



UNIVERZA EDVARDA KARDELJA V LJUBLJANI

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

Peter Fajfar, Vojko Kilar

EAVEK

Dopolnila in spremembe za verzijo 2.0

Publikacija IKPIR št. 31

Ljubljana, februar 1989

Peter Fajfar, Vojko Kilar

EAVEK

Dopolnila in spremembe za verzijo 2.0

Publikacija IKPIR št. 31

Ljubljana, februar 1989

Samo za interno uporabo!

CIP - katalogizacija v knjigi
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

624.04:519.688

FAJFAR, Peter

EAVEK : dopolnila in spremembe za verzijo 2.0 / Peter Fajfar, Vojko Kilar. - Ljubljana : Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, 1989. - (Publikacije IKPIR ; št. 31)

Dopolnitve in spremembe je potrebno uporabljati z osnovnim priročnikom P. Fajfarja EAVEK : program za elastično analizo večetažnih konstrukcij, 2. izd. iz l. 1981 ali 3. izd. iz l. 1987. - Vsebuje tudi prispevek P. Fajfarja s 4. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana 1988 z naslovom Verifikacija programa EAVEK s pomočjo primerjave z eksperimenti

ISBN 86-80223-06-9

1. KILAR, Vojko 2. FAJFAR, Peter: Verifikacija programa EAVEK s pomočjo primerjave z eksperimenti

Peter Fajfar
Vojko Kilar

EAVEK
Dopolnila in spremembe
za verzijo 2.0

Publikacija IKPIR št. 31

Izdala in založila:
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG,
IKPIR, Ljubljana

© IKPIR F A G G 1989

Tisk in vezava:
Formatisk, Ljubljana
Naklada 100 izvodov.

Po mnenju Republiškega komiteja za kulturo št. 4210 - 93/86 z dne 23. 6. 1986 so publikacije FAGG oproščene prometnega davka.

PREDGOVOR

Začetki programa EAVEK segajo v leto 1971, ko je bila pripravljena osnovna teorija, po kateri je bil leta 1972 izdelan predhodnik EAVEKa, imenovan DAVEK. V letih 1973 in 1974 so bile teoretične osnove dopolnjene in leta 1976 je bil predan v uporabo nov program z imenom EAVEK, ki se od tedaj intenzivno uporablja v pedagoškem, raziskovalnem in strokovnem delu v Sloveniji, pa tudi izven nje. Z razvojem osebnih računalnikov se je pojavila potreba po predelavi programa, ki je bila narejena v letih 1986 in 1987. Program je namreč kljub hitremu razvoju znanosti še vedno zelo aktualen, saj uporabljeni računski model velja v svetu in pri nas še vedno kot najbolj primeren za račun običajnih stavb. Ustreznost modela in pravilnost programa dokazuje dobro ujemanje rezultatov računov in eksperimentov na dejanskih stavbah, kar je dokumentirano v prilogi K tej publikaciji. Po drugi strani je razvoj računalništva v zadnjem času prinesel povsem nove možnosti, ki povzročajo bistvene spremembe pri modernih programih, namenjenih za široko uporabo. Program EAVEK pa je, kljub dopolnitvam in izboljšavam, ki so bile narejene v zadnjem desetletju, za uporabnika ostal praktično enak kot v originalni verziji. Iz tega razloga smo se odločili, da program EAVEK posodobimo in ga prilagodimo novim možnostim pa tudi zahtevam uporabnikov. Rezultat tega dela je nova verzija programa (verzija 2.0), ki poleg dopolnitev v osnovnem programu vsebuje tudi predprocesor in poprocesor. Prvi omogoča lažjo pripravo podatkov, drugi pa nazornejši prikaz rezultatov.

Največji del dela pri izdelavi verzije 2.0 je opravil Vojko Kilar pod vodstvom Petra Fajfarja. Pri delu pa so sodelovali še drugi sodelavci IKPIRa, med njimi so k novi verziji pomembno prispevali Smiljan Sočan, Vid Marolt in Matej Fischinger. V novi verziji programa so vključeni osnovni programi za grafični prikaz rezultatov iz P-paketa, ki sta ga pripravila Andrej Vitek in Iztok Kovačič in osnovni programi za delo z meniji, ki jih je pripravil Žiga Turk.

Vsak uporabnik uporablja program na lastno odgovornost. Program je bil skrbno testiran, vendar niti avtorja niti njuna institucija ne prevzemajo nobene odgovornosti za morebitno škodo, ki bi nastala zaradi morebitnih napak v programu ali zaradi neustrezne uporabe programa.

VSEBINA

	str.
PREDGOVOR	
PREGLED DOPOLNITEV IN SPREMEMB.....	1
1.0 TEORETICNE OSNOVE.....	2
1.1 CQC metoda pri računu s spektri.....	2
1.2 Račun časovnega poteka odziva.....	7
1.3 Literatura.....	8
2.0 NAVODILA ZA UPORABO.....	9
2.1 Potrebna strojna oprema.....	9
2.2 Potrebna programska oprema.....	9
2.3 Instalacija in zagon programa.....	9
2.4 Predprocesor za pripravo podatkov.....	11
2.5 Povezava programov EAVEK in OKVIR.....	17
2.6 Račun s spektri odziva.....	19
2.7 Račun časovnega poteka odziva.....	20
2.8 Grafični prikaz rezultatov.....	23
3.0 PRIMERI UPORABE.....	29
3.1 Uvod.....	29
3.2 Ravninska konstrukcija - primer 1.....	30
3.3 Prostorska konstrukcija - primer 2.....	34
3.4 Povezava programov EAVEK in OKVIR - primer 3.....	40
PRILOGE.....	45
PODATKI O AKCELEROGRAMIH.....	45
PODATKI O SPEKTRI.....	48
VERIFIKACIJA PROGRAMA EAVEK S POMOCJO PRIMERJAVE Z EKSPERIMENTI.....	51

PREGLED DOPOLNITEV IN SPREMEMB V VERZIJI 2.0**VAZNO OPOZORILO !**

Ta priročnik se nanaša samo na dopolnitve in spremembe, ki so narejene v verziji 2.0 glede na staro verzijo 1.3, zato ga je potrebno uporabljati v kombinaciji z osnovnim priročnikom:

Peter Fajfar

EAVEK, Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij, Publikacija IKPIRa št. 13, 2. izdaja, 1981 ali 3. izdaja, 1987.

Večji del navodil za pripravo podatkov iz osnovnega in iz tega priročnika je smiselno vključen v HELP datotekah, ki predstavljajo sestavni del programa.

PRIPRAVA PODATKOV

Poleg obstoječega načina priprave podatkov, ki je ostal nespremenjen, obstaja povsem nov način priprave podatkov, ki je opisan v tem priročniku (poglavje 2.4).

GRAFICNI PRIKAZ REZULTATOV

PRINTPLOT ukazi iz verzije 1.3 ne obstajajo več. Ponovno delujejo PLOT ukazi, ki zdaj omogočajo risanje na različne risalne naprave: na zaslon, na tiskalnik in(al) na risalnik (poglavje 2.8).

POVEZAVA PROGRAMOV EAVEK IN OKVIR

Omogočen je avtomatičen prenos podatkov (matrik elementov) in rezultatov (obtežbe na elemente) preko datotek iz programa OKVIR v program EAVEK in obratno. Uporabljati moramo novo verzijo programa OKVIR, verzijo 3.0 iz leta 1989 (poglavje 2.5).

SPREMEMBA PRI RACUNU S SPEKTROM

Namesto SRSS metode je vgrajena nova metoda (CQC) za kombinacijo vpliva različnih nihajnih oblik (poglavji 1.1 in 2.6).

SPREMEMBE PRI RACUNU CASOVNEGA POTEKA ODZIVA

Uvedena je nova metoda računa. Dopolnjen je način podajanja obtežbe. Obtežbo lahko beremo tudi s posebej pripravljenih datotek, kjer so shranjeni akcelorogrami tipičnih močnih potresov, registriranih pri nas in v svetu. Disketa z datotekami je priložena programu (poglavji 1.2 in 2.7).

1.0 TEORETICNE OSNOVE

1.1 CQC metoda pri računu s spektri

Uvod

Pri konstrukcijah z več prostostnimi upoštevamo več lastnih nihajnih oblik. Za vsako je potrebno določiti maksimalno vrednost odziva iz spektra, pri čemer pa ne vemo, kdaj se ta maksimalna vrednost pojavi. Maksimalno vrednost odziva konstrukcije dobimo s kombinacijo maksimalnih vrednosti za posamezne nihajne oblike.

Možnih načinov kombiniranja je več. Dosedaj je program EAVEK uporabljal metodo, kjer maksimalne količine za posamezne nihajne oblike kombiniramo z geometrijsko vsoto (SRSS, Square Root of Sum of Squares). Ta kombinacija daje dobre rezultate pri konstrukcijah, ki imajo precej različne lastne frekvence (kot recimo pri ravninskih konstrukcijah, računanih z modelom, ki ga uporablja EAVEK). Pri konstrukcijah, ki imajo lastne frekvence zelo blizu skupaj ali nekatere enake (ta primer se lahko pojavi predvsem pri prostorskih konstrukcijah), pa daje neustrezne rezultate in to večinoma na nevarni strani (glej primer). Pri dosednji verziji programa se je bilo tej pomankljivosti mogoče izogniti z dodatno kombinacijo rezultatov, ki izhajajo iz obtežbe v dveh, medsebojno pravokotnih smeri.

V novejšem času se je uveljavil način računa s popolno kvadratno kombinacijo, ki daje ustrezne rezultate tudi v primerih, ko ima več lastnih frekvenc približno enake vrednosti. Ta metoda je zdaj vpeljana tudi v program EAVEK.

Osnovne enačbe CQC metode

CQC kombinacija (Complete Quadratic Combination, Wilson in soavtorji, 1981) tako kot SRSS kombinacija temelji na teoriji slučajnih vibracij. Dinamična obtežba mora izpolnjevati dve osnovni predpostavki:

- Trajanje obtežbe je dolgo v primerjavi z nihajnimi časi konstrukcije.
- V obtežbi je enakomerno zastopan širok spekter frekvenc.

Ti dve predpostavki sta pri običajni potesni obtežbi dovolj dobro izpolnjeni. Za posamezne komponente vektorja pomikov oziroma sil velja enačba:

$$R_{kmax} = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} R_{ik} R_{jk}}$$

Kjer je z indeksom k označena ustrezna komponenta količine, indeksa i in j pa tečeta od 1 do števila nihajnih oblik, ki jih upoštevamo. Vrednost ρ_{ij} izračunamo z izrazom:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 (1 + r) r^{3/2}}{(1 - r^2)^2 + 4\xi^2 r (1 + r)^2}$$

kjer je ξ koeficient dušenja računan kot delež kritičnega dušenja (predpostavljeno je, da je dušenje za vse nihajne oblike enako), r pa razmerje lastnih frekvenc $r = \omega_i / \omega_j$. Enačba daje enake simetrične koeficiente, tako da velja $\rho_{ij} = \rho_{ji}$. Koeficienti ρ_{ij} definirajo sklopljenost posameznih nihajnih oblik. Njihove vrednosti so med 0 in 1. Enačba je neuporabna v mejnem primeru:

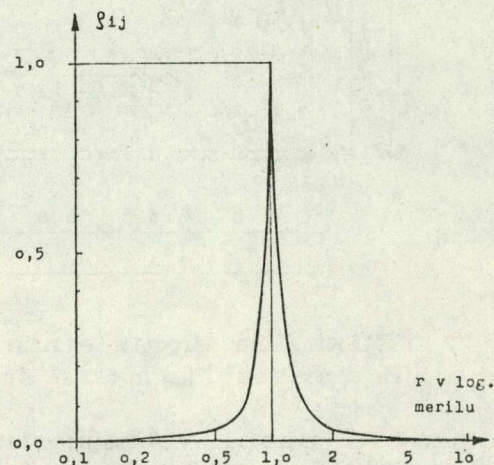
$\xi = 0$ in $r = 1$ ko velja $\rho_{ij} = 1$.

Za ostale mejne primere pa sledi iz zgornje enačbe:

za $\xi = 0$ in $r \neq 1$ velja $\rho_{ij} = 0$.

za $\xi \neq 0$ in $r = 1$ velja $\rho_{ij} = 1$.

Vrednosti koeficientov ρ_{ij} so odvisne od razmerja frekvenc in dušenja. Za dušenje 0.05 so vrednosti ρ_{ij} v odvisnosti od razmerja lastnih frekvenc prikazane na sliki 1.1. Iz slike je razvidno, da so vrednosti ρ_{ij} zelo majhne, če je razmerje lastnih frekvenc pri nihanju v oblikah i in j precej različno od 1.



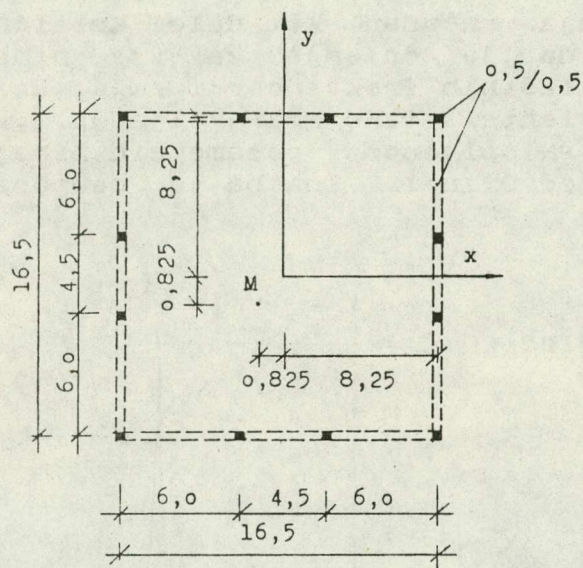
Slika 1.1 Odvisnost koeficienta ρ_{ij} od razmerja frekvenc za 5% dušenje.

CQC metoda kombinacije upošteva vse možne medsebojne produkte komponent vektorjev, ki ustrezajo posameznim nihajnim oblikam. SRSS kombinacija je poseben primer CQC kombinacije, ki upošteva le tiste sumande, pri katerih velja $i = j$. Pri SRSS velja torej $\rho_{ij} = 0$ za vse primere, razen za primer $i = j$, ko velja $\rho_{ij} = 1$.

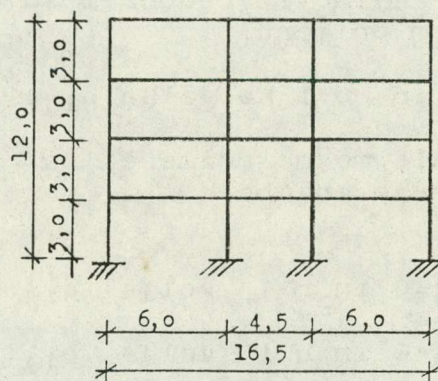
CQC kombinacija daje precej različne rezultate kot SRSS kombinacija le v primerih, ko so posamezne lastne frekvence zelo blizu skupaj, in preide v SRSS kombinacijo, ko je dušenje enako nič (razen v primeru, ko sta dve lastni frekvenci povsem enaki). Pri CQC kombinaciji so pomembni predznaki, ki sledijo iz predhodnega računa!

Primer

Netočnosti, ki nastajajo pri uporabi SRSS metode, lahko prikažemo na štiri-etažnem računskem modelu prikazanem na sliki 1.2. (Wilson in soavtorji, 1981). Konstrukcijski sistem predstavljajo štirje enaki ravninski okviri. Središče mas je nekoliko ekscentrično. Primer je izbran tako, da so nekatere lastne frekvence skoraj enake. V računu je upoštevano prvih šest nihajnih oblik.



