVEK (Elastična analiza večetažnih konstrukcij) pa posredno tudi dinamično analizo.

Makroelement je lahko konstrukcija v celoti ali pa samo del konstrukcije, ki je s preostalimi deli konstrukcije povezan le z etažnimi ploščami. V vsakem primeru pa sega od temelja do vrha konstrukcije oziroma od temelja do konca etaže dela konstrukcije.

Uporabljena je metoda končnih elementov, za reševanje sistema enačb pa frontalna metoda. Končni elementi oziroma elementi programa (sl. 1) omogočajo izbiro računskega modela konstrukcije, ki se ob privzetih predpostavkah

dobro približa realni konstrukciji. V delu se bomo omejili le na prikaz uporabnosti programa.

2.1 Osnovne predpostavke računskega modela konstrukcije

Pri izbiri računskega modela konstrukcije so upoštevane naslednje predpostavke:

- materiali so idealno elastični
- premiki konstrukcije so majhni
- jedra oziroma stebri, ki pripadajo istemu nizu, imajo isto os strižnih središč
- jedra pripadajo nizom, ki vsebujejo le jedra
- stebri pripadajo nizom, ki vsebujejo le stebre
- sile delujejo v ravninah

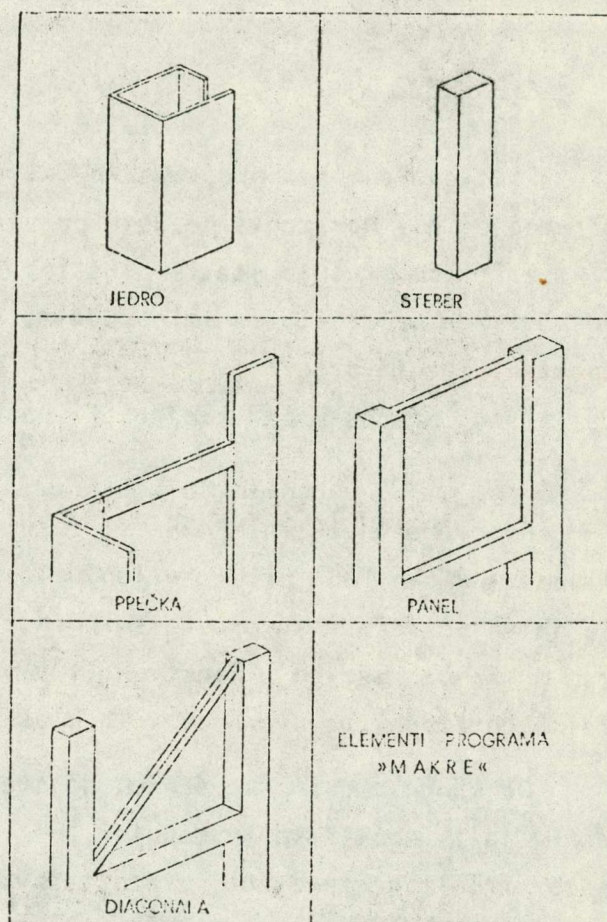
etažnih plošč, prijemališče sil pa je v prebodišču etažne ravnine z globalno osjo z

Posledica privzetih predpostavk je računski model konstrukcije, v katerem so jedra oziroma stebri primarni elementi, katerih vozliščne premike lahko ločimo na odvisne in neodvisne.

Odvisni premiki so vozliščni premiki jeder oziroma stebrov, ki se izražajo kot linearna kombinacija sistemskih premikov etažnih ravnin.

Sistemski premiki so premiki konstrukcije ali sistema. V vsaki etažni ravnini sta to pomika etažne ravnine v smeri globalne osi x in y, zasuk v smeri globalne osi z in odvod zasuka (le v primeru, če konstrukcija vsebuje jedra).

Neodvisni premiki jeder oziroma stebrov so vozliščni zasuki in pomiki v smeri osi z elementa, ki je paralelna z globalno osjo z.



Slika 1

2.2 Primer

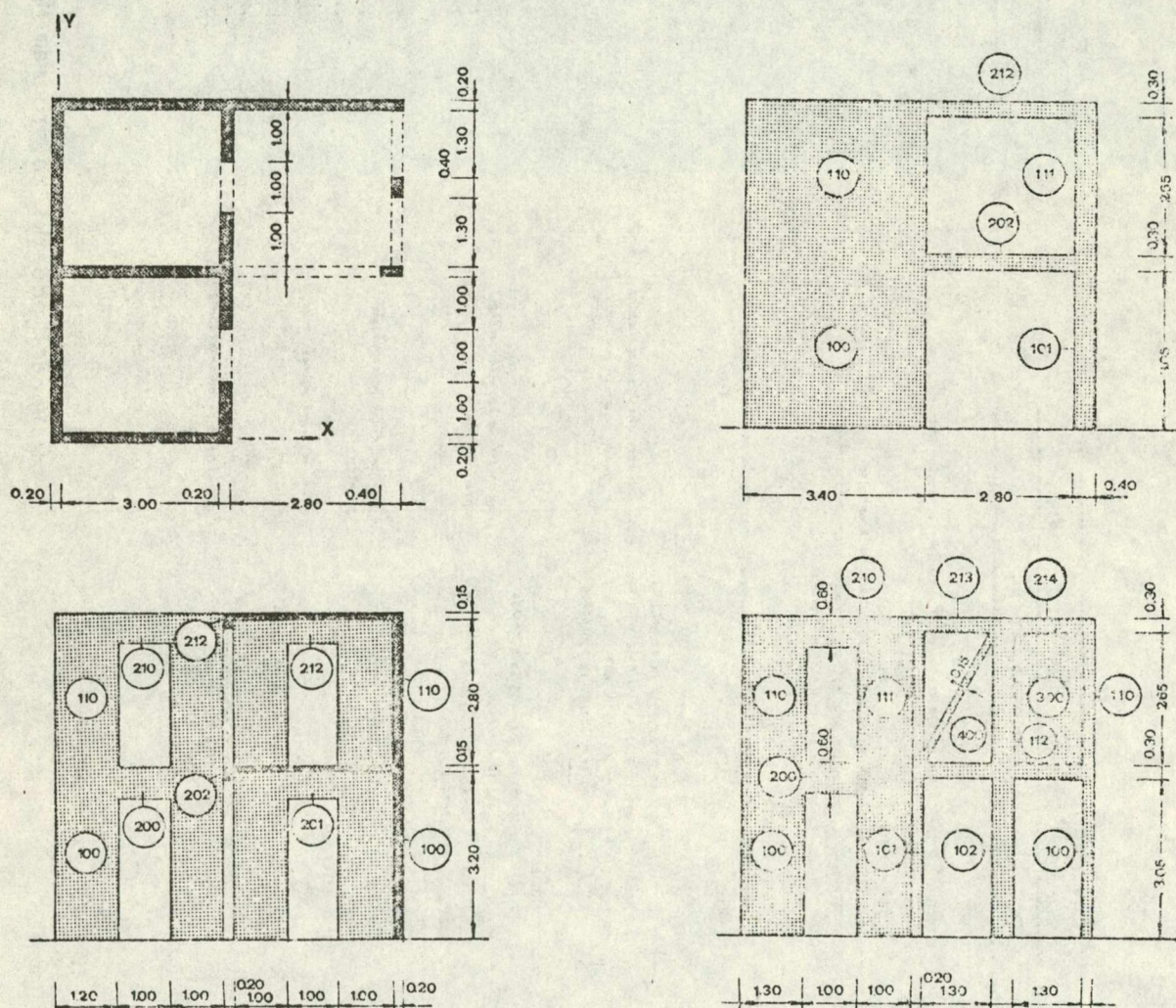
Za ilustracijo uporabe programa smo izbrali idealizirano konstrukcijo, na kateri bomo prikazali večino karakteristik programa. Konstrukcija vsebuje vse elemente programa MAKRE.

Prikazujemo tloris pritličja, fasade in prerez konstrukcije z oznakami elementov (sl. 2), vhodne podatke in del rezultatov programa.

Številke elementov so lahko poljubna pozitivna cela števila, njihova velikost pa mora biti v mejah zmogljivosti računalnika.

Etažne višine so lahko različne, togosti elementov se lahko spreminjajo, materiali elementov so lahko različni.

Jedra, stebre in prečke lahko sproščamo v vozliščih.



slika 2: Tloris, prerez, fasade in oznake elementov


```

-----
KPIR - FPC      PROGRAM   MAKRE      10/11/79   STRAN 2
-----
IZPIS PODATKOV

STRUCTURE  FIDELIZIRANA KONSTRUKCIJA ENOTE (KPIR)F ... narišev konstruiranja
NUMBER 1 H 3.05      ... etajne višine
NUMB  2 H 2.65
CONSTANTS E 3000000.0 1300000.0 ... elastične konstante
MATRIX  ... računarske konstante tegetne matrike konstruiranja
END      ... konec splošnih podatkov o konstrukciji
NODES
NUMBER 1 X -2.03 Y 4.56 Z 0.0      ... koordinate počrtov v prvih očetnih ravni
NUMB  2 X 6.30 Y 3.20
NUMB  3 X 5.40 Y 4.30
END
TPROPERTIES
TYPE 1 A 4.74 AX 2.37 AY 2.37 IX 11.6962 /
      IY 29.1553 IZ 0.0181 X -3.9562 Y -0.6706      ... geometrijske karakteristike
      TYPE 2 A 0.08 AX 0.0667 AY 0.0667 /           povzgoj eden in sedemov
      IX 0.00107 IY 0.000267 IZ 0.0007315
END
PROPERTIES
TYPE 1 A 0.06 AY 0.05 AZ 0.05 IX 0.000470 /
      IY 0.0002 IZ 0.000450      ... geometrijske karakteristike
      TYPE 2 A 0.12 AY 0.10 AZ 0.10 IX 0.001264 /   povzgoj prvi
      IY 0.0004 IZ 0.00036
END
PROPERTIES
TYPE 1 B 1.30 H 2.65 T 0.20      ... geometrijske karakteristike
      povzgoj
END
PROPERTIES
TYPE 1 A 0.030      ... geometrijske karakteristike
      diagonal
END
TYPES
NUMBER 100 NODE 1 TYPE 1
NUMB  101 NODE 2 TYPE 2
NUMB  102 NODE 3 TYPE 2
      ... definiranje jedra in stebrov

-----
KPIR - FPC      PROGRAM   MAKRE      10/11/79   STRAN 3
-----
IZPIS PODATKOV

NUMBER 110 THRU 110 STEP 0 FROM 100 TYPE 1
NUMB  111 THRU 111 STEP 0 FROM 101 TYPE 2
NUMB  112 THRU 112 STEP 0 FROM 102 TYPE 2
END
BEAMS
NUMBER 200 FTUB 100 STUB 100 TYPE 1
NUMB  201 FTUB 100 STUB 100 TYPE 1
NUMB  202 FTUB 100 STUB 101 TYPE 2
NUMB  203 FTUB 100 STUB 102 TYPE 2
NUMB  204 FTUB 102 STUB 100 TYPE 2
NUMB  210 THRU 210 STEP 0 FROM 200 TYPE 2
NUMBER 211 THRU 211 STEP 0 FROM 201 TYPE 1
NUMB  210 TYPE 1
NUMB  212 FTUB 101 STUB 111 TYPE 2
NUMB  213 FTUB 111 STUB 112 TYPE 2
NUMB  214 FTUB 112 STUB 110 TYPE 2
NUMB  200 COORDINATES XS 3.20 YS 1.10 XE 3.20 /
      YE 2.10 ZS 12.4047 ZE -2.7549      ... koordinate prvih
      NUMBER 210 THRU 210 STEP 0 COORDINATES 200
      ... geometrijske kon-
      struir
END
PANELS
NUMBER 300 FTUB 112 STUB 101 TYPE 1 SORT 3
NUMB  300 COORDINATES XS 6.40 YS 5.00 /
      XE 6.40 YE 4.30 ZE -6.8210      ... definiranje panelov
END
DIAGRAMS
NUMBER 400 FTUB 112 STUB 112 TYPE 1 B
NUMB  400 COOR XS 6.4 YS 3.3 XE 6.4 YE 4.6
      ... definiranje diagonale
END
SOLVE
      ... konec geometrijskih podatkov o konstruiranju in elementih