Slika 1.2a Tloris etaže
(M predstavlja masno središče)



Slika 1.2b
Tipičen okvir

Masa in masni vztrajnostni moment vsake etaže znašata:

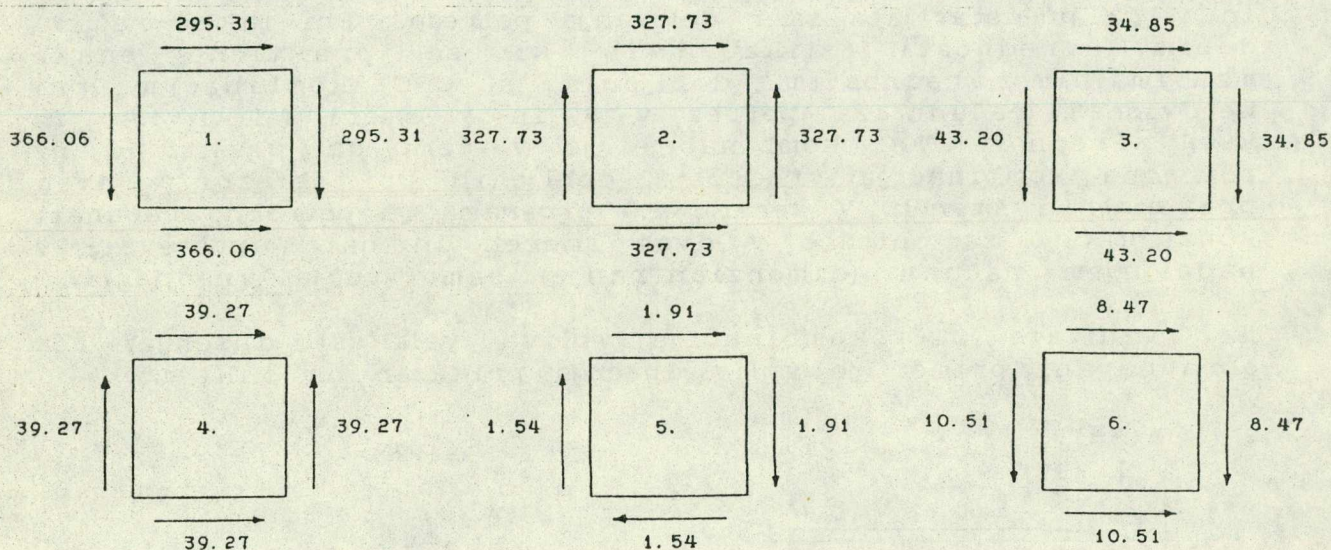
$$m_1 = 127.28 \text{ kNs}^2/\text{m} \quad m_{\varphi 1} = 1140.5 \text{ kNs}^2\text{m}$$

S programom EAVEK, kjer zanemarimo povezanost ravninskih okvirov (upoštevamo le neodvisne ravninske okvire), izračunamo naslednje lastne frekvence in nihajne čase:

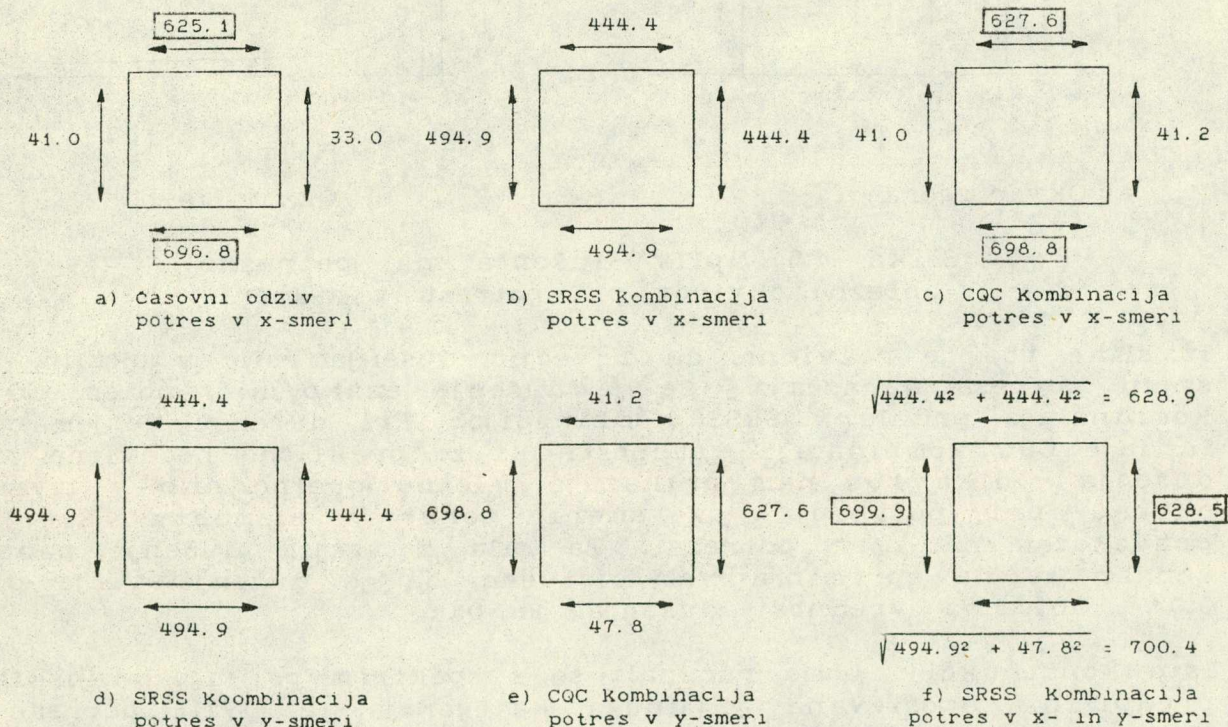
$\omega_1 = 13.867 \text{ s}^{-1}$	$T_1 = 0.453 \text{ s}$
$\omega_2 = 13.941 \text{ s}^{-1}$	$T_2 = 0.451 \text{ s}$
$\omega_3 = 43.396 \text{ s}^{-1}$	$T_3 = 0.145 \text{ s}$
$\omega_4 = 43.627 \text{ s}^{-1}$	$T_4 = 0.144 \text{ s}$
$\omega_5 = 54.626 \text{ s}^{-1}$	$T_5 = 0.115 \text{ s}$
$\omega_6 = 77.491 \text{ s}^{-1}$	$T_6 = 0.081 \text{ s}$

Odziv konstrukcije pri potresni obtežbi je bil analiziran na dva načina. Računan je bil časovni odziv pri obremenitvi v x smeri z akcelorogramom TAFT 1952, komponento N21E. Maksimalne vrednosti celotnih prečnih sil v 1. etaži v posameznih okvirih (te so enake celotni potresni obtežbi, ki odpade na okvir) so prikazane na sliki 1.4a. Za primerjavo je bila uporabljena

metoda računa s spektrom odziva. Spekter je ustrezal istemu akcelorogramu. Maksimalne vrednosti celotnih prečnih sil v 1. etaži za posamezne nihajne oblike so prikazane na sliki 1.3. Kombinacija vpliva posameznih nihajnih oblik je bila izračunana enkrat s CQC metodo in drugič s SRSS metodo. Rezultati so dani na sliki 1.4. Odstopanja približnih rezultatov, dobljenih z metodo spektra odziva, in "točnih" (v okviru uporabljenih predpostavk) rezultatov, dobljenih z računom časovnega odziva, so posledica netočnosti metod za kombinacijo vpliva različnih nihajnih oblik.



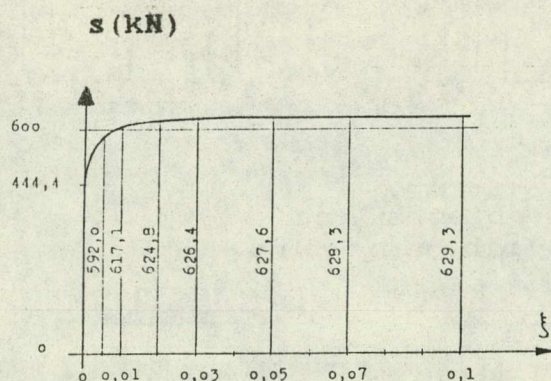
Slika 1.3 Potresna obtežba na posamezne okvire za 6 nihajnih oblik



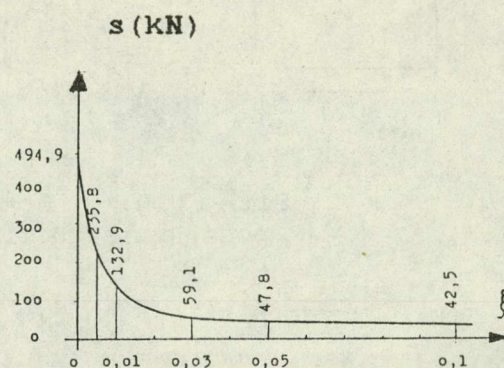
Slika 1.4 Primerjava potresne obtežbe dobljene po različnih metodah

Iz slike 1.4 je razvidno, da daje CQC kombinacija za obravnavani primer rezultate, ki so praktično enaki rezultatom analize časovnega poteka odziva. SRSS kombinacija daje bistveno premajhne rezultate v smeri potresa in bistveno prevelike pravokotno na smer potresa. Potresno obtežbo je treba vedno upoštevati v dveh pravokotnih smereh. Zaradi napak, ki se pojavljajo pri SRSS metodi za kombinacijo različnih nihajnih oblik, smo pri uporabi SRSS kombinacije (stara verzija programa EAVEK) priporočali kombinacijo vrednosti zaradi obtežbe v dveh pravokotnih smereh po formuli $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$, kjer je R poljubna statična količina, indeksa x in y pa predstavljata smer delovanja potresa. Pri takem računu dobimo vrednosti (slika 1.4f), ki so praktično enake maksimalnim vrednostim, dobljenim s CQC kombinacijo pri neodvisnem računu za potres v x in y smeri (sliki 1.4c in 1.4e). Prednost CQC kombinacije je v tem, da praktično ni potrebna kombinacija vrednosti, dobljenih pri obtežbi v dveh pravokotnih smereh. V verziji 2.0 programa je potrebno računati konstrukcijo za obtežbo v dveh smereh in nato upoštevati v nadaljnjem računu (dimenzioniranje) samo večje vrednosti.

Na rezultate CQC kombinacije vpliva velikost dušenja. Za obravnavani primer je vpliv dušenja prikazan na sliki 1.5.



a) Okvir zgoraj



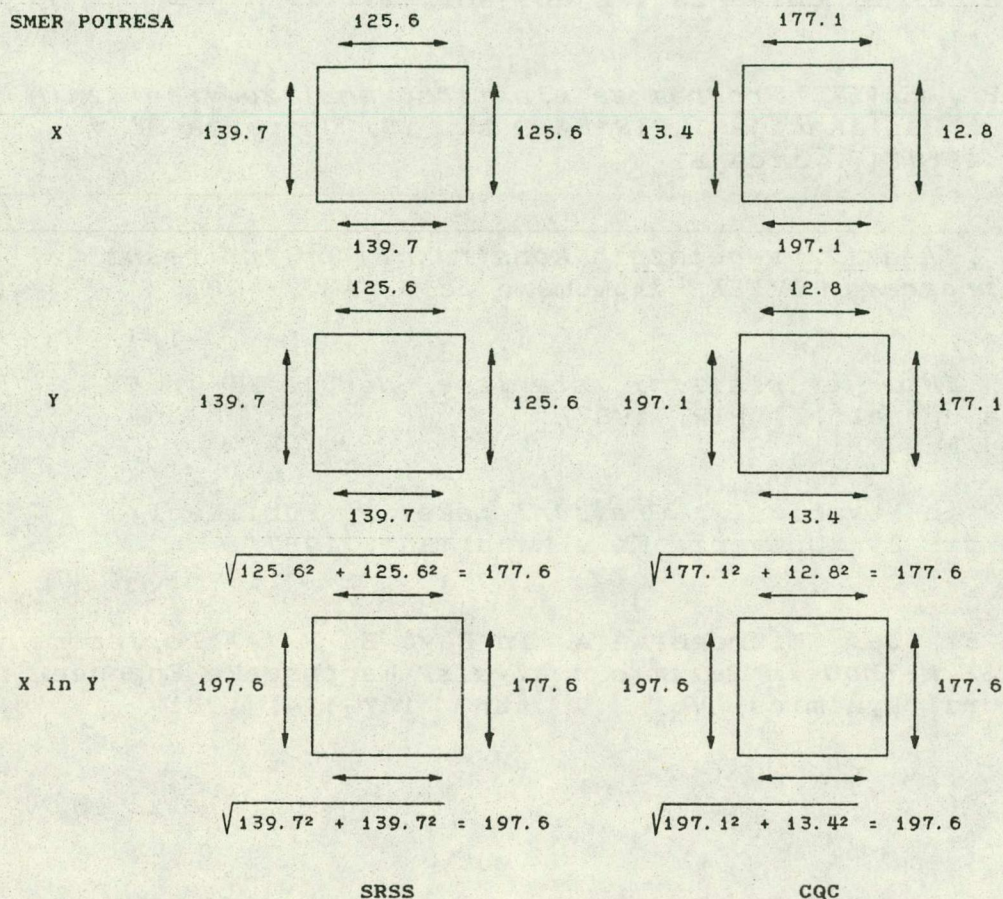
b) Okvir levo

Slika 1.5 Vpliv dušenja na potresno obtežbo okvirov pri potresu v x -smeri

Iz slike 1.5a je razvidno, da z večjim dušenjem sile v okviru v smeri potresa naraščajo. Če je dušenje enako nič, potem CQC kombinacija preide v SRSS kombinacijo. Pri dušenju večjem od 1% daje CQC kombinacija vrednosti, ki so praktično neodvisne od dušenja. Slika 1.5b nam prikazuje celotno prečno silo v levem okviru pri potresu v x smeri, torej v elementu, ki je pravokoten na smer potresa. Ta sila z večjim dušenjem pada, vendar se ne spreminja več bistveno, če je dušenje večje od 0.03. Običajna vrednost dušenja je 0.05.

Isto konstrukcijo bomo računali še s spektrom po jugoslovanskih predpisih. Upoštevana je druga kategorija tal, VIII potresna cona, dušenje 0.05 in koeficient pomembnosti K_0 1.5. Na sliki

1.6 je prikazana potresna obtežba na posamezne okvire (ki je enaka celotni prečni sili v spodnji etaži) pri potresu v x- in y-smeri. Uporabljeni sta SRSS in CQC kombinacija. Na sliki so prikazane tudi kombinirane vrednosti, ki veljajo pri istočasnem delovanju potresa v x- in y-smeri. Znova lahko vidimo, da daje SRSS metoda zadovoljive rezultate samo, če upoštevamo potresno obremenitev istočasno v dveh pravokotnih smereh. Pri CQC kombinaciji so rezultati dovolj natančni, če upoštevamo večje vrednosti (za okvira v x-smeri potres v x-smeri, za okvira v y-smeri pa potres v y-smeri).



Slika 1.6 Primerjava potresne obtežbe po CQC in SRSS metodi

1.2 RACUN CASOVNEGA POTEKA ODZIVA

V primeru, ko so intervali konstantni, verzija 2.0 programa EAVEK uporablja nov način računa Duhamelovega integrala, ki je opisan v (Fajfar, 1984, str. 92-94). Nov način računa je hitrejši kot stari način (Fajfar, 1974), poleg tega pa je tudi natančnejši v numeričnem oziru. Stari način je še vedno ohranjen v programu (v primeru neenakomernih intervalov), vendar njegove uporabe zaradi možnih numeričnih problemov ne priporočamo, če je obtežba dolga (trajanje več sekund).

1.3 LITERATURA

- 1) Fajfar P., *DINAMIKA GRADBENIH KONSTRUKCIJ*, FAGG, Univerza EK v Ljubljani, 1984.
- 2) Fajfar P., *Numerična obdelava statičnih, dinamičnih in stabilnostnih problemov za več etažne konstrukcije*, Doktorska disertacija, FAGG, Univerza v Ljubljani, 1974.
- 3) Fajfar P., *EAVEK, Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij*, Publikacija IKPIR FAGG št. 13, Univerza EK v Ljubljani, 1987 (3. izdaja).
- 4) Kilar V., *Analiza večetažnih konstrukcij pri potresni obtežbi s programom EAVEK*, diplomsko delo FAGG, 1987.
- 5) Turk Z., *Ikpirjev grafični interface, Modula DD in RR*, navodila za uporabo, IKPIR, 1987.
- 6) Vitek A. in Kovačič I., *Grafični paket P*, Publikacija IKPIR FAGG št. 29, Univerza EK v Ljubljani, 1987.
- 7) Wilson E., Der Kiureghian A. in Bayo E. P., *A Replacement for the SRSS Method in Seismic Analysis*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 9, str. 187-194, 1981.