```

Vhodni podatki za program MAKRE

INPIR - FAGG PROGRAM MAKRE 10/14/90 STRAN 4

IZPI3 PODATKOV

LORDING #OSTEZDA V ETIZANI# ... *način obdelave priprave*

LATERAL ... *zr. obdelava + horizontalna*

HUMBER 1 FX 100.0 FY 50.0 HZ 50.0

HUMBER 2 FX 75.0 FY 25.0 HZ 30.0 ... *način v etidat*

END ... *konca obdelave priprave*

FINISH ... *konca vseh podatkov*

INPIR - FAGG PROGRAM MAKRE 10/14/90 STRAN 10

NASLOV: IDEALIZIRANA KONSTRUKCIJA ČIOTE (MP/H)

*** ELEMENT PREČKA: 203

PREMIKI

ZACETNO VOZLIŠCE	KONČNO VOZLIŠCE	ZACETNO VOZLIŠCE	KONČNO VOZLIŠCE	SILE
UX -2.3583E-03	UX -2.3583E-03	UX -2.3583E-03	UX -2.3583E-03	UX -10680E-07
UY -2.1618E-03	UY -1.9570E-03	UY -1.9570E-03	UY -1.9570E-03	UY -142138E-14
UZ -4.9282E-04	UZ -4.2800E-03	UZ -4.2800E-03	UZ -4.2800E-03	UZ -50799E+00
RX -9.591E-04	RX -3.1773E-03	RX -3.1773E-03	RX -3.1773E-03	RX -10675E+00
RY -8.5071E-04	RY -1.5057E-03	RY -1.5057E-03	RY -1.5057E-03	RY -4052E+00
RZ -1.9512E-04	RZ -1.8512E-04	RZ -1.8512E-04	RZ -1.8512E-04	RZ -22294E-14

*** ELEMENT JEDRO: 110

PREMIKI

ZACETNO VOZLIŠCE	KONČNO VOZLIŠCE	ZACETNO VOZLIŠCE	KONČNO VOZLIŠCE	SILE
UX -1.5991E-03	UX -2.1800E-03	UX -2.1800E-03	UX -2.1800E-03	UX -56938E+02
UY -1.1403E-03	UY -2.2003E-03	UY -2.2003E-03	UY -2.2003E-03	UY -59931E+02
UZ -1.8742E-05	UZ -1.2794E-05	UZ -1.2794E-05	UZ -1.2794E-05	UZ -33724E+01
RX -6.7234E-05	RX -7.7787E-05	RX -7.7787E-05	RX -7.7787E-05	RX -46992E+02
RY -6.7137E-05	RY -5.9703E-05	RY -5.9703E-05	RY -5.9703E-05	RY -97335E+02
RZ -1.3612E-04	RZ -3.6005E-04	RZ -3.6005E-04	RZ -3.6005E-04	RZ -39178E+03
DPZ -5.7326E-05	DPZ -4.4218E-05	DPZ -4.4218E-05	DPZ -4.4218E-05	DPZ -166999E+03

*** ELEMENT PANEL: 300

POMIKI

ZACETNO VOZLIŠCE	KONČNO VOZLIŠCE	ZACETNO VOZLIŠCE	KONČNO VOZLIŠCE	SILE
UX -1.0148E-03	UX -2.1367E-03	UX -2.1367E-03	UX -2.1367E-03	UX -52323E+01
UY -2.4975E-03	UY -1.9173E-03	UY -1.9173E-03	UY -1.9173E-03	UY -89553E+01
UZ -1.1211E-05	UZ -2.8147E-04	UZ -2.8147E-04	UZ -2.8147E-04	UZ -17209E+02

Del rezultatov programa MAKRE

3.0 Program OKVIR

3.1 Teoretične osnove

Teoretično osnovo za program OKVIR predstavlja deformacijska metoda končnih elementov. Pri računu razdelimo konstrukcijo na elemente končnih dimenzij (ravninski ali prostorski linijski elementi), ki se stikajo v vozliščih.

Za račun je uporabljen dobro znan postopek, kjer je treba rešiti osnovno enačbo konstrukcije.

$$[K] \{u\} = \{P\}$$

in pomenijo $[K]$ togostno matriko konstrukcije, $\{u\}$ vektor vozliščnih pomikov in $\{P\}$ vektor zunanje obtežbe. Iz znanih pomikov lahko dobimo notranje sile v elementih.

Poleg ravnega linijskega elementa s konstantnim prerezom je možno uporabiti ravni element, ki ima spremenljiv prerez po dolžini in element z neskončno togima odsekoma ob vozliščih. S slednjim lahko računamo stene z odprtinami in mešane stenasto skeletne konstrukcije.

Za reševanje sistema enačb služi frontalna metoda. Uporabnik lahko sam oštevilči elemente tako, da je čimbolj primerno za metodo ali pa zahteva, da mu to napravi računalnik.

3.2 Jezik za pripravo podatkov

Za pripravo podatkov se uporablja problemsko orientiran jezik, ki vsebuje izraze iz inženirske terminologije. Osnova so mu ukazi, kot jih ima znan program STRESS, dodani pa so ukazi, ki omogočajo uporabo novih tipov elementov, možna pa je tudi generacija podatkov za vozlišča in elemente.

Razlog za izbiro takega jezika, ki temelji na angleških besedah, je v tem, da uporablja enake izraze kot v inženirski praksi. Obenem pa je pomembno, da se ga splošno poslužujejo uporabniki že nekaj let. S stališča programerja, ki piše program za čitanje in kontrolo podatkov, pa jezik ni ugoden, ker ukazi niso sestavljeni po enotnih principih.

3.3 Odkrivanje napak in njihova diagnoza

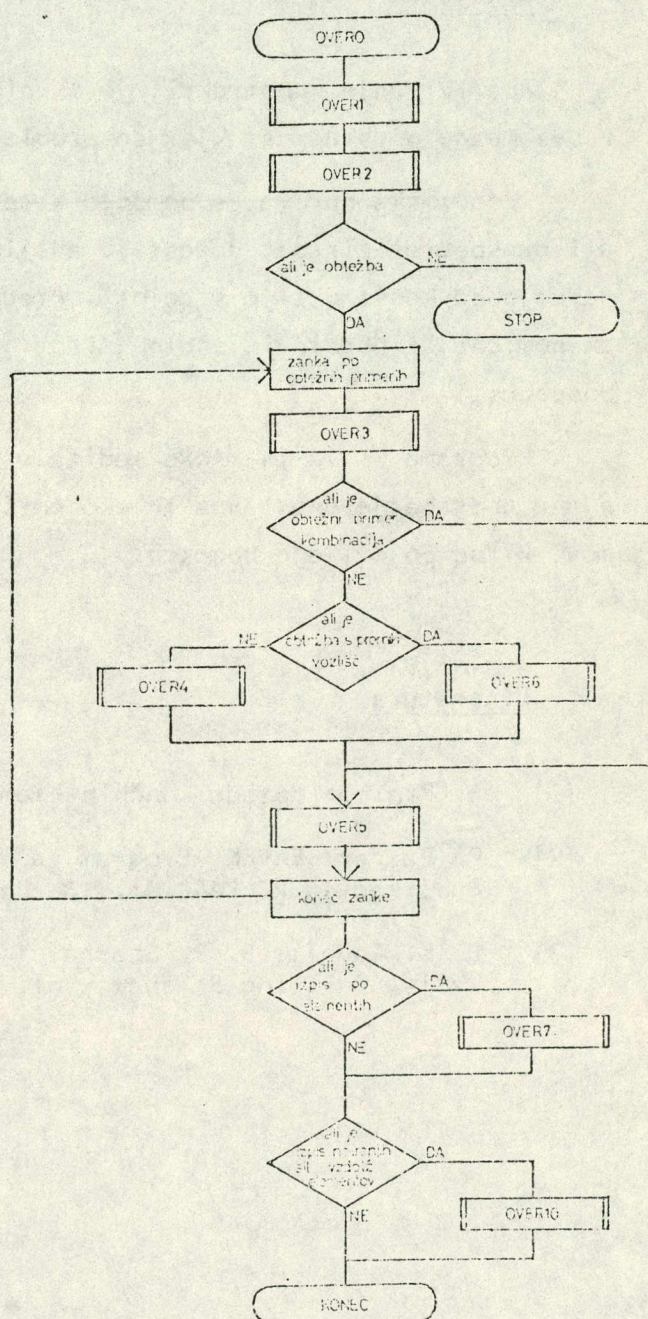
Osnovno načelo pri izdelavi programa je bilo, da se računalnik med izvajanjem ne sme ustaviti zaradi nedefinirane vrednosti ali nepravilne aritmetične operacije. Zato je v programu velik del namenjen odkrivanju napak v vhodnih podatkih in čimbolj jasni diagnozi. Program po vrsti išče pravopisne napake, kontrolira smiselnost podatkov in ugotavlja, če je konstrukcija v redu.

3.4 Zgradba programa

Za pisanje programa je uporabljen STRUCTRAN, to je programski jezik, ki upošteva načela sodobnega strukturiranega programiranja. Program je sestavljen iz sorazmerno samostojnih modulov, kar omogoča lažje spremembe in izboljšave (npr. grafično podajanje rezultatov).