2.0 NAVODILA ZA UPORABO

2.1 POTREBNA STROJNA OPREMA

- PC XT ali AT z najmanj 512 Kb RAM
- Vsaj ena disketna enota in trdi disk
- Grafična kartica Hercules ali grafična kartica EGA
(Pri uporabi predprocesorja in poprocesorja)

2.2 POTREBNA PROGRAMSKA OPREMA

- PC MS DOS 3.0 ali novejši

Programski paket EAVEK, verzijo 2.0 sestavljajo: program EAVEK, predprocesor EAINP, poprocesor EAPLOT, help datoteke EAH*.HLP in programa LIST za listanje datotek. Na istem poddirektoriju potrebujemo še:

- Urejevalnik besedil

Manjši del predprocesorja je vezan na urejevalnik EDIX. V primeru uporabe drugega urejevalnika je potrebno program ustrezno prirediti. Dodatno lahko skopiramo na isti poddirektorij še:

- Datoteke z akceleroگرامi *.ACC

Ki so tudi sestavni del paketa EAVEK, verzije 2.0.

2.3 INSTALACIJA IN ZAGON PROGRAMA

Programski paket EAVEK je shranjen na treh disketah označenih s številkami 1, 2 in 3. Ko vstavimo v disketno enoto A disketo št. 1, paket EAVEK instaliramo z ukazom:

```
a:install
```

in sledimo navodilom, ki se izpisujejo na ekranu. Če nameravamo uporabljati akceleroگرامe, ki so na posebni disketi, jih skopiramo z diskete z ukazom:

```
copy a:*.ACC
```

Programi EAINP, EAVEK in EAPLOT so samostojni programi. Poženemo jih tako, da odtipkamo ime programa in pritisnemo <Enter>. Predprocesor poženemo z ukazom EAINP:

```
EAINP <Enter>
```

Po izpisu naslovnne glave, nas program vpraša za ime vhodne datoteke, ki jo bomo pripravili s programom EAINP.

PODAJ IME VHODNE DATOTEKE -->

Ko podamo ime vhodne datoteke nadaljujemo z interaktivno pripravo podatkov za program EAVEK. Nato poženemo program EAVEK. V disketno enoto A: vstavimo zaščitno disketo (označena z *) in program poženemo z ukazom EAVEK.

EAVEK <Enter>

Po izpisu naslovne glave nas program vpraša za ime vhodne datoteke, s katere bo bral podatke, in ime izhodne datoteke na katero bo izpisal rezultate.

DATOTEKA PODATKOV:
DATOTEKA REZULTATOV:

Kot vhodno datoteko podamo tisto, ki smo jo pripravili s predprocesorjem EAINP.

Ce smo zahtevali risanje (ukazi PLOT v vhodni datoteki), poženemo za EAVEKom še poprocesor z ukazom EAPLOT.

EAPLOT <Enter>

Po izpisu naslovne glave, nas program vpraša za ime vhodne datoteke, s katere bo bral podatke o slikah.

PODAJ IME VHODNE DATOTEKE (BREZ PODALJSKA) -->

Podamo ime vhodne datoteke za program EAVEK brez podaljška.

Primer:

Podatke bomo pripravili na datoteki PRIMER.INP s predprocesorjem EAINP. Rezultate programa EAVEK bomo shranili na datoteko PRIMER.OUT.

EAINP

PODAJ IME VHODNE DATOTEKE -->PRIMER. INP

EAVEK

DATOTEKA PODATKOV:PRIMER. INP
DATOTEKA REZULTATOV:PRIMER. OUT

V datoteki PRIMER.INP smo podali ukaze za risanje nihajnih oblik in pri obtežnem primeru, kjer računamo časovni potek odziva (TYPE RESPONSE), ukaze za risanje časovnega poteka rezultatov (poglavje 2.8). Zato po programu EAVEK poženemo še poprocesor EAPLOT.

EAPLOT

PODAJ IME VHODNE DATOTEKE (BREZ PODALJSKA) -->PRIMER

2.4 PREDPROCESOR ZA PRIPRAVO PODATKOV

Namen

Predprocesor EAINP omogoča interaktivno pripravo vhodne datoteke za program EAVEK. Sprašuje nas po podatkih, nas obvešča o napakah in nam tudi svetuje. Omogoča precej hitrejšo pripravo vhodne datoteke, zmanjšuje možnosti za napake pri podajanju in omogoča tudi manj veščim in neveščim uporabnikom, da se hitro spoznajo s programom in izkoristijo vse možnosti, ki jih nudi EAVEK. Rezultat programa je vhodna datoteka v takšni obliki, da jo program EAVEK sprejme, obenem pa izgleda dovolj pregledna tudi za uporabnika.

Delovanje

Predprocesor nas po določenem vrstnem redu sprašuje o podatkih. Vpraša nas tako, da nam poleg ukaza osvetli še prostor, kamor moramo odtipkati podatek. Najprej nas sprašuje o splošnih podatkih o konstrukciji, potem pa po podatkih o elementih in obtežnih primerih. Pri podatkih o konstrukciji najprej določimo tip konstrukcije, število etaž, elementov, obtežnih primerov in nihajnih oblik. Odločimo se tudi za željene metode računa. Vse te podatke si program zapomni in nas v nadaljevanju sprašuje v skladu z njimi. Tako bo vedno zahteval podatke za takšno število elementov in za toliko obtežnih primerov, kolikor smo jih podali na začetku. Program bo vedno "vedel" koliko etaž ima konstrukcija, koliko posamezen element, katere podatke smo že podali in katere moramo še podati. Tako si v splošnem program vse podatke, od katerih je odvisna nadaljnja priprava podatkov, zapomni in nas sprašuje v skladu z njimi. Vhodno datoteko tvorimo postopno, med samo pripravo podatkov pa si jo lahko tudi pogledamo ali jo celo popravljamo. Spodnja vrstica vsebuje kratko navodilo o tem kaj program od nas pričakuje, s tipko F1 pa so nam v vsakem trenutku dostopna tudi daljša pojasnila o obravnavanem ukazu.

Uporaba

Pri EAVEKu ločimo obvezne in neobvezne ukaze. Obveznih ukazov (TYPE, NUMBER OF STORIES ipd.) ne moremo izpustiti, saj računalnik čaka toliko časa, dokler ne vtipkamo podatka in pritisnemo <Enter>. Pred neobveznimi ukazi stoji v prvem stolpcu vedno 'N'. Odvisno od tipa ukaza odgovorimo s podatkom, ali z 'Y', če ukaz želimo, in z <Enter>, ali z 'N', če ukaza ne želimo.

Pogosto je pri nekaterih ukazih (METHOD, TABULATE, FUNCTION ipd.) možno podati več podatkov. Podajanje v okviru enega ukaza lahko zaključimo tako, da po vnosu zadnjega željenega podatka in praznem okencu za naslednji podatek pritisnemo <Enter>.

Pri nekaterih ukazih (EARTHQUAKE, STATIC LOADS, PLOT FORCES ipd.), kjer moramo podatke podajati po skupinah (pri ukazu PLOT FORCES skupino sestavljajo: zaporedna številka elementa, etaža in oznaka količine), moremo predčasno končati samo po tem, ko smo podali celotno skupino.

Primer

Kot primer uporabe predprocesorja so bili interaktivno pripravljeni podatki za dvojnositimetrično 10-etažno konstrukcijo (primer 3.2 v tem priročniku). Temen tekst na svetli podlagi in temna okenca prikaže računalnik, naši odgovori pa so svetli na temni podlagi.

```

STRUCTURE      -->1 PRIMER - RAVNINSKA KONSTR.
TYPE           -->PLANE
NUMBER OF STORIES -->10
NUMBER OF ELEMENTS -->2
N             NUMBER OF LOADINGS -->3
N             NUMBER OF MODES    -->3
CONSTANTS      E -->30000000      6 -->13000000
METHOD         -->STATIC          DYNAMIC
N             SECOND ORDER THEORY [Y/N] -->N
STORY HEIGHTS
N1 THRU N2     Hetaz
1 THRU 10      3
MASSES
N1 THRU N2     M1
1 THRU 10      232.3
N             TABULATE MATRICES [Y/N] -->N
N             PLOT EIGENVECTORS [Y/N] -->Y
N1 N2 N3       Dolzina Visina
1 2 3         3
N             PLOT EIGENVECTORS [Y/N] -->N

```

Podatki za element številka 1

```

ELEMENT        -->STENA 2. KRAT
TYPE           -->CANT
N             NUMBER OF STORIES -->10
SECTION PROPERTIES
N1 THRU N2     As      I
1 THRU 10      3.14    27.68
N             Dodatni ukazi pri elementih
N1 ukazov      Komentar      MASSES      VERT LOAD      WRITE      TABU MATR

```

Podatki za element številka 2

```

ELEMENT        -->OKVIR 3. KRAT
TYPE           -->FRAME
N             NUMBER OF STORIES -->
SECTION PROPERTIES
N1 THRU N2     SUM(Is)  SUM(Ip/L)
1 THRU 10      0.02559  0.0216
N             Dodatni ukazi pri elementih
N1 ukazov      Komentar      MASSES      VERT LOAD      WRITE      TABU MATR

```



```

                                Podatki za 1 obtezni primer
LOADING                        --> VETER
TYPE                          --> STATIC
N Tabulate all [Y/N]          --> N
N TABULATE                    --> LOADS FORCES
STATIC LOADS
N1 THRU N2 FX
1 THRU 10 50

                                Podatki za 2 obtezni primer
LOADING                        --> POTRES PO PREDPISIH
TYPE                          --> YUSPECTRUM 2
N Tabulate all [Y/N]          --> N
N TABULATE                    --> LOADS FORCES
Kc                             --> 0.1
N DAMP                         --> 0.05
N FACTOR                       --> 1

                                Podatki za 3 obtezni primer
LOADING                        --> POTRES EL CENTRO
TYPE                          --> RESPONSE
N COMPUTE NFORCES [Y/N]        --> N
N COMPUTE FORCES [Y/N]         --> Y
N TABULATE DISP               Etaza Etaza Etaza Etaza Etaza Etaza
                                2 4 6 8 10
N TABULATE MAXI               Elem Etaza Oznaka Elem Etaza Oznaka Elem Etaza Oznaka
                                1 1 1 1 1 2 1 5 1
                                Elem Etaza Oznaka Elem Etaza Oznaka Elem Etaza Oznaka
                                1 5 2 1 10 1
N Tabulate response history (Pozor obsirnajsi izpis) [Y/N] --> N
DAMPING                       0.05 0.05 0.05
FUNCTION                       --> EL CENTRO 1940 NS
KONSTANTNI INTERVALI NEKONSTANTNI INTERVALI IME DATOTEKE
Ime datoteke Zacetni cas Koncni cas Casovni faktor
UECN 0 15
N Function 2 [Y/N] --> N
EARTHQUAKE [Y/N] --> Y
I1 F1 T1
1 0.01 0.00
N LAST TIME -->
N NUMBER OF TIMESTEPS -->
N Plot [Y/N] --> Y
N PLOT FUNCTION --> 1
N Dolzina -->
N PLOT DISPLACEMENTS Etaza Etaza Etaza
                                2 4
N Dolzina -->
N PLOT FORCES Elem Etaza Oznaka Elem Etaza Oznaka
                                1 1 1
N DOLZINA -->
N Plot [Y/N] --> N

```

Y -> RISANJE REZULTATOV - POTREBEN program EAPLOT.EXE

O vseh napakah, od napak pri tipkanju, pa do sistemskih in drugih napak, ki jih lahko odkrijemo v fazi priprave podatkov, nas program obvešča z alarmi, ki nas obvestijo, kaj smo naredili narobe in kako nadaljevati. Alarm izgine, če pritisnemo na katerokoli tipko.

Primeri:

Vtipkali smo LAOD namest LOAD:

	LOADING		Podatki za 1 obtezni primer
	TYPE		-->VETER
N	Tabulate all [Y/N]		-->STATIC
	STATIC LOADS		-->Y
	N1 THRU N2 FX		
N	1 THRU 5 30		Napacen ukaz ! PONOVI !
	6 THRU 10 50		

	LOADING		Podatki za 2 obtezni primer
	TYPE		-->POTRES PO PREDPISIH
N	Tabulate all [Y/N]		-->YUSP 2
N	TABULATE		-->N
			-->LOADS

Zahtevali smo risanje četrte nihajne oblike, vendar smo z ukazom NUMBER OF MODES predpisali samo tri nihajne oblike.

N	NUMBER OF MODES	-->3	
	CONSTANTS	E -->30000000	G -->13000000
	METHOD	-->STATIC	DYNAMIC
N	SECOND ORDER THEORY [Y/N]	-->N	
	STORY HEIGHTS		
	N1 THRU N2 Hetaz		
	1 THRU 1		
	MASES		Maksimalno stevilo nihajnih oblik je 3 ! PONOVI!
	N1 THRU N2		
	1 THRU 1 232.3		
	2 THRU 10 232.3		
N	TABULATE MATRICES [Y/N]	-->N	
N	PLOT EIGENVECTORS [Y/N]	-->Y	
	N1 N2 N3		
	1 2 3		

Pri pripravi podatkov o elementu je možno podajati tudi nekatere dodatne ukaze, ki se redkeje uporabljajo (mase pri elementu, vertikalna obtežba elementa, zapis izračunane obtežbe makroelementa na datoteko zaradi povezave s programom OKVIR, izpis togostnih in podajnostnih matrik elementa in vnos komentarja). Med ukazi lahko izbiramo s horizontalnim menijem. Z uporabo kurzorskih tipk potegnemo točko menija, ki jo želimo izbrati in pritisnemo <Enter>. Če dodatnih ukazov ne želimo podati, izberemo točko "NI UKAZOV".

Primer:

Pri podajanju podatkov za element okvir bomo podali mase v vseh etažah, zahtevali izpis togostne in podajnostne matrike elementa in izpis obtežbe na okvir na datoteko OKV1.


```

TYPE                -->FRAME
N  NUMBER OF STORIES -->
SECTION PROPERTIES
N1 THRU N2 SUM(Is) SUM(Ip/L)
1 THRU 10 0.02559 0.0216
N  Dodatni ukazi pri elementih
   N1 ukazov  Komentar  HASSES  VERT LOAD  WRITE  TABU MATR
HASSES
N1 THRU N2  N1
1 THRU 10 23.5
N  Dodatni ukazi pri elementih
   N1 ukazov  Komentar  HASSES  VERT LOAD  WRITE  TABU MATR
TABULATE MATRICES
N  Dodatni ukazi pri elementih
   N1 ukazov  Komentar  HASSES  VERT LOAD  WRITE  TABU MATR
N  WRITE                -->OKVI

```

Manj izkušenim uporabnikom je namenjena spodnja vrstica ekrana, ki vsebuje kratke informacije o tem, kaj program od nas pričakuje. Podrobnejše informacije o posameznih ukazih dobimo tako, da pritisnemo tipko F1. V program se vrnemo s pritiskom na tipko X.