Ker je program preobsežen, da bi bil naenkrat v računalniku, je razdeljen na več plasti (OVERLAY struktura). Sicer obstojata dve verziji programa. Za manjše primere zadostuje centralni pomnilnik računalnika in je tako računanje bolj ekonomično, za večje primere pa je potreben zunanji spomin. Sama zgradba programa je razvidna iz diagrama poteka. Posamezne plasti so:

- OVER0 je osnovna plast, ki pokliče vse ostale
- OVER1 prečita podatke in jih kontrolira



- OVER2 sestavi togostno matriko konstrukcije
- OVER3 izračuna vektor obtežbe
- OVER4 reši sistem enačb
- OVER5 izračuna notranje sile
- OVER6 reši obtežni primer, če so predpisani pomiki
- OVER7 omogoča izpis rezultatov za vse obtežne primere po elementih
- OVER10 omogoča račun notranjih sil vzdolž elementov.

Zaključek

Analiziranje konstrukcij je skupina nalog, ki jih je mogoče razdeliti v posamezne podskupine, kjer so problemi ožje pogojeni.

Programska oprema, s pomočjo katere probleme rešujemo, je lahko splošna ali pa specializirana. Pogosteje analiziramo posamezne elemente konstrukcije, redkeje pa konstrukcijo v celoti. Prednost specializiranih programov je v ekonomičnejši obdelavi, enotnejši pripravi podatkov in možnostih upoštevanja posebnosti.

Programa OKVIR in MAKRE sodita v skupino specializiranih programov, njuna uporaba je enostavna in ekonomična, omogočata pa analiziranje problemov, ki se pojavljajo pogosto.

Literatura

- [1] E. Prelog: Metoda končnih elementov. Univerza v Ljubljani, 1975.
- [2] P. Fajfar: EAVEK, Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij. Publikacija RC FAGG št. 13, Univerza v Ljubljani 1976.
- [3] B. K. Goyal, S. P. Sharna : Matrix Analysis of Frames with Shear Walls, Building Science, Vol. 3, str. 93 - 98, Pergamon Press 1968.

SAVETOVANJE O HARDVERU I SOFTVERU U STRUKTURALNOJ
ANALIZI I RAČUNARSKOM PROJEKTOVANJU
BEOGRAD, .10 I 11 DECEMBRA, 1980

STANJE IN RAZVOJ RAČUNALNIŠKE GRAFIKE V INŠTITUTU
ZA KONSTRUKCIJE, POTRESNO INŽENIRSTVO IN RAČUNAL-
NIŠTVO F A G G

I. Kovačič, A. Vitek

P o v z e t e k

V članku so opisane grafične naprave: peresni risalnik Houston Instruments, grafični zaslon Tektronix 1014 in elektrostatična risalnika Versatec. Opisan je pristop do reševanja problemov systemskega grafičnega softwara, trenutno stanje in naloge za prihodnost. Podan je kratek prerez skozi področja, pri katerih je računalniška grafika že prodrla v aplikativne programe. Grafične naprave in aplikacije so ilustrirane z nekaj slikami. Na koncu so prikazani problemi interaktivne grafike, ki jih bo treba rešiti na novem računalniku DEC-10.

1.0. Uvod

Današnji računalniki so v bistvu naprave za simbolično reševanje problemov. Rezultate, ki jih dajejo, mora človek še naprej obravnavati pri svojem delu. Manipulacija z rezultati je še enostavna in učinkovita, če jih imamo v obliki slike. Pri procesiranju slik je človek zelo uspešen in s svojimi zmogljivostmi daleč prekaša današnje računalnike. Izhodne grafične naprave so se zaradi svoje kompleksnosti in cene razvile šele v zadnjem desetletju. Zelo hitro je potem prišlo do njihove uporabe pri reševanju inženirskih problemov. Posebno pri projektiranju, kjer je čas pogosto odločilen faktor, lahko grafična oblika računalniških rezultatov krepko poveča učinkovitost in kvaliteto dela. Na področju gradbeništva se je računalniška grafika najprej uveljavila pri računanju konstrukcij. Na tem področju prehaja uporaba grafičnih naprav že v vsakdanjo prakso. Prizadevanja v tej smeri na IKPIR-u so opisana v naslednjih poglavjih.

2.0. Grafične naprave v IKPIR

Tradicija risanja sega v IKPIR tja v leto 1969, ko smo dobili prvo zares risalno napravo: risalnik (plotter) HOUSTON INSTRUMENTS DP-3. Ker se je ta z leti izkazal za prepočasnega, smo leta 1979 dobili elektrostatična risalnika VERSATEC 1200A in 8236A. Za potrebe interaktivnega dela smo v istem času dobili tudi risalni zaslon (graphic display) TEKTRONIX 4014-1. Ves ta čas pa smo za risanje uporabljali tudi povsem običajni tiskalnik.

2.1. Risalnik Houston Instruments DP-3

Ta peresni risalnik je razmeroma počasna naprava. Slika na njem je lahko široka nekaj čez pol metra (20 palcev), po dolžini pa je omejena le z dolžino papirja, ki je nekaj deset metrov. Slika nastaja tako, da se pero, ki je običajen vložek za kemični svinčnik, flomaster, pentel ali rotring, pomika po širini papirja, papir pa naprej in nazaj. Vsi pomiki so inkrementalni, to je sestavljeni so iz osem osnovnih korakov: +X, -X, +Y, -Y in kombinacij. Korak v eni smeri je dolg stotinko palca, kar je približno četrta milime-

tra. Črte, ki jih narišemo, so torej cikcakaste, odmik od ravne črte pa ne presega četrť milimetra. Pero je med pomikanjem lahko dvignjeno ali spuščeno, črto seveda riše le, ko je spuščeno. Risanje je mogoče prekiniti in kasneje spet nadaljevati, tako da lahko med risanjem zamenjamo pero - rišemo lahko v več debelinah in barvah.

Risalnik je priključen na čitalec magnetnega traku, ki bere 7-sledne trakove z gostoto do 800 znakov na pelac (bytes per inch). Risanje torej poteka ločeno od računalnika (offline): računalnik sliko zapiše na trak, tega prinesemo v IKPIR, kjer ga vstavimo v čitalec in zrišemo. Pred leti je obstajala tudi direktna povezava z računalnikom CYBER na RRC v Ljubljani, ki pa se je pokazala za neučinkovito. Ker je potekala preko terminala, je ob zahtevnejši sliki onemogočila normalno delo terminala. Zato smo to povezavo opustili.

2.2. Risalnika VERSATEC 1200A in 8236A

Risalnika sta elektrostatična in zato bistveno hitreje rišeta. Riše vrstica elektrod, ki po vsej širini papirja enkrat nanese na papir električni naboj, ki se ga potem opri-me posebna barva in pusti na papirju sled. Gostota elektrod je zelo velika, kar osem jih je na milimeter, 200 na palec. Slike pa so zato zelo natančne in čiste. Široke so lahko do 36 palcev (8236A) oz. 11 palcev (1200A), kar je 90 oz. 25 cm.

Elektrostatični način risanja od računalnika zahteva, da sliko, to je daljice pred risanjem uredi. Dodatni računalniški čas je lahko tudi precejšen, zato pa je čas za risanje zahtevnih slik tudi do tisočkrat manjši od časa za risanje s peresnim risalnikom.

Tudi ta risalnika delujeta le ločeno od računalnika, torej s pomočjo magnetnega traku. Na trak pa zapišemo le podatke o daljicah, ki jih potem poseben vektorski procesor pretvori v točke.

Oba risalnika znata tudi zelo lepo in čisto tiskati, tako da ju bomo uporabljali za pripravo člankov, elaboratov in drugih publikacij IKPIR, seveda ko bomo za to razvili programe. Pri tem bo slike narisal kar risalnik sam.

2.3. Risalni zaslon TEKTRONIX 4014-1

Za interaktivno delo in risanje imamo v IKPIR tudi risalni zaslon. Zaslon TEKTRONIX 4014-1 je t. im. direct view storage CRT, torej zaslon, na katerem slike ni potrebno posebej obnavljati. To stori katodna cev sama. Pri tem pa je še vedno mogoče od terminala zahtevati tudi to, mogoča je torej tudi gibljiva grafika. Zahteva pa gibljiva grafika izredno hitro povezavo z računalnikom, poštna linija je prepočasna.

Običajno terminal dela kot vsak drug zaslonski terminal - znake, ki mu jih računalnik pošlje, napiše. Šele ko računalnik s posebnim kontrolnim znakom to zahteva, začne terminal znake smatrati za podatke o daljicah in tako risati. Narisano sliko je z zaslona mogoče preslikati na risalnik VER-SATEC, vendar je kvaliteta slike tedaj slabša.

2.4. Tiskalnik

Na koncu še nekaj besed o tiskalniku, vsem dostopni risalni napravi. Seveda je pri risanju manj natančen, zato pa je hiter, dostopen, ob zadostni programski podpori pa tudi precej zmogljiv. Pri nas ga uporabljamo zlasti za testiranje resnih programov za risanje, pa tudi za risanje enostavnejših slik, kjer natančnost ni tako pomembna. Prav tako je tiskalnik uporaben za predstavitev porazdelitev, to je za t. im. rastrske slike.

3.0. Razvoj sistemske grafične opreme

Proizvajalci grafične opreme skupaj z napravami nudijo tudi "ustrezno" sistemsko programsko opremo, ki omogoča razmeroma hiter začetek koriščenja naprav. Ker mednarodnih standardov za grafični software še ni, ga proizvajalci priredijo napravam, ki jih izdelujejo. Uporabnik je v težavah, če hoče z istim programom risati na eno ali drugo napravo. Večinoma bazira proizvajalčeva programska oprema na 20 let starem, danes zastarelem softwaru, ki je poganjal prve peresne risalnice.

Od leta 1977 dalje razvijamo v IKPIR-u svoj grafični sistemski software z imenom P-paket. To je knjižnica fortran-

skih podprogramov, razvita je bila predvsem za paketno obdelavo. Vsebinsko je razdeljena na dva dela. V prvem delu so osnovni moduli, s katerimi definiramo velikost slike, pišemo znake in rišemo enostavne daljice. Po namenu ustreza programski opremi proizvajalcev grafičnih naprav, po vsebini in enostavnosti uporabe pa jo močno prekaša. Sistem sam skrbi, da ni možno izven slike narisati ničesar, transformacija realnih koordinat na sliko poteka avtomatično, poleg male abecede lahko definiramo tudi povsem svoje znake. Drugi del paketa vsebuje module, ki opravljajo grafične naloge na višjem nivoju. Skrbijo za risanje specialnih črt, krivulj, koordinatnih sistemov, projekcij, izohips, ploskev, histogramov, itd.

P-paket je napisan v standardnem fortranu in je dobro prenosljiv tudi na druge računalnike. Pri načrtovanju modulov so bili upoštevani sodobni koncepti programiranja: enostavna uporaba, strukturno programiranje, primerna dokumentacija, itd. Po naravi sistem ni zaprt, tako da ga je možno dopolniti z novimi moduli.

Na računalniku CYBER lahko P-paket uporabljamo na vrstičnem tiskalniku, peresnem risalniku, elektrostatičnem risalniku in grafičnem zaslonu. Za vsako napravo eksistira knjižnica prevedenih modulov. Uporabnikom je na voljo tudi priročnik za uporabo, ki ga lahko dobijo na papir direktno s pomočjo računalnika.

P-paket se je izkazal kot primerno orodje za izdelavo grafičnega dela pri aplikativnih programih, predvsem za paketno obdelavo.

Ostali pa so še nerešeni naslednji problemi. Program ne more hkrati uporabljati več grafičnih naprav. Prenos grafične informacije do risalnikov ni avtomatičen. Sistem ni dovolj razvit za interaktivno delo. Potrebno bo razviti dodaten učinkovit sistem za editiranje grafične informacije.

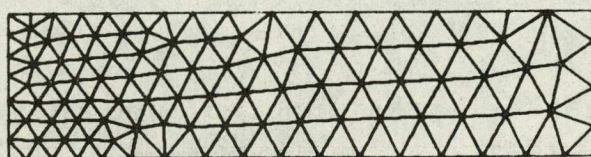
4.0. Aplikacije grafične opreme

Hkrati z razvojem strojne in programske opreme so se razvijale tudi aplikacije te opreme. Danes so operativni pro-

grami, ki rešujejo probleme iz naslednjih področij: računanje ravninskih okvirjev, računanje karakteristik prerezov, izračun armature pri nosilcih in stebrih, statični izračun sten, plošč in lupin, potresni diagrami, risanje predmetov v poljubljnih projekcijah, statični izračun hal, itd. Nekaj naslednjih slik ilustrira uporabo različnih grafičnih naprav pri omenjenih aplikacijah. Na sliki 1 vidimo mrežo končnih elementov, narisano s peresnim risalnikom. Slika 2 prikazuje prerez stebra z izračunano armaturo na kopirni napravi Tektrinixa, slika 3 predstavlja geometrijske karakteristike stenskega prereza.

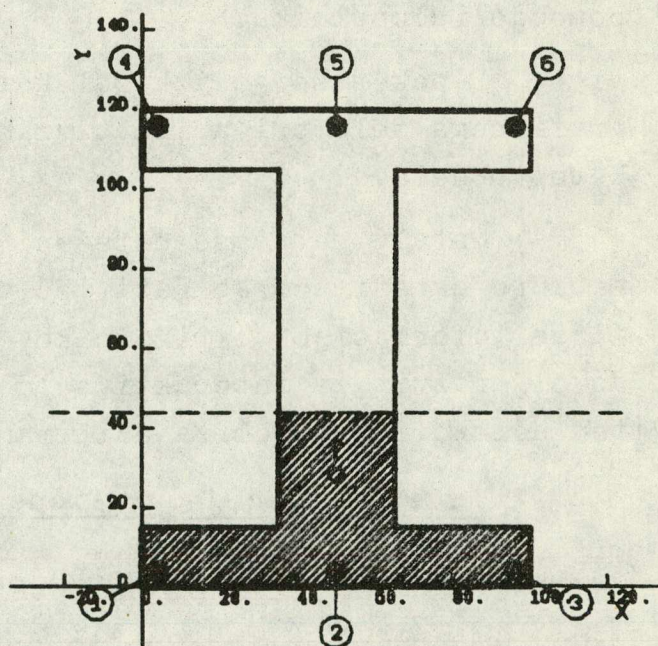
K O N Z O L A
MREZA

MREZA 1



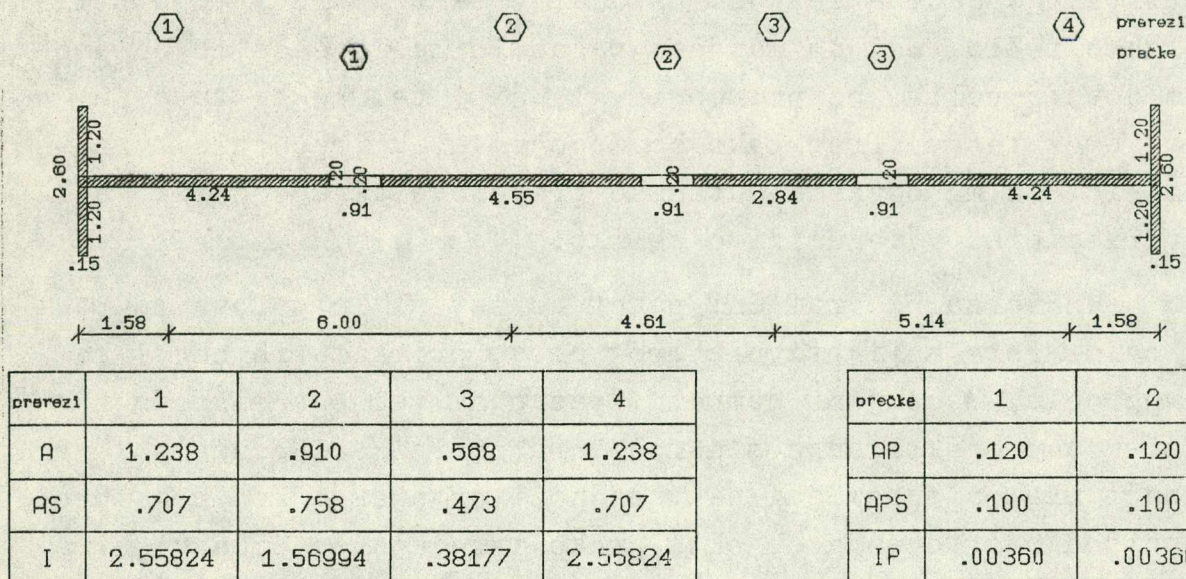
MERILØ 1CM = 1.52 ENØT

Slika 1.



Slika 2.

VZDOLŽNA STENA C,3-8 1.DØ 8.NAD YT=0.00 M



Slika 3.

5.0. Načrti za prihodnost

Naša Univerza je pravkar dobila nov računalnik, tako da je ena naših najbližjih nalog prenos obstoječe programske grafične opreme nanj.

Novi računalnik je interaktivno usmerjen, kar pomeni, da bomo morali celo vrsto programov povsem drugače zastaviti. Tudi grafična oprema tu ne bo ostala izjema, saj nameravamo grafiko vključiti, kamor bo le mogoče. Interaktivna grafika seveda od nas zahteva razvoj primernih osnovnih programskih orodij v ta namen.

Zato imamo v načrtu razvoj univerzalne - neodvisne od grafične naprave - verzije osnovnega grafičnega paketa, seveda na podlagi že obstoječega paketa P. Zamisel, ki nas pri tem vodi, je zrasla iz dosedanjih izkušenj z interaktivnim načinom dela. Sliko oz. tisto, kar slika predstavlja, bo mogoče razvijati v pogovoru z računalnikom. Ko bo slika zrela, jo bo mogoče v nekem vmesnem jeziku zapisati na datoteko. Vmesni jezik bo dovolj visok, da bo prenosljiv, torej neodvisen od računalnika in risalne naprave. Tako bo mogoče sliko naprej obdelovati z drugim računalnikom, n. pr. DELTO, ki jo utegnemo v kratkem dobiti v IKPIR. Seveda bo mogoče sliko zato vedno tudi naprej razvijati in to iz stanja, kjer smo delo prekinili. Pred-

nosti takega načina dela so na dlani: samo popravljjanje slike bo lahko teklo tudi na manjšem računalniku in šele ko bo problem dovolj velik, bo potrebno vključiti velikega, zato pa tedaj brez težav. Prav tako bo mogoče veliki računalnik razbremeniti in mu odvzeti rutinsko predelavo vmesne oblike slike v risalniku v razumljivo obliko.

Univerzalni grafični paket bo seveda le osnova za razvoj cele vrste aplikativnih programov, pri katerih nas čaka največ dela. Začenjamo namreč z razvojem večjega sistema programov za projektiranje s pomočjo računalnika. Računalnik naj bi načrtovalca spremljal na vsej poti nastajanja končnega projekta: od načrtovanja objekta preko izračuna do dimenzioniranja in končne izdelave načrtov in projektov. Pri tem bo grafika na vsej poti igrala pomembno vlogo, od kontrole podatkov in smiselnosti izračunov tja do izrisov n. pr. armaturnih načrtov. Zamisel, ki nas pri tem vodi, je enostavna. Vsakemu koraku pri projektiranju bo ustrezal en ali več programov, ki bodo v bazo podatkov, prirejeno projektu, dodajali nove elemente. Pri tem si bodo seveda pomagali z osnovno bazo podatkov, kjer bodo n. pr. podatki o osnovnih elementih, standardih in podobnem. Programi za risanje bodo na podlagi teh podatkovnih baz pripravili vmesne in končne izrise: paličij ali podobnih konstrukcij, sil in deformacij, armaturnih načrtov.

Na koncu omenimo le še en projekt. Že prej smo omenili, da ima IKPIR dva izredno zmogljiva elektrostatična risalnika, ki znata tudi tiskati. Zanju nameravamo razviti poseben oblikovalec besedil (text formatter), ki bo omogočil pripravo besedil, mešanih s slikami. Tako se bo po eni strani vključil v zgornji projektantski sistem, po drugi strani pa bo namenjen pripravi člankov, elaboratov in publikacij s pomočjo računalnika.

Naj zaključimo: skušali bomo uporabiti računalnik, kjer bo mogoče, in s tem olajšati, pospešiti, pa tudi izboljšati delo vseh nas. Računalnik nam ne bo kavni mlinček za računanje plač, temveč težko pogrešljivo orodje pri vsakdanjem delu.

STATE-OF-THE-ART REPORT
ON
EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN

by

J.A. BLUME
URS/John A. Blume
and Associates-USA

H.J. DEGENKOLB
H.J. Degenkolb and
Associates-USA

Prof. P. FAJFAR
University of Ljubljana
Yugoslavia

Prof. G. ÖZMEN
(Panel Secretary)
Istanbul Technical University
Turkey

1- SEISMIC DESIGN PHILOSOPHY

Although tremendous amount of research work has been done in the field of earthquake engineering all over the world and significant advances in understanding and predicting seismic behaviour of structures have been made in recent years, the design of the earthquake resistant structures is still as much an art as a science. Earthquake resistant design consists of producing structures having an optimum combination of properties such as strength, stiffness, and energy dissipation capacities that will enable them to withstand the effects produced by ground shaking. The widely accepted objective of earthquake resistant design for structures other than essential facilities, is to prevent nonstructural damage in frequent minor ground shakings, prevent structural damage and minimize nonstructural damage in occasional moderate earthquakes, and avoid collapse and loss of human lives in exceptional severe ground shakings.

It should be recognized that the vibration of a structure due to ground shaking is not the only source of damage. In many cases failure of a structure is a consequence of ground failure. The analysis of site suitability should therefore be a very significant first step in the design procedure. Generally, the only radical way to avoid damage from ground failure is to change the building site- a decision, which is usually not in the power of a structural engineer. Therefore, more stress should be given to the site suitability analysis in building codes.

Although the basic principles of earthquake resistant design are clearly defined, current knowledge in the field of earthquake engineering does not enable the development of practical design methodologies for realizing quantitatively all the objectives of the general philosophy. Great deal of uncertainty is still involved in seismic resistant design, especially in

- the specification of characteristics of ground motion expected at a site,
- the modelling of the structures, especially in the inelastic range.