Pomen nekaterih tipk:

- <- - pobriše zadnji znak v okencu
- ESC - pobriše vse znake v okencu
- ENTER - konča vnos
- F1 - Listanje po HELP datoteki za ukaz, ki smo ga obravnavali. Za listanje uporabljamo program LIST, ki poleg pregleda datoteke omogoča še nekatere druge funkcije, kot so S za iskanje teksta in P za izpis datoteke. Celoten spisek možnih ukazov dobimo s tipko ?. Pri listanju datoteke, ki jo pregledujemo, ne moremo spreminjati. S pritiskom na tipko X se vrnemo v program EAINP na mesto, kjer smo pritisnili F1 in normalno nadaljujemo s pripravo podatkov.
- F2 - Pokliče poseben meni, ki nam omogoča uporabo nekaterih posebnih ukazov, kot so pregled (izpis) že sestavljenega dela vhodne datoteke za EAVEK, izhod iz programa in dostop v HELP datoteko s splošnimi navodili za uporabo. Možno je tudi popravljanje napačno podanih podatkov, vendar smemo v splošnem popravljati samo tiste podatke, ki ne vplivajo na nadaljnjo pripravo podatkov. Točke menija izbiramo s kurzorskimi tipkami. Ko tako potegnemo točko menija, ki jo želimo izbrati, pritisnemo <Enter>. Izbiramo lahko med točkami:

HELP

Pokaže splošna navodila za uporabo predprocesorja. S tipko X se iz navodil vrnemo nazaj v program, točno na mesto, kjer smo ga zapustili.

VIEW

Listanje po datoteki, ki jo pripravljamo. Ta točka nam omogoča samo vpogled v že pripravljene podatke

oziroma njihov izpis. Veljajo iste tipke kot pri opciji HELP, v program EAINP pa se prav tako vrnemo s tipko X in nadaljujemo s pripravo podatkov.

CORR

Ta ukaz nam omogoča urejanje in popraviljanje tistega dela datoteke, ki smo ga že pripravili. Program je izdelan tako, da za popraviljanje uporabljamo urejevalnik EDIX. V primeru uporabe drugega urejevalnika moramo program ustrezno prirediti. Tako lahko morebitno napako pri podajanju takoj popravimo. V splošnem smemo popravljati samo takšne podatke, ki ne vplivajo na nadaljnji potek priprave podatkov. Program datoteke po popraviljanju ne prebere ponovno in pri testiranju nadaljnjih podatkov še vedno uporablja star (nepopravljen) podatek. Po možnosti naj se uporabnik tej točki izogiba, saj lahko v datoteko nehoti vnese dodatne znake, prazne vrstice in podobno, takšne datoteke pa program EAVEK seveda ne bo sprejel (Pozor: ko zupuščamo datoteko mora biti za zadnjo vrsto s podatki še ena prazna vrsta). Urejevalnik EDIX zapustimo s tipkama <alt> <w> in <alt> <x> in se vrnemo v program, na mesto, kjer smo pritisnili F2 in normalno nadaljujemo s pripravo podatkov.

EXIT

Shranimo že narejeno in zapustimo program EAINP.

QUIT

Zapustimo program EAINP.

Primer:

Potem ko podamo maso konstrukcije pritisnemo tipko F2. Prikaže se nam vertikalni meni, kjer s kurzorskimi tipkami izberemo opcijo CORR (Correction).

STRUCTURE	-->1	PRIMER - RAVNINSKA KONSTR.
TYPE	-->	PLANE
NUMBER OF STORIES	-->10	
NUMBER OF ELEMENTS	-->2	
N NUMBER OF LOADINGS	-->3	
N NUMBER OF MODES	-->3	
CONSTANTS	E -->30000000	G -->13000000
METHOD	-->STATIC	DYNAMIC
N SECOND ORDER THEORY [Y/N]	-->N	
STORY HEIGHTS		HELP
N1 THRU N2 Hataz		VIEW
1 THRU 9 3		CORR
10 THRU 10 3		EXIT
MASSSES		QUIT
N1 THRU N2 M1		
1 THRU 10 2323 3		

Potem ko podamo zadnji potreben podatek za račun konstrukcije, nas program obvesti, da je priprava podatkov zaključena in konča z delom. Ko poženemo program EAVEK, kot vhodno datoteko podamo tisto, ki smo jo pripravili s programom EAINP.

2.5 POVEZAVA PROGRAMOV EAVEK IN OKVIR

Namen in način dela

Povezava programov EAVEK in OKVIR omogoča relativno enostavno analizo konstrukcij visokogradnje z nestandardnimi makroelementi. Za tak element izračunamo kondenzirano podajnostno ali togostno matriko s programom OKVIR. Matriko, ki jo program zapiše na posebno datoteko, prebere program EAVEK, če to posebej zahtevamo (pri elementih tipa FLEX ali STIF). Po končanem računu program EAVEK pri elementih, kjer to posebej zahtevamo, zapiše rezultate (obtežbo elementa) na posebne datoteke. S teh datotek prebere program OKVIR obtežbo za račun notranjih sil. Oba programa (EAVEK in OKVIR) uporabljamo povsem neodvisno.

V tem priročniku je opisano samo delo s programom EAVEK. Priprava podatkov za izračun matrik in formiranje datotek s programom OKVIR je opisana v priročniku za program OKVIR. Poudariti je treba, da možnosti vgrajene v programu EAVEK niso vezane izključno na program OKVIR. Datoteke s kondenziranimi matrikami lahko pripravimo tudi s pomočjo kateregakoli drugega ustreznega prirejenega programa za račun konstrukcij ali pa neposredno z urejevalnikom teksta.

Branje datotek

Kondenzirane podajnostne (togostne) matrike za posamezne makroelemente so zapisane na datotekah z imenom **ime.FLE** (**ime.STI**). V skladu z navodili za program EAVEK je podan spodnji trikotnik matrike v obliki

```
1 *
2 * *
3 * * *
```

Branje datotek z matrikami zahtevamo pri podatkih za program EAVEK tako, da za elemente tipa

TYPE FLEX

ali

TYPE STIF

pri podatkih o lastnostih elementa (SECT PROP) napišemo ukaz:

READ **ime**

Oznaka **ime** pomeni ime datoteke (dolžine do 4 znake) brez dodatka .FLE ali .STI.

Koeficiente matrike lahko množimo še s faktorjem f:

FACTOR f

Zapis rezultatov na datoteke

Program EAVEK izračuna za vse obtežne primere in vse zahtevane nihajne oblike obtežbe na makroelemente. Izračunano obtežbo na katerikoli makroelement pa zapiše na datoteko (z imenom **ime.SIL**) le če to posebej zahtevamo z ukazom

WRITE **ime**

kjer oznaka **ime** pomeni ime datoteke (dolžine do 4 znake) brez dodatka. Ukaz mora biti zapisan med podatki o elementu (za ukazom TYPE in ne v okviru zaključenih skupin podatkov). Pri elementih tipa FLEX ali STIF, kjer smo z ukazom READ **ime** zahtevali branje matrike z datoteke, ukaz WRITE **ime** ni potreben. EAVEK bo avtomatično zapisal obtežbo na datoteko z imenom **ime.SIL**, kjer je **ime** enako imenu datoteke s podatki o matriki.

2.6 RACUN S SPEKTRI ODZIVA

Izbiramo lahko med tipoma TYPE SPECTRUM in TYPE YUSPECTRUM. Razlika med obema tipoma je v tem, da je za tip YUSPECTRUM že vgrajen spekter odziva po obstoječih jugoslovanskih predpisih, medtem ko je za tip SPECTRUM spekter odziva potrebno podati med podatki. Račun po starih jugoslovanskih predpisih je izključen in obvezno je treba podati kategorijo tal:

TYPE YUSPECTRUM n

Kjer n predstavlja celo število 1, 2 ali 3 in pomeni kategorijo tal po predpisih. Če n ni podan, nas bo program obvestil o napaki. Pri obeh ukazih o spektru (YUSPECTER in SPECTER) je za kombinacijo upoštevana CQC metoda (glej 1.1)

Dušenje, ki ga upoštevamo pri računu kombinacije, lahko podamo z ukazom:

DAMPING a

Kjer je a koeficient dušenja računat kot delež kritičnega dušenja. Če ta ukaz izpustimo, program upošteva dušenje 0.05. Če podamo ukaz DAMP 0.0, CQC kombinacija preide v dosedaj uporabljan način kombiniranja z geometrijsko vsoto (SRSS kombinacija).

Ukazi pri podanem spektru

Za račun s podanim spektrom (TYPE SPECTRUM) je potrebno spekter pospeškov podati s točkami. Najprej je treba podati naslovni ukaz:

FUNCTION naslov

Kjer je naslov poljuben alfanumeričen tekst, ki služi samo za identifikacijo. Naslovnemu ukazu sledijo v naslednji vrstici podatki v obliki:

$t_1 \quad f_1 \quad t_2 \quad f_2 \quad t_3 \quad f_3 \quad \dots$

Kjer je s t_1 označen nihajni čas in s f_1 ustrezna vrednost spektra odziva. Začetni nihajni čas t_1 mora biti nič. Vrednosti nihajnih dob morajo naraščati. Spekter lahko podamo tudi v obliki:

$\Delta t \quad f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad \dots$

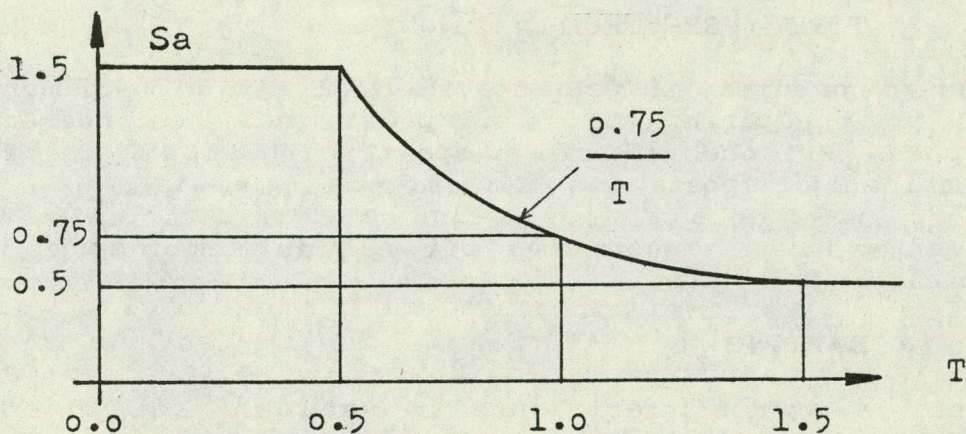
Kjer je z Δt označen interval period, na katerih so podane vrednosti spektra, s f_1 pa vrednosti spektra.

Enota za pospeške ni m/s^2 , pač pa pospešek prostega pada ($9.81 m/s^2$). Podatke o spektru lahko podamo v več vrsticah. Med

podanimi točkami je predpostavljen linearen potek spektra. Če je dejanski nihajni čas konstrukcije večji kot zadnji podani nihajni čas, program vzame zadnjo podano vrednost spektra. Zadnjo vrednost je treba napisati tudi, če je enaka nič. Ukaza FUNCTION in KC se medsebojno izključujeta.

Primer:

Po točkah želimo podati spekter po sliki 2.1:



Slika 2.1

FUNCTION SPEKTER

0.	1.5	0.5	1.5	0.6	1.25	0.7	1.07	0.8	0.94
0.9	0.83	1.0	0.75	1.1	0.68	1.2	0.63	1.3	0.58
1.4	0.54	1.5	0.5						

ali

0.1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.25	1.07	0.94
0.83	0.75	0.68	0.63	0.58	0.54	0.5			

Oba ukaza sta enakovredna.

2.7 RACUN CASOVNEGA POTEKA ODZIVA

Pri podajanju časovnega poteka dinamične obtežbe lahko po ukazu FUNCTION obtežno funkcijo podamo na tri načine.

Podajamo lahko posamezne točke funkcije (čas, vrednost):

$t_1 \quad f_1 \quad t_2 \quad f_2 \quad t_3 \quad f_3 \quad \dots$

Kjer je s t_1 označen čas in s f_1 ustrezna vrednost funkcije. Podatke je možno podati v več vrsticah, časi pa morajo vedno naraščati. Prva točka mora biti vedno podana s koordinatama $t_1=0$ in $f_1=0$.

Primer:

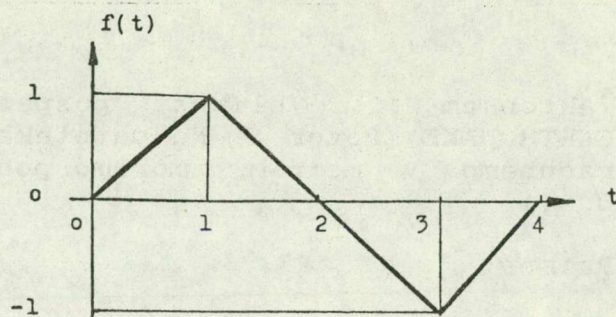
Funkcijo po sliki 2.2
podamo na naslednji
način:

TYPE RESPONSE

...

FUNCTION CIK-CAK

0. 0. 1. 1. 2. 0. 3. -1. 4. 0.



Slika 2.2

Pri drugem načinu podamo najprej interval in nato vrednosti
funkcije

dt f_1 f_2 f_3

Kjer je dt označen interval, f_i pa vrednost funkcije.
Vrednost f_1 je vrednost funkcije v času nič in mora biti enaka
enaka nič.

Primer:

Funkcijo po sliki 2.2 lahko podamo tudi na naslednji način:

TYPE RESPONSE

...

FUNCTION CIK-CAK

1. 0. 1. 0. -1. 0.

Namesto številčnih podatkov o funkciji pa lahko podamo tudi ime
datoteke, na kateri so shranjeni podatki o obtežni funkciji:

IME t_z t_k f

Sestavni del programa EAVEK (verzija 2.0) je 20 datotek z
akcelorogrami tipičnih močnih potresov registriranih pri nas in
v svetu. Vsaka datoteka ima ime sestavljeno iz štirih znakov
(glej seznam v prilogi). Prva črka označuje potres, druga in
tretja črka sta začetnici kraja, kjer je bil potres
registriran, zadnja črka pa je okrajšava smeri delovanja
potresa -N za smer N-S in -E za smer E-W. Vse datoteke imajo
podaljšek .ACC, ki pa ga ne podajamo. Iz datoteke lahko
izberemo samo del obtežne funkcije, od začetnega časa t_z pa do
končnega časa t_k . Čase lahko pomnožimo s časovnim faktorjem f .
Na ta način lahko spreminjamo frekvenčni sestav potresa. Če je
vrednost faktorja f enaka ena, lahko ta podatek izpustimo. Če
parametrov ne podamo, računamo s celotno obtežno funkcijo in

faktorjem 1. Velikost pospeškov lahko spreminjamo z ukazom EARTHQUAKE (Pozor ! Na datotekah so pospeški v cm/s^2 ; če računamo v metrih, moramo podati faktor pri ukazu EARTHQUAKE 0.01).

Primer:

TYPE RESPONSE

...

FUNCTION potres PETROVAC prvih 10 sec
MPEE 0. 10.

Obtežbo od začetnega časa 0.0 do končnega časa 10.0 bo program prebral iz datoteke MPEE.ACC (Montenegro, Petrovac, East-west komponenta). Časovni faktor f je 1.0 (standardna vrednost).

Ne glede na način podajanja funkcije je dovoljeno podati največ tri časovne funkcije, od katerih moramo vsako začeti z naslovnim ukazom FUNCTION. Skupno število vseh podanih točk pri enem obtežnem primeru je omejeno na 2980 (število parov podatkov). Med posameznimi točkami je predpostavljen linearen potek funkcije. Če zahtevamo račun odziva v času, ki je večji od zadnjega časa pri funkciji, vzame program vrednosti funkcije nič.

Če podajamo več funkcij v okviru enega obtežnega primera, moramo vse funkcije podati ali v enakomernih intervalih ali pa v neenakomernih intervalih, drugače nas bo program obvestil o napaki.