The discussion of these uncertainties is presented in Section 3. It should be emphasized that because of great uncertainties in the earthquake loading and in the modelling of the structure the computed results are also very uncertain. We are not able either to predict accurately the demand in strength, stiffness, stability, and energy dissipation or to estimate accurately the supply in the mentioned characteristics of the structure. Therefore a very significant measure to provide sound earthquake resistance is the suitable planning of the structural form, the choice of structural material, the structural system, and the nonstructural components at the conception stage of the design.

In order to achieve a reasonable degree of earthquake safety in design, the preferred materials and systems should provide for a maximum amount of ductility and yet should be stable under extreme deformations. Not enough is known even today to determine the necessary design force level with any confidence in any given seismic situation and experts may differ by several hundred percent in their force predictions. Under these conditions, reliable ductility should be provided to permit major overloading without failure and accommodate these uncertainties. Since the key to the use of ductility is the realization that large deformations occur, the structure must also be checked carefully for stability including any secondary stresses.

The guiding principles for the planning of structural forms and systems are soundly established. There are many systems set forth in most building codes, including box systems where shear walls together with floor and roof elements provide lateral load resisting capacity, moment resisting and/or braced frames where there are no walls at all, perforated tubes, and combinations of frames with walls and tubes of various types. One of the most appropriate systems for important structures and high buildings, is a redundant system where ductile frameworks of either structural steel or reinforced concrete is combined with shear walls which provide the necessary stiffness. The objective of such a design is to provide redundancy, so that when the more rigid elements tend to fail, the more ductile elements come into action and save the structure from collapse.

It must be pointed out that, earthquakes have repeatedly demonstrated that the simplest structures have the greatest chance of survival. The main reason for this is the fact that our ability to

understand the overall structural behaviour and to avoid the problems whose solutions are not known as yet, is far greater for a simple structure than for a complex one.

Furthermore, the importance of appropriate proportioning and detailing cannot be overemphasised. A well conceived, well detailed building will survive regardless of the type of the analysis involved, whereas a poorly conceived design will not be strengthened by performing a comprehensive computer analysis, although it can be justified on paper.

Among various structural materials, steel and reinforced concrete (and timber for low rise buildings) are the most suitable for seismic resistant structures. Structural masonry does not enjoy a reputation for sound performance under seismic loading. However, because of its many qualities masonry is widely used in a large part of the world, also in highly seismic regions, especially for low rise buildings. Therefore a lot of research work has been done in the field of masonry buildings. The results indicate that masonry structures of substantial size can be designed to perform adequately under major earthquakes, provided careful design and detailing requirements are followed. As masonry is a comparatively brittle material, it is generally necessary to design for higher seismic forces than the ones conceived for other materials.

The so-called nonstructural elements can drastically change the predicted dynamic characteristics and response of the structure. The incorporation of masonry infill results in a decrease in the fundamental period which usually means an increase in seismic forces and frequently causes failure of the frame columns. A great hazard to life can be caused by brittle failure of unreinforced infill. Nonstructural elements must therefore be properly integrated with or effectively isolated from the basic structural system if excessive damage to the structure and threat to life during earthquakes are to be avoided.

Because of the vast differences in material availability, seismic activity, types of construction, local economy, climate, and traditional work methods of local craftsmen, a universal seismic code is not suitable. Each code must recognize the basic principles of earthquake resistant design but must be applied differently to suit local conditions.

In any locality of the world, it must be recognized that the engineers, designers, or workmen who design or construct the vast majority of the buildings are the average practitioners - not the unusually accomplished ones. The codes, specifications, or work instructions must be simplified and presented in such a manner that the ultimate user understands them. Since earthquake resistant design is a very complex subject and involves several disciplines, there is a strong tendency to make design and construction codes and regulations very complicated in an effort to include as many important variables with as much accuracy as possible. The result generally is that the

average practitioner does not understand the provisions and does not use them properly. Since the ultimate goal is to provide safer structures and the process for most structures involves the average engineer or workman, the process is largely self-defeating. The basic earthquake resistant design philosophy in order to be effective is for all those involved to work together to provide the necessary steps in the process so that effective hazard reduction can be achieved that society can afford. This is the challenge to all of those concerned with earthquake resistant design.

2- METHODS OF ANALYSIS AND DESIGN

Almost all the methods and procedures used in earthquake resistant design are reasonably well defined. However, practical application of the methods suffer from a number of uncertainties which are discussed in the next section.

The ground motion data on which earthquake resistant design is based has a large "scatter" in the relationship of various parameters such as intensity, magnitude, length of fault, acceleration, velocity, mean recurrence interval, etc. Further, the data invariably indicate higher forces or greater motions than indicated by the performance of most structures that are analyzed and designed by the current methods. As a result of the above two factors plus the infrequency of damaging earthquakes in any given locality, the actual design level of force or motion is a political decision with which the engineer must conform.

For most structures, the level of design force or motion is determined by the local building regulations. If there are no local building regulations relating to aseismic design, the prudent and conscientious engineer may use those of another locality which were in turn adopted by the political process or the joint recommendations of some professional organization. These levels of design requirements are usually based upon some form of equivalent static force.

The unusual important structure such as a nuclear plant, dam or other major structure may have a required design level based on a ground motion scaled to some level of acceleration; again determined by some type of political process. There is no universally accepted method of reducing the measured peak acceleration to the design effective acceleration although all engineers and scientists agree that one or two high peaks of measured acceleration must be reduced to some "effective peak".

Several factors must be considered in choosing a method of analysis and using the results of the analysis in the design. In the following, attention will be paid only to the methods that are used in practical design which have limitations dictated by cost, time and the abilities of average personnel. Methods that may be used in research will not be considered, although some of the aspects discussed may apply to these more advanced methods as well.

All of the analysis methods suitable for practical design are based on the elastic theory and started with developing a mathematical model which, even in research, is a highly simplified form of the actual structure.

The most common method of analysis is based on equivalent static forces. Regulations will specify the amount of base shear and the distribution in the structure. Usually the seismicity of the area, type of framing, construction material, dimensions, foundation material, and occupancy of the structure will determine the base shear coefficient. The base shear coefficient generally has been reduced from a realistic force level to account for some assumed level of ductility and damping consistent with the material and framing method used. The distribution of the shear into forces throughout the structure will be specified with that distribution based on an "average" structure undergoing a dynamic excitation. This distribution is usually an envelope of the shears that include the interaction of several modes of vibration. These requirements do not consider the effects of set-backs, unusual shapes, great abrupt changes in stiffness or mass or other attributes of some buildings.

When the equivalent static force method of analysis is used, there are usually empirical requirements concerning torsion, overturning, height limits for materials and many other factors. This method is used on probably 90-95% or more of the structures designed to resist earthquakes. When its limitations and assumptions are considered by the engineer, it is probably as accurate as any other for the "average" structure.

The second method of analysis is that by Modal Analysis. This is a linear method of analysis, using the natural frequencies of the various modes of vibration and the mode shapes and calculating the response for each of the modes as a single degree of freedom system. The response for each mode is determined by the response spectrum calculated for each record or assumed ground motion that may be of interest at the specific site. Building regulations may specify the shape and magnitude of the response spectrum. The responses of the various modes are not coupled - they can be combined in some manner to yield design forces, usually by the square root of the sum of the squares. The response spectrum level of excitation may be based upon a "code" level of forces in which case the results are directly used for the structural analysis or they may be based on the predicted ground motion force level. In the latter case, the resulting forces are reduced by some factor determined by a ductility factor and damping for the particular system and materials used.

The third method of analysis is the time history approach whereby the mathematical model of the structure is subjected to discrete steps of displacement or acceleration from a recorded or artificial ground motion record that is suitable for the specific site. Since this is a step by step procedure, the properties of the structure can be altered at any step to account for changes of stiffness, hinges, etc.

In practice, it is usually used on elastic structures because the changing characteristics of an elastic-plastic structure increase the computer time greatly. The complexity and computer time again increase very greatly if the changed material characteristics must follow those of a degrading hysteresis curve of member or connection.

In all of the three methods of analysis, the secondary stresses such as $P-\Delta$ are not usually calculated directly although they could be with the time history method. Approximations for $P-\Delta$ can be determined for the other two methods.

The last step of the earthquake resistant design process is the design and detailing of various members and their connections. Even when an elastic analysis method is used, the inelastic behaviour of the sections must be recognized by using the ultimate strength method in the design. The designer is required to realistically assess the possible levels of strength both in flexure and in shear of elements and their connections, which cannot be procured by using the working stress method.

Post earthquake investigations have revealed that, detailing may be the most crucial element in the design process. Discussion of problems associated with detailing is presented in Section 4.

3- PROBLEMS OF ANALYSIS AND DESIGN

One of the major problems for a designer is connected with the prediction of the characteristics of the expected ground motion at the given site, which usually highly influence the results regardless of the type of the analysis used. The uncertainties of these characteristics and therefore of seismic loading are extremely large. It would be rational to use a probabilistic approach to seismic design but there is a lack of statistical data in most regions of the world. Only exceptionally there is a large enough sample of strong-motion records obtained at the site of interest. Alternatively, characteristics of the ground motion expected at the site can be generated from stochastic process models of local seismicity in the near-by seismic sources using attenuation laws. For the time being, however, the design spectra, which originated from the analysis of Californian earthquakes, are still the basis of the spectra in many codes throughout the world. A lot of strong motion records should be obtained and a lot of research work should be done before more appropriate and realistic design spectra and more reliable design accelerograms could be determined in most regions of the world. For inelastic response the intense, relatively long acceleration pulses and the duration of strong ground shaking is very important. Even with well defined characteristics of expected ground motions and known structures, there is not a unique design earthquake for serviceability, damageability, and collapse limit states. A further consideration in developing the design earthquake concerns the ground motion that actually affects the building. It is generally accepted that some assumed motion of the ground causes the structure to respond

directly. Depending upon the type of structure, type of foundation and type of foundation soil, the response of the structure may be quite different, yet in the vast majority of cases this difference is not taken into account.

The amount of damping which is to be used together with response spectra depends more on judgement than on experimental data. Since damping varies with stress level in most materials, the question arises as to which level of earthquake activity or stress level the damping will be associated with.

Thanks to the widespread availability of computers and computer programs, the problems in performing dynamic response analysis are widely decreased in the last decade. With the advanced computer technology we enjoy today and with the numerical methods available there are theoretically almost no limits in size and complexity of problems that can be solved. Practical limitations are set only by economic considerations, because design costs should be kept in certain limits. However, there are many uncertainties in modelling the soil-structure interaction, the in-plane flexibility and the participation in bending of floor slabs, the effective width of various structural elements, the stiffness of joints, the infill walls and even the reinforced concrete cross sections. These uncertainties influence the results of analysis and design, therefore it does not necessarily follow that a highly sophisticated structural analysis lead to highly accurate results. It should be emphasized that the sophistication in structural concept, detailing, and construction are at least as much important as the sophistication in the analysis. Nevertheless, the designer of an earthquake resistant structure must pay great attention to the distribution of forces and deformations in the structure and therefore has a need for reasonably accurate analysis.