Ukaz o številu korakov računa odziva

Število korakov pri računu odziva lahko predpišemo z ukazom

NUMBER OF TIMESTEPS n

Kar pomeni, da se celoten časovni interval od časa 0 pa do končnega časa razdeli na n enako dolgih intervalov in program računa odziv konstrukcije na koncu vsakega od intervalov. Če je ta ukaz podan, program računa Duhamelov integral po hitrejši metodi (glej poglavje 1.2). Isto metodo uporabimo tudi v primeru, če podamo obtežno funkcijo v obliki interval-vrednosti, ali pa jo beremo iz datotek *.ACC. Drugače pa časovne intervale določajo točke prve časovne funkcije, ki so lahko podane tudi v neenakomernih intervalih, Duhamelov integral pa računamo po splošnejši metodi.

2.8 GRAFICNI PRIKAZ REZULTATOV

Delovanje programa

Program za risanje je poseben program z imenom EAPLOT, ki ga poženemo po programu EAVEK. Program EAPLOT poleg fortranskih ukazov vsebuje tudi podprograme iz Ppaketa (Vitek, Kovačič, 1987).

PRINTPLOT ukazi iz verzije 1.3 ne obstajajo več. Ponovno delujejo PLOT ukazi, ki zdaj omogočajo risanje na različne risalne naprave: na zaslon, na tiskalnik in(al) na risalnik. Risati je možno lastne vektorje (lastne ali uklonske oblike), časovni potek obtežbe in časovni potek pomikov ter notranjih sil.

Ko poženemo program za risanje, nas program vpraša na katero napravo želimo risati in kolikšen naj bo faktor povečave za sliko. Nato se lahko se odločimo za sliko, kjer so vse ordinate deljene z maksimalno vrednostjo ordinat (normirana slika), lahko pa sami določimo merilo za obe osi. Pri normiranih slikah računalnik sam poskrbi, da je papir čim bolje izkoriščen. Pri slikah v izbranem merilu pa nam računalnik samo predlaga takšno merilo, da je risba znotraj podanih dimenzij slike in da je papir čim bolje izkoriščen.

Najprimernejše so slike velikosti formata A4, rišemo pa lahko tudi slike drugih dimenzij, pri čemer pa smo omejeni z maksimalnimi dimenzijami naprave na katero rišemo. Slike so označene s potrebnimi spremnimi besedili in so primerne kot dodatek k projektni dokumentaciji.

Ukazi za risanje

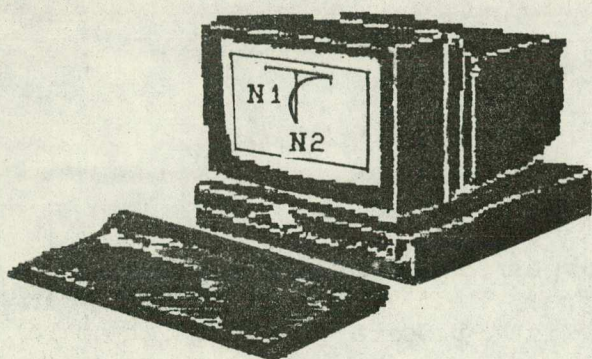
Ukaze za risanje podamo med podatki za program EAVEK skupaj z drugimi podatki, ki so potrebni za račun konstrukcije. Vsak PLOT ukaz definira eno sliko. Ista oznaka se lahko pojavi na več slikah. Pri vseh ukazih zadošča, če uporabimo le prve štiri črke.

Lastne vektorje (nihajne ali uklonske oblike) rišemo z ukazom :

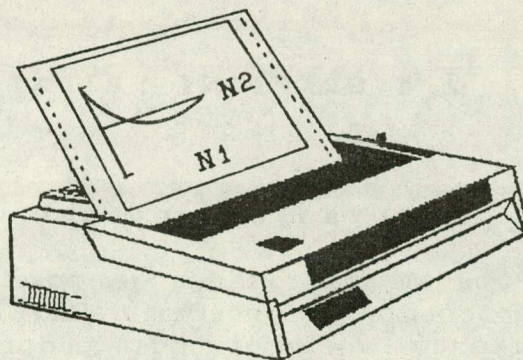
PLOT N₁ N₂ EIGENVECTORS I₁ I₂ I₃

Parametri N₁, N₂, I₁, I₂, I₃ so cela števila in pomenijo:

N ₁	...	Višina slike
N ₂	...	Dolžina slike
I ₁ , I ₂ , I ₃	...	Oznake lastnih vektorjev



a) slika na ekran



b) slika na printer ali ploter

Slika 2.3 Pomen dolžine in širine slike pri risanju na razne risalne naprave.

Ukazi veljajo tako za nihajne kot tudi za uklonske oblike. Če je zahtevana metoda DYNAMIC, bodo narisane nihajne oblike, če STABILITY, uklonske, če pa sta zahtevani obe metodi, bodo na ločenih slikah narisane nihajne in uklonske oblike. Možno je podati največ devet oznak lastnih vektorjev na največ devetih slikah.

Ukaz moramo podati pred podatki o elementih. Dimenzije slike N_1 in N_2 lahko tudi izpustimo. Takrat bo računalnik sam izbral takšne dimenzije, da bo pri risanju na ekran izkoriščen celoten ekran, pri risanju na tiskalnik ali risalnik pa format A4. Podati je možno eno, dve ali tri oznake lastnih vektorjev (od 1 pa do števila izračunanih nihajnih oziroma uklonskih oblik). Vsi podani lastni vektorji bodo narisani na eni sliki.

Primer:

```
PLOT 18 27 EIGENVECTORS 1 2 3
PLOT EIGENVECTORS 1
```

S prvim ukazom rišemo lastne vektorje 1, 2 in 3. Dimenzije slike so 18 krat 27 cm. Z drugim ukazom rišemo lastni vektor 1. Dimenzijo slike izbere računalnik sam, tako da bo pri risanju na ekran izkoriščen celoten ekran, pri risanju na tiskalnik ali risalnik pa format A4.

Časovni potek obtežbe rišemo z ukazom :

```
PLOT N1 N2 FUNCTION I
```

Kjer pomenita N_1 in N_2 višino in dolžino slike, I pa oznako funkcije. Funkcija, ki je podana prva, ima oznako 1, druga 2 in tretja 3. Na eno sliko lahko narišemo samo eno funkcijo, dopustne pa so največ tri slike.

Potek pomikov in notranjih sil rišemo z ukazoma :

```

PLOT N1 N2 DISPLACEMENTS  O1 J1  O2 J2  O3 J3
PLOT N1 N2 FORCES        I1 J1 K1  I2 J2 K2  I3 J3 K3

```

Kjer so parametri N_1 , N_2 , O_1 , J_1 in K_1 cela števila in pomenijo:

N_1 , N_2	...	Dimenzije slike
O_1	...	Oznake smeri (X, Y ali Z)
J_1	...	Oznake etaž
K_1	...	Oznake količin

Pri ravninskih konstrukcijah oznako smeri O_1 izpustimo.

Oznake količin so odvisne od tipa elementa in velja:

TYPE CANTILEVER

$k = 1$	prečna sila
$k = 2$	upogibni moment

TYPE SCANTILEVER

za 1. etažo ($j=1$)

$k = 1$	osna sila v obeh stebrih
$k = 2$	prečna sila v levem stebri
$k = 3$	upogibni moment v levem stebri zgoraj
$k = 4$	upogibni moment v levem stebri spodaj
$k = 5$	prečna sila v desnem stebri
$k = 6$	upogibni moment v desnem stebri zgoraj
$k = 7$	upogibni moment v desnem stebri spodaj

Za višje etaže veljajo iste oznake, kot pri tipu CANTILEVER.

TYPE WALL

$k = 1$	prečna sila v prečki
$k = 2$	osna sila v stenah
$k = 3$	prečna sila v levi steni
$k = 4$	upogibni moment v levi steni
$k = 5$	prečna sila v desni steni
$k = 6$	upogibni moment v desni steni

TYPE TUBE

$k = 1$	torzijski moment (Saint Venantova torzija)
$k = 2$	bimoment
$k = 3$	torzijski moment (upogibna torzija)

TYPE FRAME, TYPE FLEXIBILITY, TYPE STIFFNESS

K = 1 prečna sila za celoten element
 K = 2 upogibni moment zunanje obtežbe za celoten element
 K = 3 etažni premiki

Primer:

PLOT 13 20 DISPLACEMENTS X 10 Y 10
 PLOT DISPLACEMENTS 5 10

Na sliki dimenzij 13 krat 20 želimo risati časovni potek pomikov 10. etaže v X in Y smeri. Na drugi sliki pa rišemo pomik v 5. in 10. etaži v X smeri. Slika bo lepo izkoristila ekran, na printerju oziroma ploterju pa format A4.

PLOT 13 20 FORCES 1 2 3
 PLOT FORCES 1 2 3 5 10 1

Zahtevani sta dve sliki istega formata kot v prejšnjem primeru. Na prvo sliko rišemo 3. količino v 2. etaži 1. elementa, na drugo pa isto količino, poleg te pa še 1. količino v 10. etaži 5. elementa.

Pri risanju premikov in notranjih sil je možno na isto sliko risati eno, dve ali tri količine. Dopustno je risati največ devet količin na devet slik. Skupno je torej možno risati poleg 9. slik lastnih vektorjev, še 21 slik za vsak obtežni primer (3 za funkcije, 9 za pomike in 9 za notranje sile).

Izvajanje programa

Najprej poženemo program EAVEK. Če smo podali ukaze o risanju, bo program odprl datoteke s podatki, ki jih potrebuje program za risanje EAPLOT. Imena datotek bo sestavil iz prvega dela vhodne datoteke za program EAVEK in podaljškov 'PL*'. Na datoteko ime.PLO bo shranil splošne podatke o konstrukciji, na datoteke ime.PL1, ime.PL5, ime.PL6 in ime.PL7 pa podatke o slikah in vrednosti funkcij.

Po EAVKU moramo pognati program EAPLOT. Po izpisu naslova konstrukcije podamo ime vhodne datoteke za program EAVEK brez podaljška, nato pa program EAPLOT bere podatke za risanje iz datotek ime.PL*. Računalnik po vrsti bere podatke za posamezne slike, pove kaj je na sliki in nas vpraša, če sliko želimo risati ali ne.

Odločiti se moramo še za napravo, na katero bomo risali:

PODAJ IME NAPRAVE 1--HGC 2--EGA 3--HP 4--EPS -->

Podamo številko od 1 do 4, kjer pomeni :

- 1-----Risanje na zaslon, računalnik z grafično kartico Hercules.
- 2-----Risanje na zaslon, računalnik z grafično kartico Ega.
- 3-----Risanje na ploter.
- 4-----Risanje na printer Epson ali Kompatibilen.

Za tem nas program vpraša, kakšen naj bo faktor povečave:

PODAJ FAKTOR POVEČAVE (Običajno 1) -->

Podamo lahko realno ali celo število. Če slike ne želimo povečati, podamo faktor povečave 1. S faktorjem množimo dimenzije slike. Tako lahko spreminjamo velikost slike, ne pa razmerij v njej.

Nato se lahko pri risanju funkcij, pomikov ali notranjih sil odločimo za merilo abcisne (časovne) osi in(al) merilo ordinatne osi. Merilo nam računalnik predlaga sam, tako da so podane dimenzije slike čim bolj izkoriščene. Če meril osi ne podamo, rišemo vse ordinate v sliki normirane (maksimalna vrednost količine je 1). Nihajne in uklonske oblike vedno rišemo normirano.

Primer:

PODAJ IME VHODNE DATOTEKE (BREZ PODALJSKA) -->test

```
*****
*     STRU TESTNI PRIMER ZA PRIROČNIK      *
*****
```

```
*** LOAD 1
PLOT FUNCTION      1
RISEM ? (Y/N) -->Y
PODAJ IME NAPRAVE  1--HGC  2--EGA  3--HP  4--EPS -->1
PODAJ FAKTOR POVEČAVE (Običajno 1) -->1
MERILO ABCISNE OSI      ?      (Y/N)      -->Y
PREDLAGANO MERILO:  1 SEKUNDA JE  5.20  cm !
1 SEKUNDA =  ?  cm  -->5
MERILO ORDINATNE OSI  ?      (Y/N)      -->Y
PREDLAGANO MERILO:  1 ENOTA JE  0.18  cm !
1 ENOTA  =  ?  cm  -->0.2
```

Na ekran rišemo časovni potek 1. obtežne funkcije pri 1. obtežnem primeru. Faktor povečave je 1. Odločili smo se za merilo abcisne osi (1 Sekunda = 5 cm) in merilo ordinatne osi ($1\text{m/s}^2 = 0.2 \text{ cm}$). Podatke za sliko smo prebrali z datotek TEST.PLO, TEST.PL1, TEST.PL5, TEST.PL6 in TEST.PL7.

Če smo v vhodni datoteki podali več ukazov za risanje, bo program po vrsti risal posamezne slike. Vsak ukaz PLOT definira eno sliko. Pred risanjem naslednje slike moramo ponovno podati ime naprave, na katero želimo risati, faktor povečave in merila. Datoteke ime.PL* se ohranjajo na našem direktoriju, zato lahko risanje ponovimo (zahtevamo drugačna merila, risanje na druge risalne naprave in podobno).

3.0 PRIMERI UPORABE

3.1 UVOD

Prikazani so trije primeri uporabe programskega paketa EAVEK. Podatki za vse tri primere so bili pripravljeni s predprocesorjem EAINP. Osnovni podatki in obsežnejši rezultati za prva dva primera so podani v osnovnem priročniku, zato so tu priložene samo vhodne datoteke in slike. Tretji primer obravnava kombinacijo programov OKVIR in EAVEK. Podani so vsi potrebni podatki za oba programa in del rezultatov.

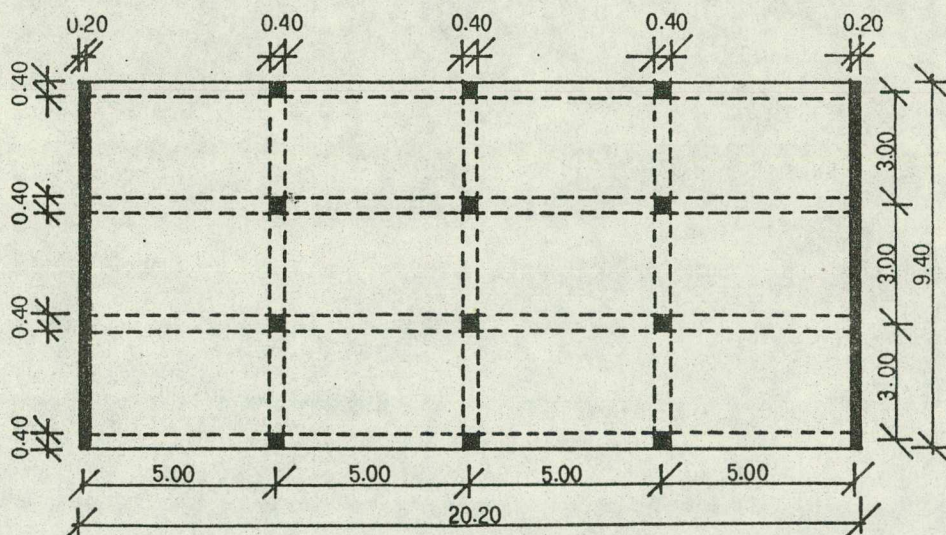
Slike smo narisali na ploter s poprocesorjem EAPLOT. Pri nekaterih slikah smo podali merilo, druge pa smo normirali.

Računski čas pri računu časovnega poteka odziva (TYPE RESPONSE) je precej daljši kot pri drugih načinih računa (TYPE YUSPECTER, TYPE SPECTER). Odvisen je predvsem od števila intervalov za račun odziva konstrukcije in velikosti konstrukcije. Potreben računski čas za prvi primer je 528 sekund, za drugi primer pa 242 sekund (na računalniku PC-XT).

3.2 RAVNINSKA KONSTRUKCIJA - PRIMER 1.

Kot prvi primer je izbrana enostavna dvojnosiometrična 10-etažna konstrukcija, po sliki 3.1, ki je bila obravnavana že v osnovnem priročniku. Spremembe podatkov glede na primer 1 v osnovnem priročniku so naslednje:

- Uporabljamo enote meter, sekunda in kilonewton.
- Pri drugem obtežnem primeru (TYPE YUSPECTRUM) smo podali dušenje za račun CQC kombinacije z ukazom DAMP 0.05. To vrednost bi računalnik privzel tudi sam, če bi ukaz DAMP izpustili.
- Pri tretjem obtežnem primeru funkcijo beremo iz datoteke UECN.ACC od začetka ($t_z=0$), do 15 sekunde ($t_k=15$). Časi so pomnoženi s faktorjem 1. Ker računamo v metrih, smo podali pri ukazu EARTHQUAKE faktor 0.01.
- Ukazi PRINTPLOT so zamenjani z ukazi PLOT. Odločili smo se za risanje prvih treh nihajnih oblik, obtežne funkcije, pomikov konstrukcije v 10. etaži, in prečne sile spodaj v 1. in 2. elementu. Obtežno funkcijo smo risali normirano, pri slikah pomikov in notranjih sil pa smo podali merilo. Dimenzije slik, si je program glede na risalno napravo izbral sam (pri risanju na ploter format A4), saj smo dimenzije slik povsod izpustili.

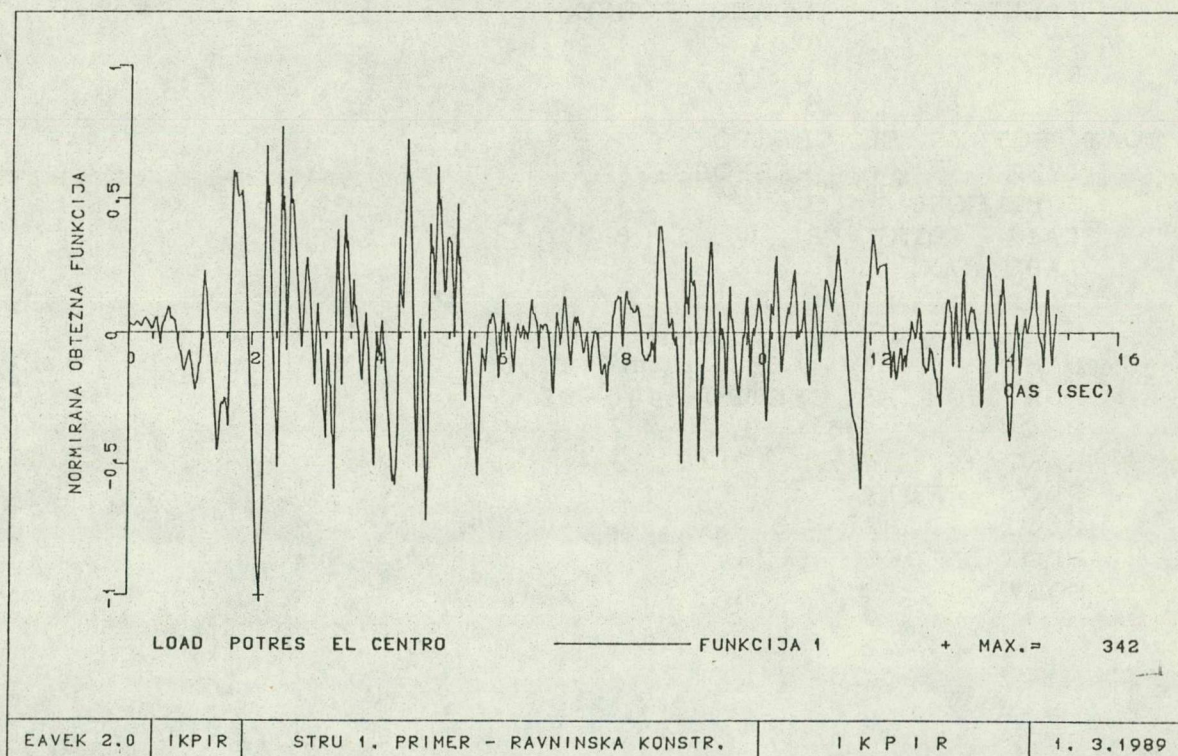
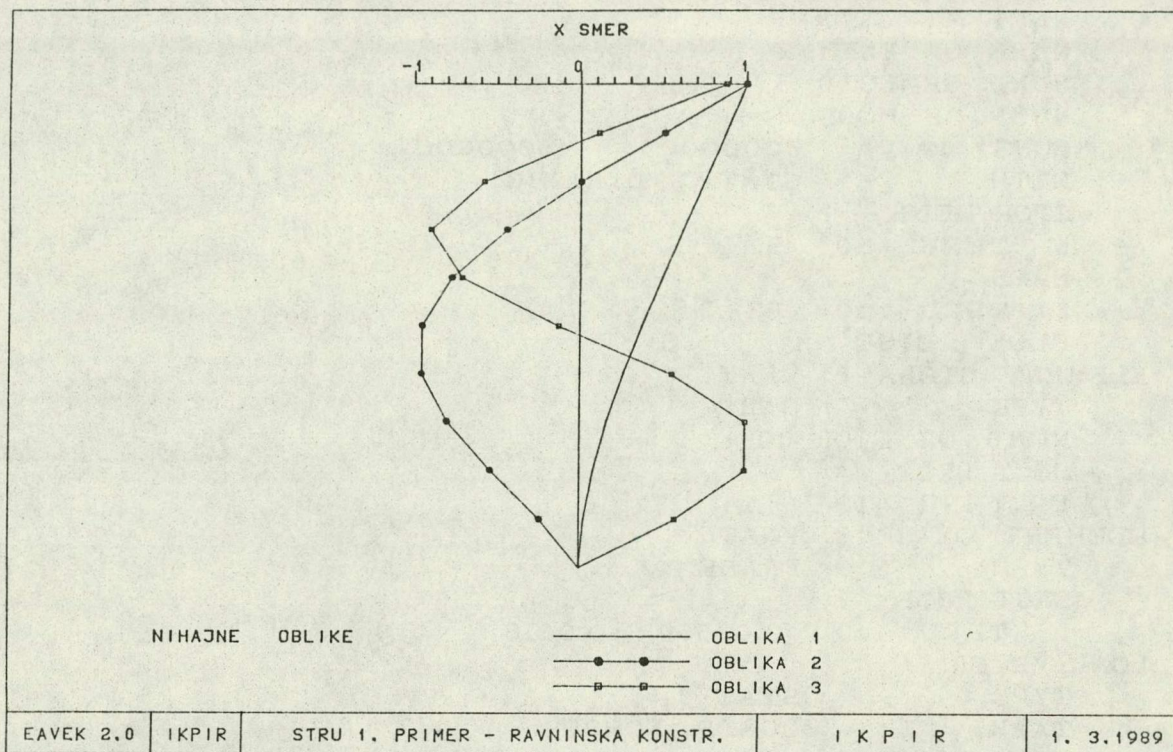


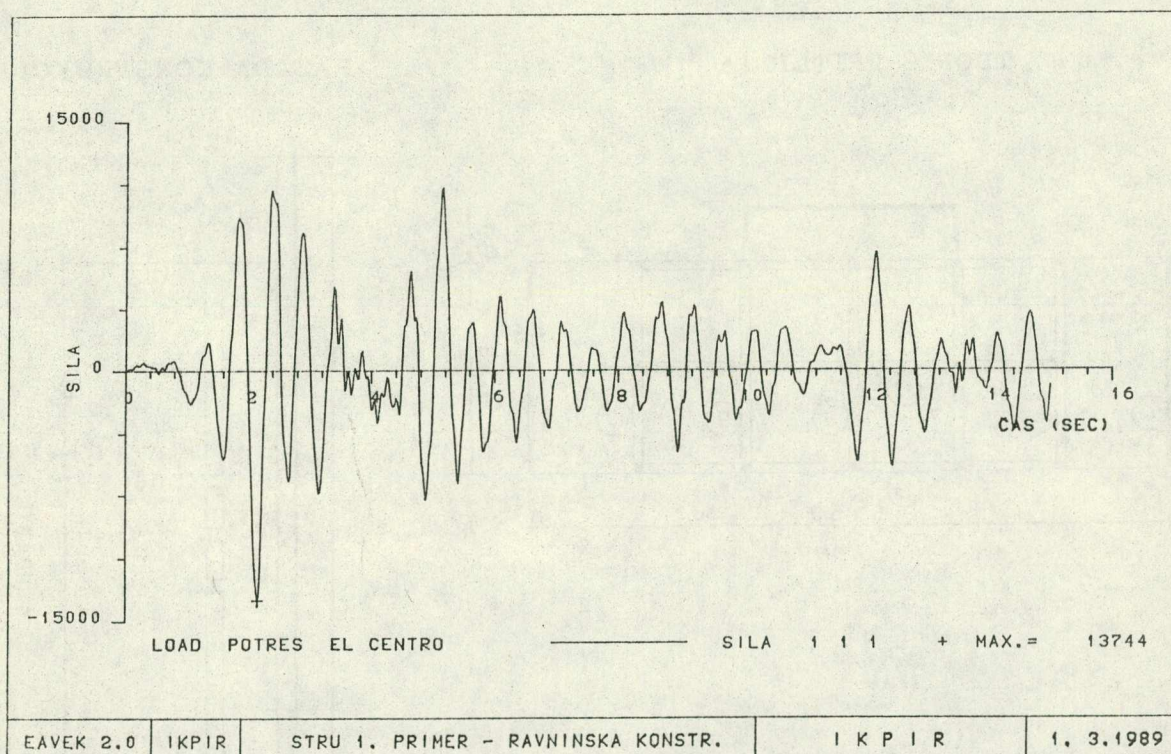
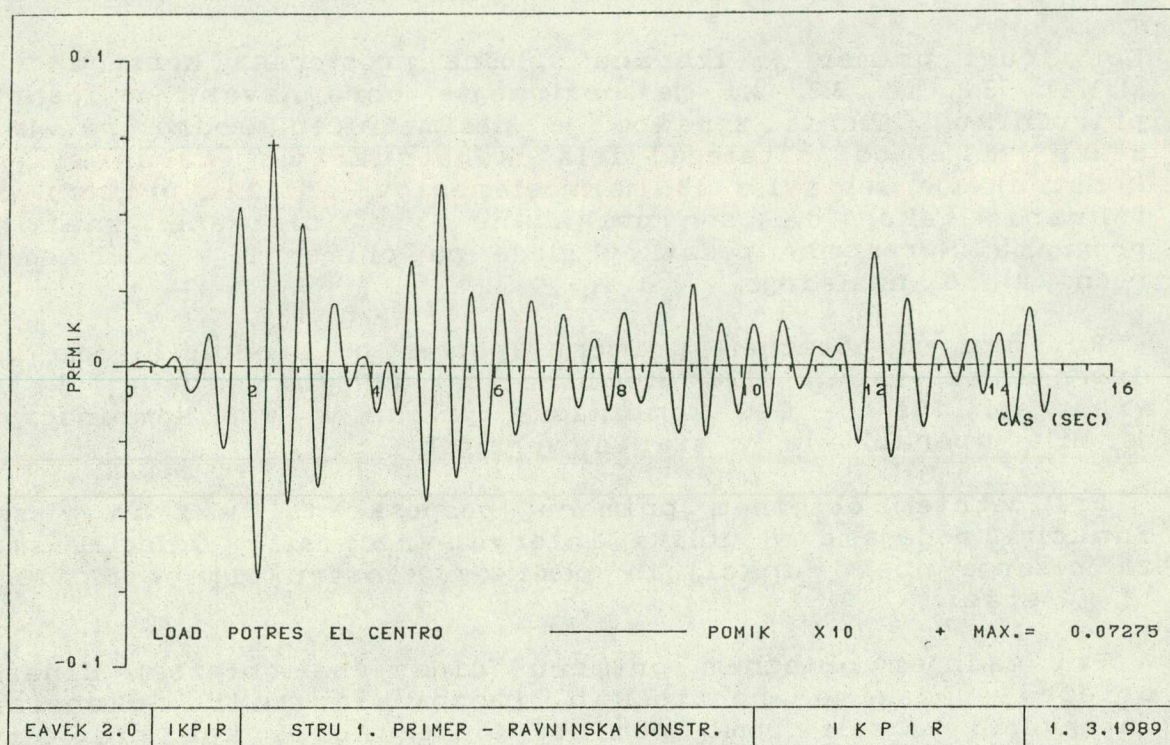
Slika 3.1 Tloris konstrukcije za primer 1.


```

STRU 1. PRIMER - RAVNINSKA KONSTR.
  TYPE          PLANE
  NUMB OF STOR 10
  NUMB OF ELEM 2
  NUMB OF LOAD 3
  NUMB OF MODE 3
  CONS          30000000. 13000000.
  METH          STATIC DYNAMIC
  STOR HEIG
  1 THRU 10 3.
  MASS
  1 THRU 10 232.3
  PLOT EIGE 1 2 3
ELEMENT STENA 2. KRAT
  TYPE          CANT
  NUMB OF STOR 10
  SECT PROP
  1 THRU 10 3.14 27.68
ELEMENT OKVIR 3. KRAT
  TYPE          FRAME
  SECT PROP
  1 THRU 10 0.02559 0.0216
LOAD VETER
  TYPE          STATIC
  TABU          LOADS FORCES
  STAT LOAD
  1 THRU 10 30.
LOAD POTRES PO PREDPISIH
  TYPE          YUSPECTRUM 2
  TABU          LOADS FORCES
  KC            0.1
  DAMP          0.05
  FACT          1.
LOAD POTRES EL CENTRO
  TYPE          RESPONSE
  COMP FORC
  TABU DISP 2 4 6 8 10
  TABU MAXI
  1 1 1 1 1 2 1 5 1
  1 5 2 1 10 1
  DAMP          0.05 0.05 0.05
  FUNCTION EL CENTRO 1940 NS
  UECN 0. 15. 1.
  EART          1 0.01
  PLOT FUNC 1
  PLOT DISP 10
  PLOT FORC 1 1 1
  SOLV

```



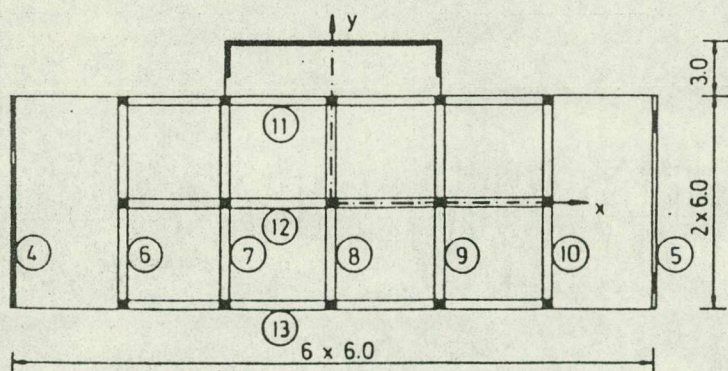
3.3 PROSTORSKA KONSTRUKCIJA - PRIMER 2.