Since a strong earthquake may induce structural deformations well beyond the elastic limit, the only realistic analysis is the nonlinear dynamic response analysis. However, the behavior of structural materials during strong earthquakes has only been studied in recent years. Traditional material testing has been monotonic and interest has been concentrated in the elastic range combined with one number - the maximum ultimate load. In earthquake loadings the material must perform in repeated cyclic loadings with interest concentrated in the post-elastic range. Many materials deteriorate during each cycle of loading beyond the elastic limit and few, if any, practical computer programs can include this deterioration into the calculation even if the amount of deterioration is known. Since the performance and deterioration is dependent on member dimensions and the details of the reinforcement, only a very few of the relevant relationships are even known. This deficiency is most important for the strong damaging earthquakes which tend to have a longer duration of shaking and hence more cycles of loading, leading to more deterioration. Although extensive experimental research have improved our understanding of inelastic properties of structures, it is still difficult to construct mathematical models that lead to satisfactory results and are not too

complicated for the practice. Furthermore, the inelastic characteristics of the structural elements are subjected to a great deal of uncertainty. Many additional experimental work should be done to reduce this uncertainty. Extensive numerical parameter studies are still needed to obtain a "feeling" of the influence of different input parameters on the computed results.

As a result of all these factors there have been only few practical applications of the inelastic dynamic analysis. For the time being mostly approximate procedures based on elastic theory are widely used in practice. It is probable that many of the mentioned problems connected with inelastic analysis will not be solved in the next few years and that approximate procedures, although of questionable value for predicting the true response during a strong earthquake, will still be used in the near future.

There are also many uncertainties in other design factors such as overturning moment, effect of torsion, multicomponent excitations etc.. Extensive research is being carried out at several institutions on these and other related problems.

4- STRUCTURAL DETAILS

One of the most important stages in earthquake resistant design is detailing. The building has a character of its own depending on how the members and parts are assembled and how they interrelate. The joining of these parts is absolutely fundamental in the seismic design procedure. Furthermore, it should be well appreciated by all involved with earthquake-resistant design that the designer has to show on his drawings and in his specifications precisely what he wants to obtain. He cannot leave the matter up to the contractor, or to the fabricators, or to chance although this means a great deal more work for earthquake resistant design as compared to design for either nominal or no earthquake resistance.

The details are those items and/or connectors that introduce the loads into the system, provide the necessary strength and other properties to the component members and connect the members or components in such a way that there is a continuous stress path between the origin of the load and its final resistance. In addition to the functions noted above, the detail must be in such a form that it is practical for available workman to build with available materials.

One of the most common construction materials in most countries is brick or stone masonry-rarely reinforced. Masonry structures should be very carefully detailed and constructed in seismic areas. A prime requirement for all masonry (and other) construction in seismic areas is the anchorage of the walls to floors and roofs in such a way that the walls do not fall out and roof falls in, crushing the occupants.

Common practices for detailing reinforced concrete construction throughout the world are based on gravity load design. The traditional monotonic tests generally show that the ordinary details give adequate strength for this purpose. When tested cyclically, however, strengths are greatly reduced and when the test loadings are extended to include large strains, it has been discovered that normal detailing provides little or no ductility.

To be suitable for use to resist bending or compression in earthquake resistance, it has been found that the steel reinforcing of concrete must be very specially detailed to provide adequate ductility. Ties for columns and stirrups in beams must be very closely spaced to prevent longitudinal bar buckling and to prevent shear failure before bending yield occurs and hinges form. The bond and shear stresses in the "panel zone" (the area common to both beams and columns) cannot be neglected as done in gravity load design, but must be accommodated by the addition of ties and stirrups. Tension steel percentages must be kept low so that yield occurs in steel before concrete crushes. The secondary stresses of lap splices must be accommodated so that the concrete does not split -and the heat treatment effects of welding the reinforcing (lowering ductility of steel) must be considered. There must be some reinforcing steel to accommodate both positive and negative bending moments in all portions of members.

One of the details that is often overlooked in many structures -because it does not show up on the analysis- is the manner of transferring loads from one component to another. The most common example is the collector bar that "collects" loads from a floor or roof diaphragm and delivers it to a shear wall that is shorter than the depth of the diaphragm. Similar oversights often occur in calculating the internal stresses of a pierced shear wall.

Special precautions must be taken at all points of discontinuity or change in section. One example is the discontinuous shear wall where floor diaphragms transfer the shear to other elements but columns under the shear wall must resist the overturning moments. The load factors on these columns must be adequate to resist the real - not code - earthquake overturning forces and the details of the column reinforcing must provide for ductility and containment throughout its length - not just at the ends.

Steel framed structures have performed excellently in all past earthquakes, but many of the newer developments have not had to undergo the rigors of a major earthquake. The very thick steels now used, welded connections with the thick column sections, partially welded column splices and the common box column with internal stiffener plates all are now commonly used but have not had the ultimate test.

In moment frame earthquake resistance, several engineers are studying the concepts of designing the columns as "trees", including a stub of the beam and the connection as one strong integral unit. Others are locating weakened but highly contained sections where they want hinges to form. The efficiency and economy of these solutions must still be proven.

Special reinforcement for boundary members to provide containment and ductility are being incorporated into various designs. Special detailing of construction joints to prevent shear slippage is being specified by some engineers, although few if any of these requirements have found their way into codes or standards.

In addition to the calculated strength and ductility features of a connection, the connection must be so arranged that the various parts can be assembled by the available workmen. The details of the connection can have a major effect on the erection procedure or the general planning of the construction and therefore can lead to a great total cost - more than simply the cost of material in the connection. The detail of the connection must also be such that it is reliable when assembled by the available workers and can be adequately inspected by the site engineer.

For after all, the public wants and needs a safe, usable structure, not a set of nice drawings or brilliant calculations.

5- SPECIAL DESIGN CONSIDERATIONS

There are a great many special measures that can be taken for earthquake resistance. The most obvious one, of course, is to provide in design for lateral forces as prescribed by codes. Less obvious in the codes, but equally important, is to provide for ductility and energy-absorbing capacity in the inelastic range and, if possible, to provide redundancy as well. There can be no doubt that major tall structures designed according to typical building codes will not survive severe ground motion unless they have reserve capacity in the inelastic range. There are ways of doing this that may not be rigorous, such as the "reserve energy technique", but they are certainly applicable as a supplement to normal code design.

High-risk structures such as nuclear plants are designed to resist the prescribed motion essentially in the elastic range with little or no excursion into the inelastic range. Even these structures have some ductility, sometimes considerable ductility beyond the elastic limit or the yield point, and they thus have far more resistance against ultimate shock than is credited under normal conditions. On the other hand the typical buildings in which the mass of the people reside, live, or work including office buildings, apartments, hotels, hospitals, even jails, are designed according to lateral force coefficients that can be greatly exceeded in most areas of the seismic world under extreme conditions. It is absolutely essential that such structures have, in addition to their elastic strength, the adequate supply in the inelastic region. Although this means that there will be some damage, the amount and type of damage can be controlled in design. Since there will be a considerable amount of motion, special attention has to be paid to the architectural, mechanical and electrical details so that they do not become a hazard or a tremendous financial burden in a severe earthquake.

It is highly advisable for an earthquake resistant building to have a basic layout which is as simple as possible, preferably symmetrical both in floor plans and elevations. A more general rule is to have a "flow" for stress path for each element which transfers the seismic stresses, as quickly as possible, into the ground through the foundations. If this cannot be done in all cases, there should be as direct a path as feasible architecturally and functionally for the building, and there should be a definite system by which every gram of inertial force generated by the earthquake anywhere in the structure has a rational and complete path to follow in order to reach its destination. If the structure becomes complicated, with setbacks in plan or elevation and/or with abrupt changes in mass or rigidity from floor to floor, or especially at floor plan, very special care has to be taken that all the laws of mechanics are followed in the design, and that overturning moment, translation in both directions, torsion, tilting, soil structure interaction, etc., are all properly considered.

Particular care should be given to the columns on the first stories of most buildings, especially when the shear walls in the upper stories do not continue down through the lower story. It should be noted that, the true dangers of the "flexible first story" are not revealed by the elastic analysis. Among the columns on the first story, one should be more concerned with the corner columns. Corner columns receive overturning moment, possibly from both directions, and translational shear distortion due to torsion which is bound to occur in most buildings, if not all when they reach the inelastic state. Corner columns should be very carefully considered although the present codes do not adequately insure against trouble in this regard.

One of the most important considerations of earthquake resistant design is the provision of redundancy. Since the actual forces or movements are unknown and the properties of the materials at large cyclic strains have not been researched adequately, the probability of failure of some structural elements in a large earthquake must be faced. To the uncertainty of the unknowns above, the normal variations in materials, workmanship and even design must be added. The major protection against the failure of an element and consequent progressive collapse is a high degree of redundancy. This is almost impossible to quantify and specify in a code or specification and so it is not mentioned in current design standards. Yet, a current design concept that is popular because of its economy is the provision of a minimum number of moment resisting bents - generally only at the exterior walls - with all other framing simply connected so that it provides no lateral resistance. Another popular concept is to provide all of the lateral resistance in one or two core shear walls with all other framing simply connected. These systems violate the need for redundancy in the name of economy.

In the present state-of-the-art, the most suitable high-rise structural system is the combination of a ductile moment resisting frame combined with shear walls or braced frames. It has the benefits of the box system for stiffness and consequent protection of the contents and also the ductility of the moment frame to serve as a second line of defense. It is also highly redundant.

The cantilever system is used in small structures such as covered walkways, components of large structures and for large special structures such as tanks and towers. Because of its lack of redundancy and the potential $P-\Delta$ dangers of large deflections, it requires special treatment in all design and construction aspects.

There is no simple answer as to what should the safety factor be. Certainly, in the case of a building without redundancy and without ductility, there should be a very high safety factor for the normal code forces. The normal safety factors of the typical building codes for ordinary structures, such as office buildings, hotels, apartments, theatres, etc., combined with the forces used in those codes, are just barely adequate in severe cases. For a major earthquake, if one is possible in the area, there may not be much remaining safety factor. Therefore, one has to rely upon redundancy and ductility. For high-risk facilities, such as nuclear plants and dams, the true safety factor, considering real analysis and real earthquakes should be more than adequate. However, in most cases, the safety factors are being compounded unduly and the true overall safety factor is doubtless much greater in most cases than is expected or needed.

What we need is attention to the overall probability of the events happening, the overall resistance of the structure without compounding safety factors under each variable, and the proper computation of the joint probability of occurrence and the designation by the proper people, including the professionals, as to what the acceptable level of risk really is.