Kot drugi primer je izbrana splošna prostorska konstrukcija po slikah 3.2 in 3.3, ki je obširnejše obravnavana v osnovnem priročniku. Tloris zgradbe je nesimetričen, jedro pa je dve etaži višje od ostalega dela konstrukcije. Računski model konstrukcije sestavlja 13 makroelementov, obtežni primeri pa so izbrani tako, da so prikazane vse bistvene značilnosti programa. Spremembe podatkov glede na primer 2 v osnovnem priročniku so naslednje:

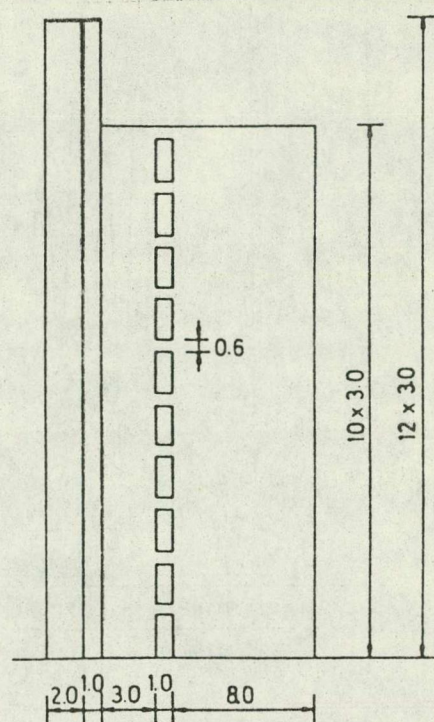
- Pri drugem obtežnem primeru (potres po predpisih) smo podali dušenje za račun CQC kombinacije 0.0 (DAMP 0.0). Pri tej vrednosti dušenja CQC kombinacija preide v SRSS kombinacijo, ki je bila uporabljena v starih verzijah.
- Pri četrtem obtežnem primeru (pospeški tal v x in y smeri) funkciji podajamo v obliki interval-vrednosti. Odločili smo se za risanje obeh funkcij in pomikov konstrukcije v 5. 10. in 12. etaži.
- Pri zadnjem obtežnem primeru (dinamična obtežba), dinamično obtežbo podajamo po točkah (možni so tudi nekonstantni intervali). Risali bomo pomike konstrukcije, kot pri četrtem obtežnem primeru, in prečno silo spodaj v 6., 8. in 10. elementu.

Priloženi sta samo dve sliki: slika prvih treh nihajnih oblik in slika pomikov zaradi dinamične obtežbe.

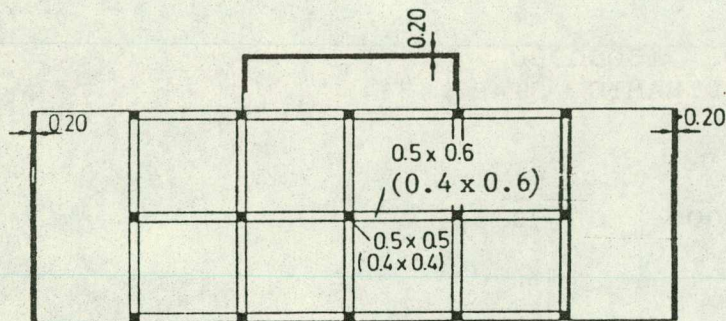
TLORIS PRITLIČJA



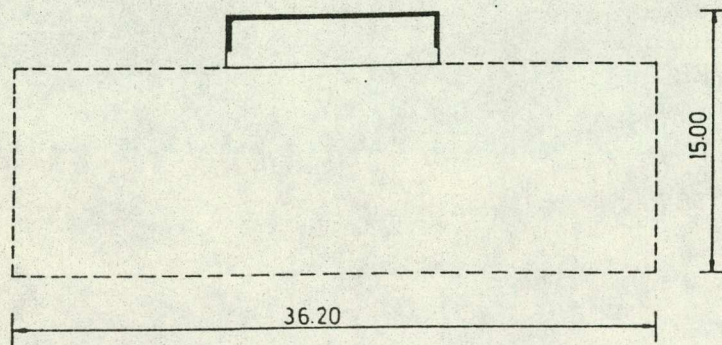
FASADA KONSTRUKCIJE



TLORIS TIPIČNE ETAZE

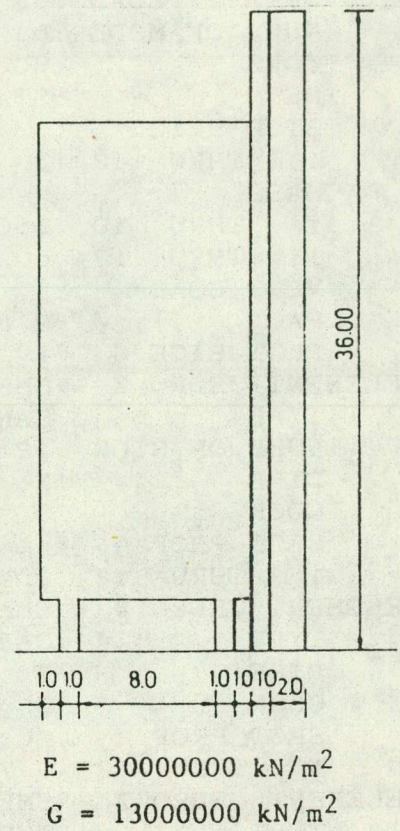


TLORIS 11. IN 12. ETAZE



Slika 3.2 Tlorisi
konstrukcije za primer 2.

FASADA KONSTRUKCIJE



Slika 3.3 Fasadi
konstrukcije za primer 2.

STRU 2. PRIMER - PROSTORSKA KONSTR.

TYPE SPACE
 NUMB OF STOR 12
 NUMB OF ELEM 13
 NUMB OF LOAD 5
 NUMB OF MODE 6
 CONS 30000000. 13000000.
 METH STATIC DYNAMIC STABILITY

STOR HEIG
 1 THRU 12 3.

MASS
 1 THRU 10 380. 48000. 0. 0.5
 11 THRU 12 60. 650. 0. 7.5

VERT LOAD
 FACT 9.81
 PLOT EIGE 1 2 3

ELEMENT JEDRO X - SMER
 TYPE CANTILEVER
 NUMB OF STOR 12
 DIRE X
 COOR 0. 9.37
 SECT PROP

1 THRU 12 2.4 53.86

ELEMENT JEDRO Y - SMER
 TYPE CANTILEVER
 DIRE Y
 COOR 0. 9.37
 SECT PROP

1 THRU 12 0.73 0.757

ELEMENT JEDRO Z - SMER
 TYPE TUBE
 DIRE Z
 COOR 0. 9.37
 SECT PROP

1 THRU 12 0.0416 20.1

ELEMENT LEVA STENA

TYPE WALL
 NUMB OF STOR 10
 DIRE Y
 COOR -18. 0.
 SECT PROP

1 THRU 10 6.5 1. 0.6 0.5 0.45
 1.6 1.33 8.533 0.1 0.0036

ELEMENT DESNA STENA

TYPE SCAN
 NUMB OF STOR 10
 DIRE Y
 COOR 18.
 SECT PROP

1 9. 0.2 0.167 0.0167 0.2 0.167 0.0167
 2 THRU 10 2. 28.8

ELEMENT OKVIR 6

TYPE FRAME
 NUMB OF STOR 10
 DIRE Y
 COOR -12.


```

SECT PROP
1   THRU   5   0.01563  0.0314
6   THRU  10   0.00639  0.0248
ELEMENT OKVIR 7
  TYPE          PELEMENT   6
  COOR          -6.
ELEMENT OKVIR 8
  TYPE          PELEMENT   7
  COOR          0.
ELEMENT OKVIR 9
  TYPE          PELEMENT   6
  COOR          6.
ELEMENT OKVIR 10
  TYPE          PELEMENT   6
  COOR          12.
ELEMENT OKVIR 11
  TYPE          FRAME
  NUMB OF STOR  10
  DIRE          X
  COOR          0.   5.75
SECT PROP
1   THRU   5   0.02605  0.06
6   THRU  10   0.01065  0.048
ELEMENT OKVIR 12
  TYPE          PELEMENT  11
  COOR          0.   0.
ELEMENT OKVIR 13
  TYPE          PELEMENT  12
  COOR          0.  -5.75
LOAD VETER V SMERI X
  TYPE          STATIC
  TABU ALL
  STAT LOAD
1   THRU  10   16.7   0.  -25.
11  THRU  12   3.3   0.  -25.
LOAD POTRES PO PREDPISIH X SMER
  TYPE          YUSPECTER  2
  TABU          FORCES
  KC            0.1
  DAMP          0.0
  FACT          1.
LOAD PODAN SPEKTER Y SMER
  TYPE          SPECTER
  TABU          FORCES
FUNCTION SPEKTER PO STARIH PREDPISIH
0.   1.5   0.5   1.5   0.55  1.36  0.6   1.25
0.65  1.15  0.7   1.07  0.75  1.   0.8   0.94
0.9   0.83  1.   0.75  1.1   0.68  1.2   0.63
1.3   0.58  1.4   0.54  1.5   0.5   1000.  0.5
FACT          0.   0.1   0.
LOAD POSP. TAL X IN Y SMER
  TYPE          RESPONSE
  TABU DISP      X 6   X 12 Y 6   Y 12 Z 6   Z 12
  TABU MAXI
1   1   1   1   1   2   2   1   1

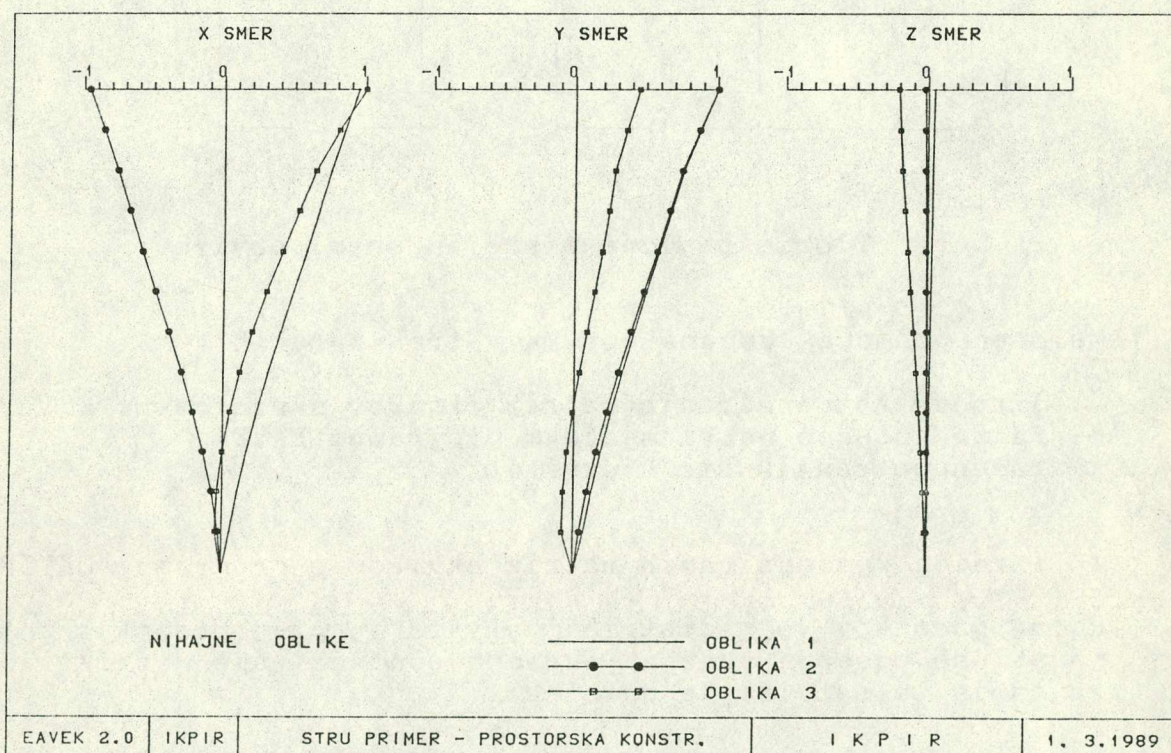
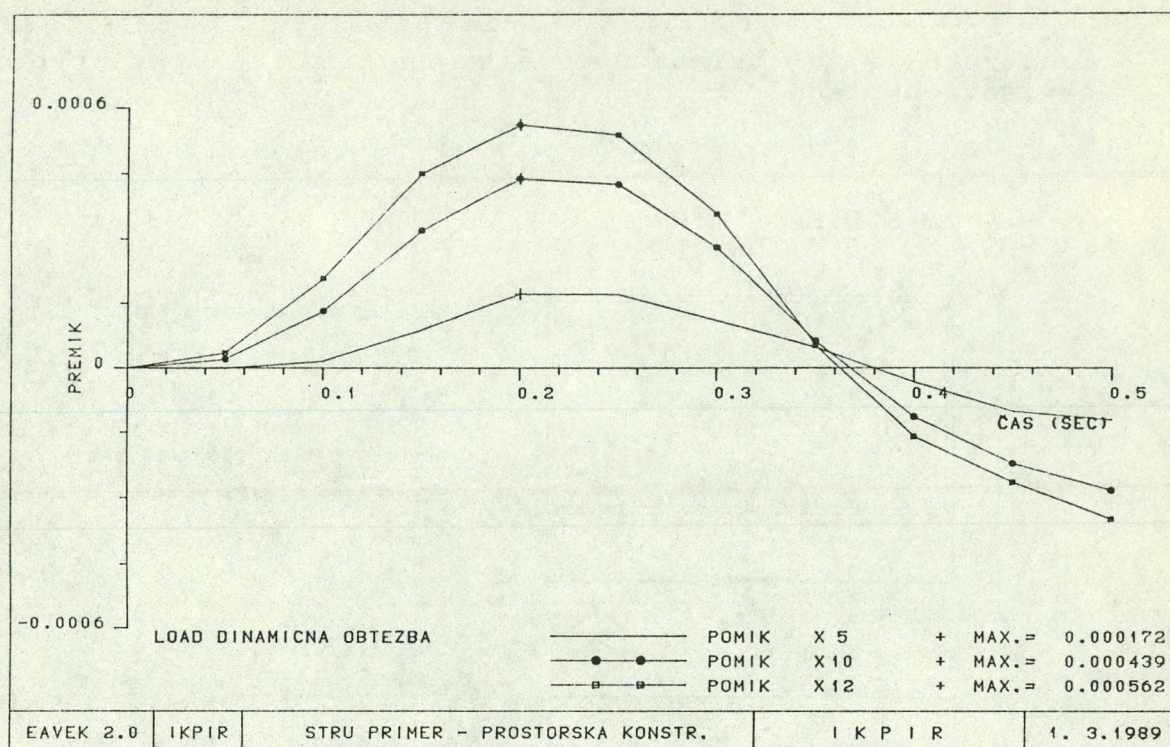
```



```

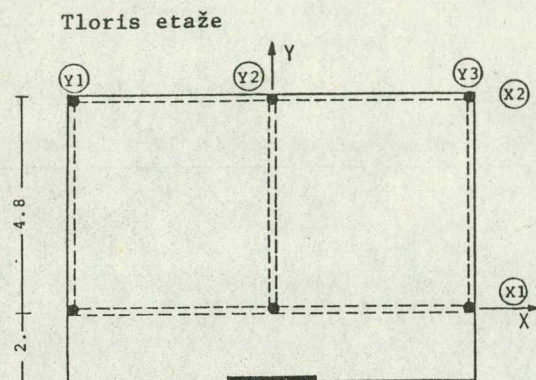
2 1 2 3 1 1 3 1 2
3 1 3 4 1 1 4 1 2
4 1 3 4 1 4 4 1 5
4 1 6 4 3 1 4 5 1
4 7 1 5 1 1 5 1 2
5 1 3 5 1 4 5 2 1
5 2 2 6 1 1 6 1 2
6 5 1 6 5 2 6 10 1
6 10 2
DAMP          0.05  0.05  0.05  0.05  0.05  0.05
FUNCTION 1 POSPESKI TAL V Y SMERI
0.2  0.00  10.  0.
FUNCTION 2 POSPESKI TAL V X SMERI
0.1  0.00  10.  0. -10.  0.  10.  0. -10.  0.
EART          2  1.  0.00  1  2.  0.00
PLOT FUNC      1
PLOT DISP      X  5  X  10  X  12
PLOT FUNC      2
LOAD DINAMICNA OBTEZBA
TYPE           RESPONSE
COMP FORC
TABU DISP      X  6  X  12  Y  6  Y  12  Z  6  Z  12
TABU MAXI
1  1  1  1  1  2  2  1  1
2  1  2  3  1  1  3  1  2
3  1  3
DAMP          0.05  0.05  0.05  0.05  0.05  0.05
FUNCTION SUNEK
0.1  0.00  100.  0.
DYNA LOAD
11          1  1.  0.00  1  0.  0.00  1  -7.58  0.00
LAST TIME      0.5
NUMB OF TIME   10
PLOT DISP      X  5  X  10  X  12
PLOT FORC      6  1  1  8  1  1  10  1  1
SOLV

```

3.4 POVEZAVA PROGRAMOV EAVEK IN OKVIR

Konstrukcija je trietažna. Njen nosilni sistem tvori pet okvirov in stena.