6- POST-EARTHQUAKE INVESTIGATIONS

The most important single factor in developing the art of earthquake resistant design and construction and the reduction of the earthquake hazard is the field investigation of the performance of structures subjected to damaging earthquakes. This has been the only method by which our various theories of design, the effects of ground motion and the efficiencies of details of construction are proven to be correct or in error. Practically all of our present techniques of reducing the earthquake hazard were initiated by the observance of the actual performance of structures in earthquakes.

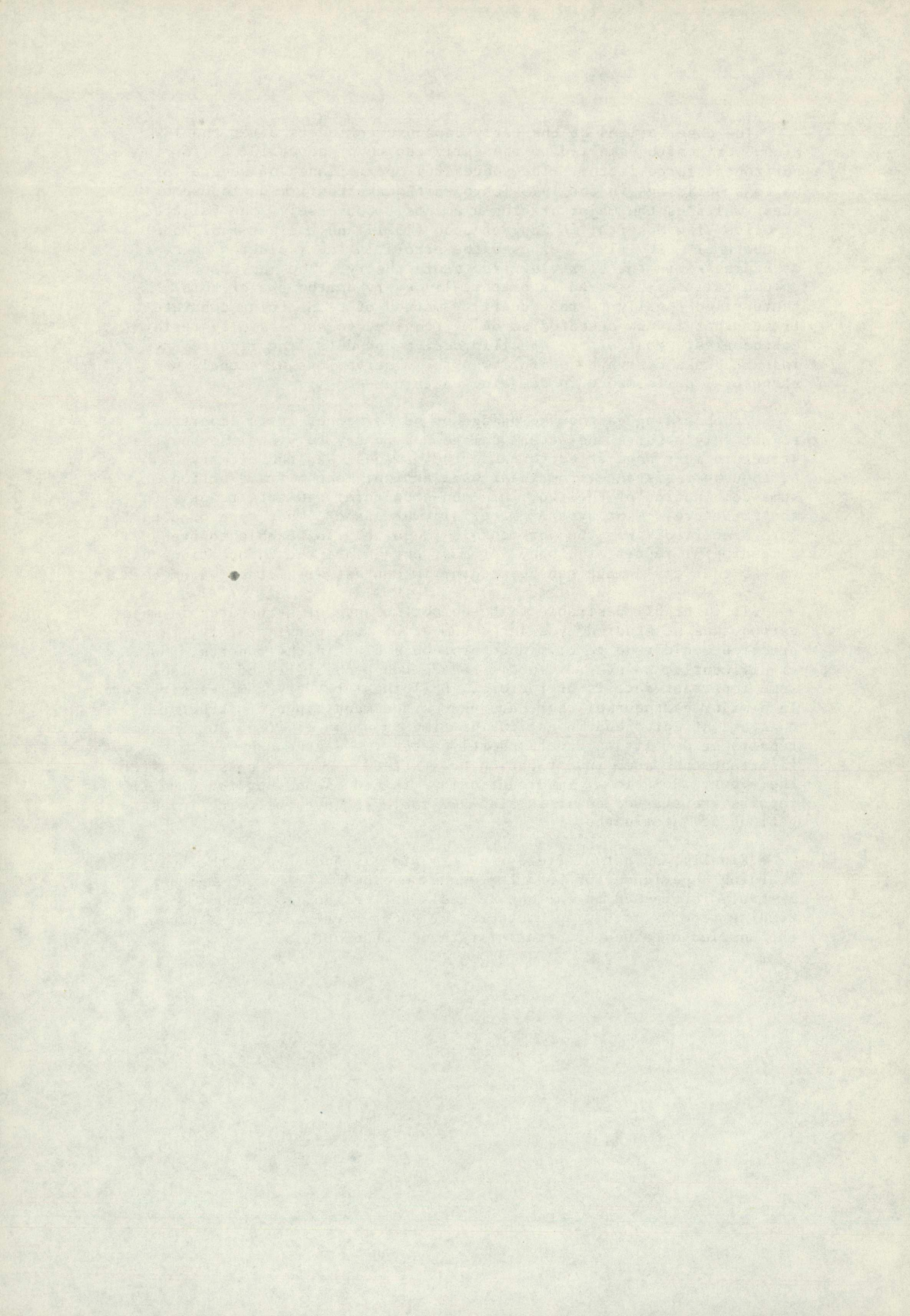
Most reports of earthquake effects on structures concentrate on the damage that occurred. This is certainly of value because the weak elements of design and construction are revealed and the lessons to be learned are emphasized by way of illustration. However, it is much more important to examine those structures that successfully withstood the earthquake to determine what qualities of construction permitted the successful performance. The successful performance of some structures assures us that we can design to resist strong earthquake motions and gives some clues as to the amount of resistance that may be required for different materials and systems.

The observations of the early Japanese engineers after the 1891 Mino-Owari earthquake led to the early choice of about 10% g for the horizontal force factor. The successful performance of several of Naito's buildings in the 1923 Tokyo earthquake confirmed his use of shear walls as the major bracing elements. Conversely, the failures of Olive View Hospital in San Fernando (1971) and the Terminal Hotel in Guatemala City (1975) exposed the errors in the isolation concepts as expressed in the flexible first story theory. The many concrete column failures observed in practically every earthquake of this century led finally to the "ductile" method of reinforcing concrete frames that is now accepted as being required to successfully resist earthquakes. Most of the specific design and detailing requirements in earthquake design codes followed the observations of actual structural performance in damaging earthquakes.

In observing earthquake damage or performance, it is important to not only observe the actual damage but to try to visualize how the structure must have acted to cause the damage. Was the primary earthquake resistance from shear wall action, moment frame action or some combination of the two? Did non-structural elements react with the structure? What type of materials were used? What type of details were specified? Was the workmanship adequate? To be able to prepare a meaningful report, the observer must obtain all the information he can so that the damage can be studied in context with other parameters.

It is highly desirable that the performance of structures in major earthquakes be studied by a large number of observers. Partly, this practice would tend to eliminate or reduce bias in the reports. More significantly, however, it would reduce the probability of overlooking some important details or factors. Buildings are very complex structures. In a major earthquake there are very often many types of structures that are affected and investigation time is often limited. Often some repairs or demolition occurs shortly after the earthquake so it is important that some investigation be started as soon as possible after the event. Sometimes, important damage is hidden and not found until repairs are started so it is also desirable to have following investigations at later dates.

Finally, an actual field investigation is undoubtedly the best learning experience for both the young and the experienced engineer who is truly interested in earthquake resistant design. No amount of reading reports, studying pictures, or theoretical analysis can equal the knowledge gained by actual firsthand observation.



SIMPLIFIED METHOD FOR COMPUTATION OF EARTHQUAKE INDUCED SHEARS AND OVERTURNING MOMENTS IN REGULAR MULTISTOREY STRUCTURES

Peter Fajfar^I and Štefan Strojnik^{II}

SUMMARY

Design charts for the approximative determination of earthquake induced shears and overturning moments are presented. The charts enable the elastic solution for any regular multistorey structure to be obtained by linearly combining the solutions of two basic models: the flexural and the shear beam. Lateral displacements of the structure due to uniform static lateral load are the information needed for the computation.

OBJECT AND SCOPE

Current seismic design codes of most countries use simple distribution of seismic force over the height of a building to determine shears and overturning moments, which does not take into account the type of the structure and the higher mode effects. The most important parameters determining the dynamic characteristics of a structure are (beside the mass distribution) the magnitude and the shape of deformation the structure undergoes when loaded laterally. Knowing the deformation and the mass distribution throughout the height of a building it is possible to determine quite accurately the natural periods and the associated mode shapes of the structure, which represent the basis of the elastic dynamic analysis.

According to the type of lateral deformation different mathematical models ranging from flexural beam to shear beam can be used for regular multistorey buildings. The flexural beam model represents closely a structure with uncoupled shear walls, while the shear beam model represents a frame structure with rigid girders. Other types of structures (coupled shear walls, frames with flexible girders, all types of shear wall frame assemblies) may be idealized as cantilevers deforming both in shear and bending.

Response spectrum method has been used and shears and overturning moments in two basic models have been determined using the exact analytical solutions. The solution for any other model can be obtained by linearly combining the solution of both basic models. The combination coefficients have been numerically determined as a function of a single parameter: the ratio of the lateral displacement at the top and the middle due to the uniform static lateral load. In Fig.1 design charts and formulae for computation of shears and overturning moments in regular (with constant

^I Assoc. Prof., Dept. of Civ. Engrg., University E. Kardelj of Ljubljana, Yugoslavia

^{II} Postgrad. Student, Dept. of Civ. Engrg., University E. Kardelj of Ljubljana, Yugoslavia

properties throughout the height of the building) multistorey structures are given. The higher mode effects and arbitrary design response spectrum can be taken into account.

NUMERICAL EXAMPLE

As a numerical example a ten-storey shear wall frame, as shown in Fig.2, is investigated. The design spectrum according to Fig.3 is used. Lateral displacements at the top and at the middle of the structure due to the uniform lateral static load mg are determined by using tables in [1]:

$$\delta_T = 0.735 \text{ m}, \delta_M = 0.409 \text{ m}, k_\delta = 0.409/0.735 = 0.556$$

From Fig.1 we find

$$k_{T1} = 1.70, k_{T2} = 0.31, k_{T3} = 0.165$$

$$k_{b1} = 0.49, k_{s1} = 0.51, k_{Qb} = 0.34, k_{Mb} = 0.24, k_{Qs} = 0.77, k_{Ms} = 0.83$$

Hence

$$T_1 = 1.70 \sqrt{0.735} = 1.46 \text{ s}, T_2 = 0.31 \times 1.46 = 0.45 \text{ s}, T_3 = 0.165 \times 1.46 = 0.24 \text{ s}$$

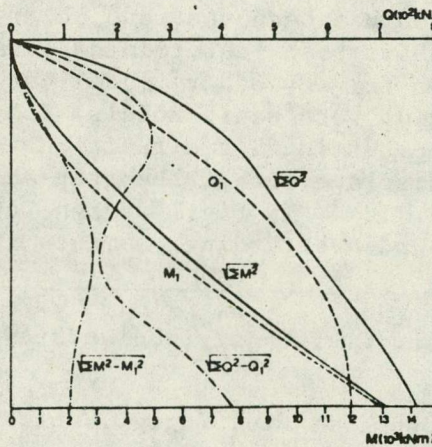
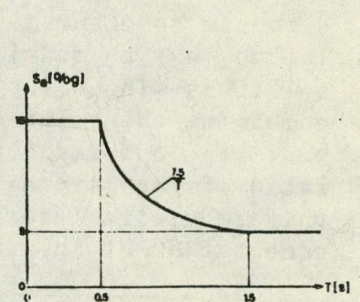
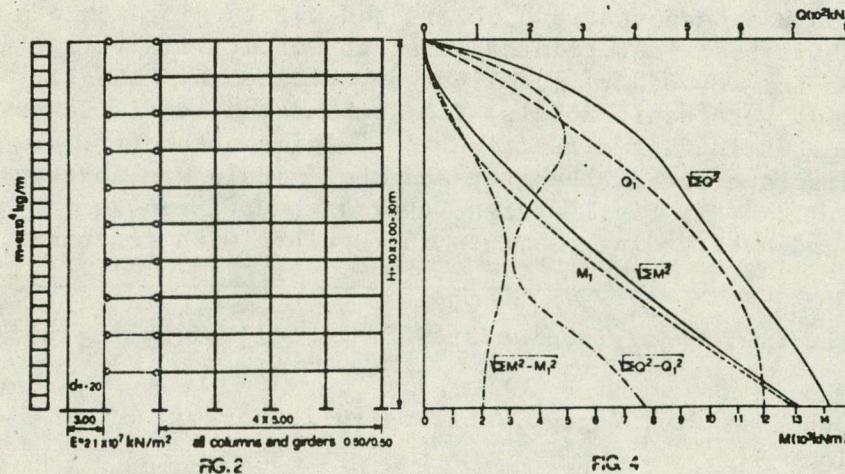
$$S_{a1} = (0.075/1.46) \times 9.81 = 0.50 \text{ m/s}^2, S_{a2} = S_{a3} = 0.15 \times 9.81 = 1.47 \text{ m/s}^2$$

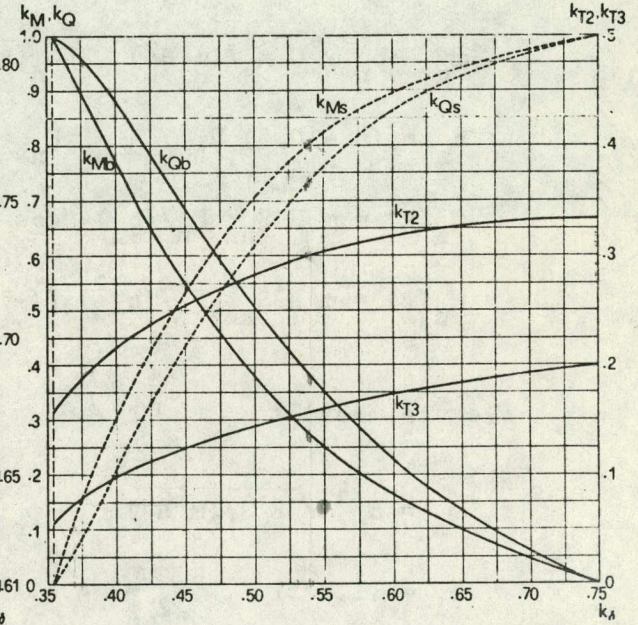
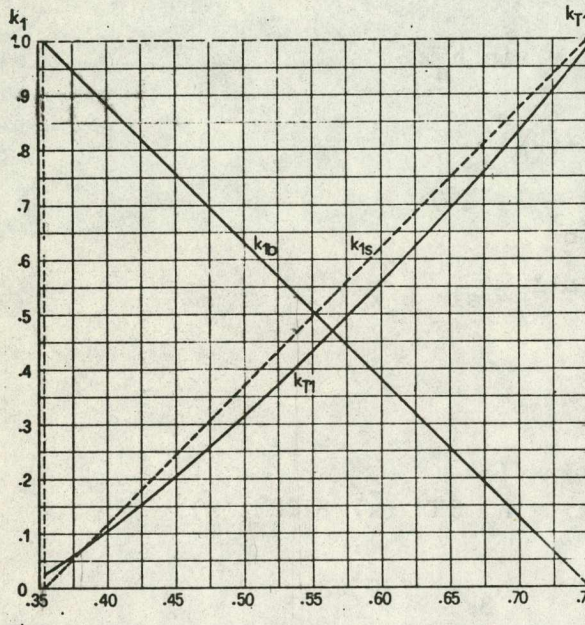
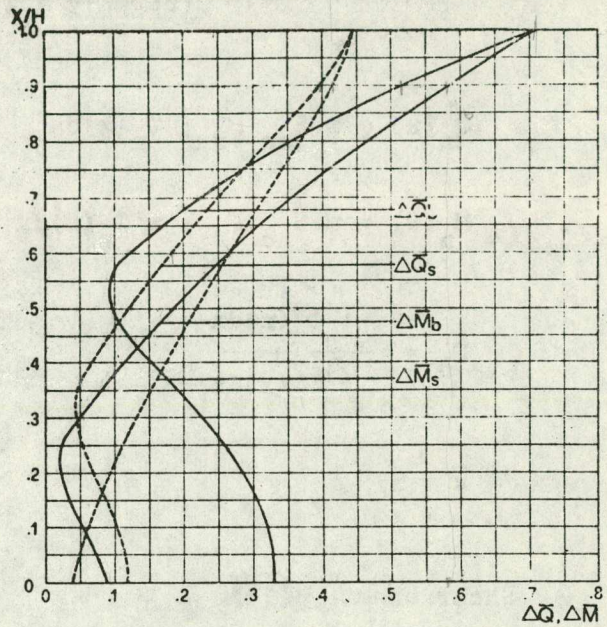
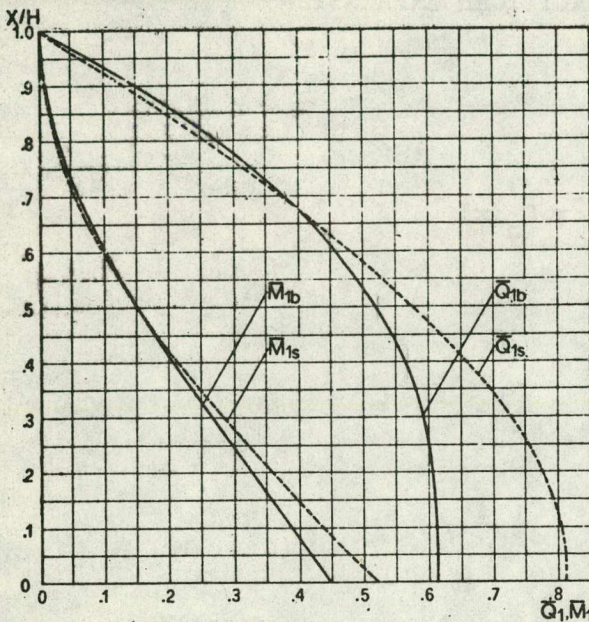
$$c = 1.47/0.50 = 2.94$$

The calculated shears and overturning moments are plotted in Fig.4. The comparison of these values and values, determined by elastic dynamic analysis using a standard computer program, has shown that the difference was about 3 %. The distribution of shears and moments to shear wall and frame may be performed according to usual static procedures, e. g. [1].

REFERENCE

- [1] Rosman R., Statik und Dynamik der Scheibensysteme des Hochbaues, Springer-Verlag 1968.





$$k_{\delta} = \delta_M / \delta_T, \quad T_1 = k_{T1} \sqrt{\delta_T} \text{ [m]}$$

$$T_2 = k_{T2} T_1, \quad T_3 = k_{T3} T_1, \quad c = S_{a2} / S_{a1}$$

$$\bar{Q}_1 = k_{1b} \bar{Q}_{1b} + k_{1s} \bar{Q}_{1s}$$

$$\Delta \bar{Q} = k_{Qb} \Delta \bar{Q}_b + k_{Qs} \Delta \bar{Q}_s$$

$$\bar{M}_1 = k_{1b} \bar{M}_{1b} + k_{1s} \bar{M}_{1s}$$

$$\Delta \bar{M} = k_{Mb} \Delta \bar{M}_b + k_{Ms} \Delta \bar{M}_s$$

$$\bar{Q} = \bar{Q}_1 \sqrt{1 + (c \Delta \bar{Q})^2}, \quad \bar{M} = \bar{M}_1 \sqrt{1 + (c \Delta \bar{M})^2}$$

$$Q = m H S_{a1} \bar{Q}, \quad M = m H^2 S_{a1} \bar{M}$$

$$M = m H^2 S_{a1} \bar{M}$$

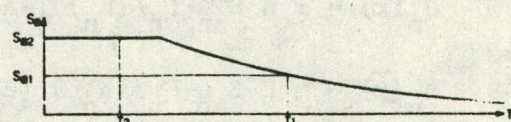
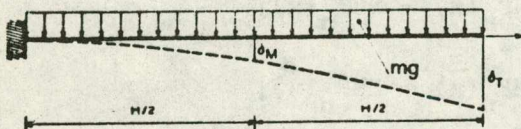


FIG. 1

на канале

$$S_T = \frac{mg H^4}{8EI}$$

$$k_s = 0.354$$

APPENDIX : ANALITICAL EXPRESSIONS

$$Q_n(x) = m S_{an} \Gamma_n \int_x^H \Phi_n(x) dx$$

$$M_n(x) = m S_{an} \Gamma_n \int_x^H x \Phi_n(x) dx - x Q_n(x)$$

$$\Gamma_n = \frac{\int_0^H \Phi_n(x) dx}{\int_0^H \Phi_n^2(x) dx}$$

$$\bar{x} = x/H$$

Shear beam

$$\omega_n = b_n \sqrt{G A_s / (m H^2)} , \quad \Phi_n(\bar{x}) = \sin b_n \bar{x}$$

$$b_n = (n - 0.5) \Pi , \quad \Gamma_n = 2/b_n$$

$$Q_n(\bar{x}) = m H S_{an} \Gamma_n / (b_n) \cdot \cos b_n \bar{x}$$

$$M_n(\bar{x}) = m H^2 S_{an} \Gamma_n / (b_n^2) [(-1)^{n+1} - \sin b_n \bar{x}]$$

Flexural beam

$$\omega_n = b_n^2 \sqrt{E J / (m H^4)} , \quad \Phi_n(\bar{x}) = A_n \text{SHM}_n(\bar{x}) + \text{CHM}_n(\bar{x})$$

$$b_1 = 1.8751 , \quad b_2 = 4.6941 , \quad b_3 = 7.8548$$

$$A_1 = -0.7341 , \quad A_2 = -1.0185 , \quad A_3 = -0.9992$$

$$\Gamma_1 = 0.7830 , \quad \Gamma_2 = 0.4339 , \quad \Gamma_3 = 0.2544$$

$$\text{CHM}_n(\bar{x}) = \text{ch } b_n \bar{x} - \cos b_n \bar{x} , \quad \text{CHP}_n(\bar{x}) = \text{ch } b_n \bar{x} + \cos b_n \bar{x}$$

$$\text{SHM}_n(\bar{x}) = \text{sh } b_n \bar{x} - \sin b_n \bar{x} , \quad \text{SHP}_n(\bar{x}) = \text{sh } b_n \bar{x} + \sin b_n \bar{x}$$

$$Q_n(\bar{x}) = m H S_{an} \Gamma_n / (b_n) [-A_n \text{CHP}_n(\bar{x}) - \text{SHM}_n(\bar{x})]$$

$$M_n(\bar{x}) = m H^2 S_{an} \Gamma_n / (b_n^2) [A_n \text{SHP}_n(\bar{x}) + \text{CHP}_n(\bar{x})]$$