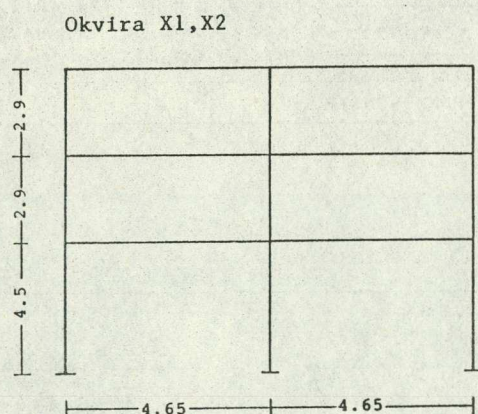
Mase in masni momenti etaž

$$m_1 = m_2 = 116 \text{ t} \quad M_1 = M_2 = 1288 \text{ tm}^2$$

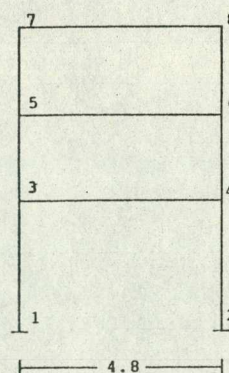
$$m_3 = 106 \text{ t} \quad M_3 = 1177 \text{ tm}^2$$

Stebri $\phi 40 \text{ cm}$ Nosilci $b/h = .25/.45 \text{ m}$

Stena $b/h = .15/2.5 \text{ m}$



Okviri Y1,Y2,Y3



Tloris tipične etaže in shemi okvirov

Celoten postopek računa poteka v treh korakih:

- izračun kondenziranih matrik okvirov s programom OKVIR
- račun obtežbe na elemente s programom EAVEK
- račun notranjih sil v okvirih

1. Izračun kondenziranih matrik okvirov s programom OKVIR

Poleg podatkov o geometriji okvira je pri podatkih potrebno podati še poseben ukaz za izračun kondenzirane matrike in ukaz za zapis te matrike na datoteko.

Podatki za račun kondenzirane podajnostne matrike okvira Y1:

```

STRU PRECNI OKVIR Y1
TYPE PLAN FRAM
TABU ALL
NUMB OF JOIN 8
NUMB OF MEMB 9
NUMB OF SUPP 2
WRITE OKY1          ... kondenzirana matrika bo zapisana na
JOIN COOR           datoteko OKY1.FLE
1 0 0
1 THRU 8 MATR 2 4 STEP 1 2 X 4.8 Y 4.5 2.9
SUPP
1 THRU 2 S
MEMB INCI
1 1 3
1 THRU 6 MATR 2 3 STEP 3 1 INCR 1 2
7 3 4 8 5 6 9 7 8
MEMB PROP PRIS
1 THRU 6 AX 0.126 IZ 0.00126
7 THRU 9 AX 0.113 IZ 0.0019
CONS E 30000000. ALL
MATR FLEX STOR 3 X  ... ukaz za račun kondenzirane
1 3                  podajnostne matrike reda 3.
2 5                  Prostostne stopnje so pomiki
3 7                  vozlišč 3 (v 1. etaži), 5 (v 2.
SOLVE               etaži) in 7 (v 3. etaži) v x-smeri.
STOP

```

Rezultat programa je kondenzirana podajnostna matrika okvira shranjena na datoteki OKY1.FLE (dodatek .FLE pripiše program avtomatično) v naslednji obliki:

```

1      .129078E-03
2      .149737E-03      .224870E-03
3      .153227E-03      .243925E-03      .319502E-03

```

2. Račun obtežbe na elemente s programom EAVEK

Podatki za prečne okvire ter za vzdolžni okvir X1 so podani v obliki matrik, vzdolžni okvir X2 je podan kot element tipa FRAME, stena pa kot element tipa CANT. Podajnostna matrika vzdolžnega okvira X1 je izračunana na poljuben način in je podana v obliki spodnjega trikotnika, matrike prečnih okvirov pa so izračunane s programom OKVIR.

```

STRU PRIMER ZA PRIROCNIK
TYPE          SPACE
NUMB OF STOR  3
NUMB OF ELEM  6
NUMB OF LOAD  2
NUMB OF MODE  6
CONS          30000000.

```



```

METH          DYNA  STAT
STOR HEIG
1             4.5
2  THRU      3  2.9
MASS
1  THRU      2  116.  1288.  0.  1.4
3             106.  1177.  0.  1.4
ELEMENT PRECNI OKVIR Y1
TYPE          FLEX
DIRE          Y
COOR          -4.65
SECT PROP
READ OKY1          ... podatke o podajnostni matriki
                      beremo z datoteke OKY1.FLE
ELEMENT PRECNI OKVIR Y2
TYPE          PELE 1
COOR          0
WRIT OKY2          ... zahtevamo zapis obtežbe elementa
                      na datoteko OKY2.SIL
ELEMENT PRECNI OKVIR Y3
TYPE          STIF
DIRE          Y
COOR          4.65
READ OKY3
ELEMENT VZDOLZNI OKVIR X1
TYPE          FLEX
DIRE          X
COOR          0.
WRIT OKX1
SECT PROP
1  .83283E-04
2  .93691E-04      .13767E-03
3  .94975E-04      .14614E-03      .189220E-03
ELEMENT VZDOLZNI OKVIR X2
TYPE          FRAME
DIRE          X
COOR          0.  4.8
SECT PROP
1 THRU 3      0.00378 0.00082
WRIT OKX2
ELEMENT STENA
TYPE          CANT
DIRE          X
COOR          0.  -2.
SECT PROP
1 THRU 3      1.  .2
LOAD VETER  Y-SMER
TYPE          STAT
TABU ALL
1 THRU 3      10.

```


LOAD POTRES X-SMER

```

TYPE          YUSP  3
TABU ALL
KC            0.05
DAMP          0.05
FACT          1.
SOLV

```

Program izračuna obtežbe vseh elementov za vse obtežne primere (veter in potres) in za vse zahtevane nihajne oblike. Tako dobljene obtežbe pa bo zapisal na datoteke z imeni ime.SIL le za tiste elemente, za katere smo to zahtevali. V našem primeru bodo to datoteke z obtežbami vseh okvirov: OKY1.SIL, OKY2.SIL, OKY3.SIL, OKX1.SIL in OKX2.SIL.

Kot primer je prikazana datoteka OKY1.SIL:

```

          2          6  2.276994E-002  1.230362E-002
3.299830E-003 1.749610E-003  9.425062E-004  4.556413E-004
LOAD VETER Y-SMER
          1          1  5.000000E-002
          3          1.889          1.045          -1.146
LOAD POTRES X-SMER
          6          2  5.000000E-002
          3          .000          .000          .000
          3          13.072          12.575          7.019
          3          3.188          .850          -8.528
          3          .000          .000          .000
          3          3.726          .703          -2.819
          3          .000          .000          .000

```

Številke zapisane po vrsti od leve na desno ter od zgoraj navzdol pomenijo:

- število obtežnih primerov,
- število upoštevanih nihajnih oblik,
- lastne frekvence
- naslov obtežnega primera
- število nihajnih oblik (pri statični obtežbi je enako 1)
- indeks, ki označuje način kombiniranja sil
- faktor dušenja za vse nihajne oblike
- število etaž in obtežbe elementov po etažah (od etaže 1 do etaže z najvišjo številko) za vse obtežne primere in nihajne oblike

3. Račun notranjih sil v okvirih

Za izračun notranjih sil v okvirih moramo za vsak okvir posebej ponovno pognati program OKVIR (z enakimi podatki kot v koraku 1). Obtežni primeri, ki jih podamo pri podatkih za okvir (naprimer: vertikalna obtežba) se izračunajo

avtomatično. Za vsak obtežni primer konstrukcije, ki smo ga računali s programom EAVEK, pa se na zaslonu prikaže pripadajoča obtežba na okvir in vprašanje, ali se za to obtežbo računajo notranje sile.

Za okvir Y1 se za obtežni primer konstrukcije s potresom v X-smeri na zaslonu prikaže:

OBTEŽI PRIMER 3 LOAD POTRES X-SMER

SILE NA OKVIR ZA NIHAJNE OBLIKE

ETAŽA	1.OBL.	2.OBL.	3.OBL.	4.OBL.	5.OBL.	6.OBL.
1	.000	13.072	3.188	.000	3.726	.000
2	.000	12.575	.850	.000	.703	.000
3	.000	7.019	-8.528	.000	-2.819	.000

PRI RAČUNU NOTRANJIH SIL SE UPOŠTEVA KOMBINACIJA VPLIVA NIHAJNIH OBLIK

ALI SE OBTEŽNI PRIMER RAČUNA ? (DA,NE)

Notranje sile za prikazano obtežbo lahko izračunamo (DA) ali pa račun preskočimo (NE). Rezultati za tako izračunane obtežne primere se avtomatično priključijo k rezultatom morebitnih ostalih obtežnih primerov (napr. k rezultatom za vertikalno obtežbo).

PODATKI O AKCELEROGRAMIH (datoteke *.acc)

Poleg programa EAVEK uporabnik dobi še 20 datotek z akceleroگرامi nekaterih močnih potresov registriranih pri nas in v svetu. Ime datoteke je dolgo štiri znake. Prva črka označuje potres, druga in tretja črka sta začetnici kraja kjer je bil potres registriran, zadnja črka pa je okrajšava smeri delovanja potresa (N za smer N-S in E za smer E-W; glej seznam). Vse datoteke imajo podaljšek .ACC, ki pa ga v EAVKU ne podajamo. Pospeški so podani v konstantnem časovnem intervalu 0.02 sekunde. Enota za pospeške na datotekah je cm/s^2 (če računamo v metrih moramo podati faktor pri ukazu EARTHQUAKE 0.01). Osnovni podatki o akceleroگرامih z datotek so prikazane v tabeli spodaj, njihov celoten časovni potek pa je izrisan na naslednjih dveh straneh. Vsi akceleroگرامi so narisani v istem merilu.

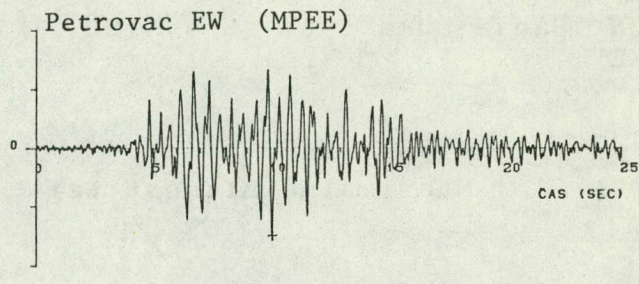
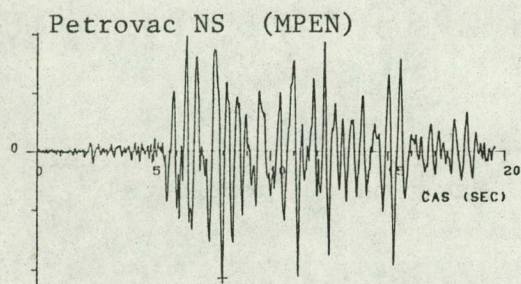
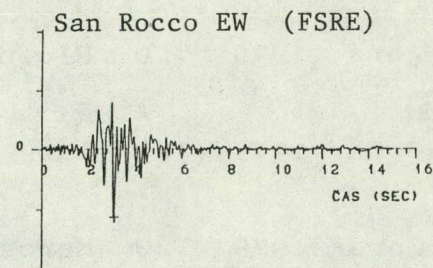
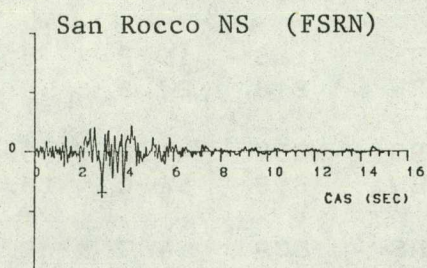
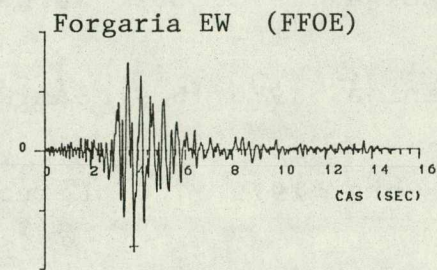
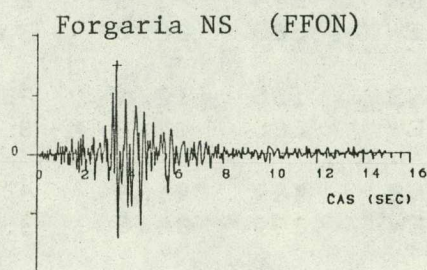
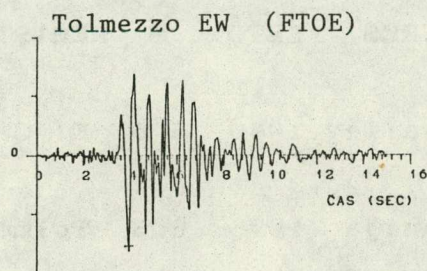
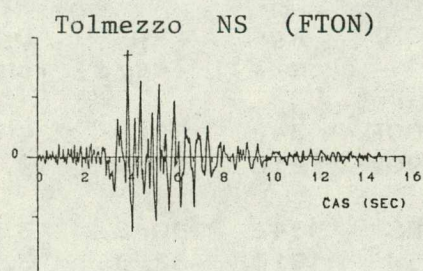
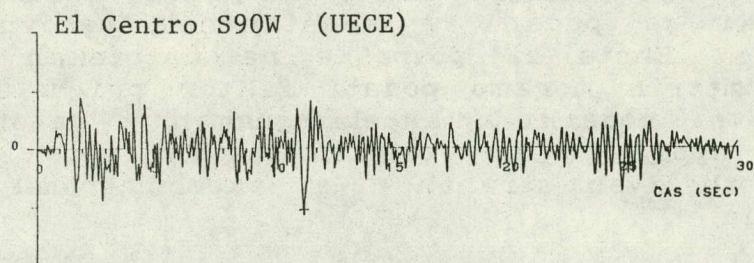
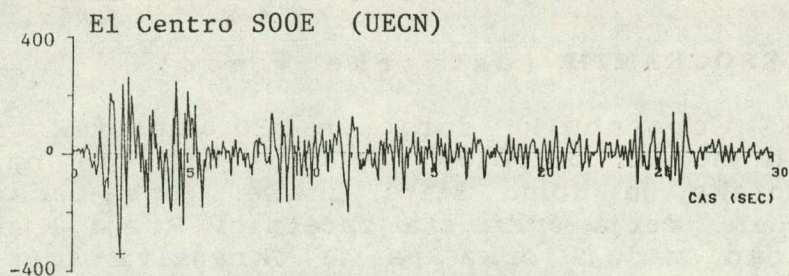
OZNAKA	POTRES	LETO	M	REGISTRACIJA	KOMP	Ag (cm/s)	Vg (cm/s)	Dg (cm)	STEV. TOCK
UECN	Imp Walley	1940	6.6	El Centro	S00E	342	33.5	24.0	1500
UECE					S90W	210	36.9	19.8	1500
FTON	Furlanija	1976	6.3	Tolmezzo	NS	342	20.2	3.3	750
FTOE					EW	310	32.3	3.9	750
FFON	Furlanija	1976	5.9	Forgaria	NS	299	23.3	2.6	750
FFOE					EW	323	22.0	3.6	750
FSRN	Furlanija	1976	5.9	San Rocco	NS	136	12.1	2.5	750
FSRE					EW	228	17.2	3.3	750
MPEN	Črna Gora	1979	7.0	Petrovac	NS	429	41.3	8.2	980
MPEE					EW	299	24.6	3.2	1250
MU1N	Črna Gora	1979	7.0	Ulcinj 1	NS	279	39.6	10.4	1250
MU1E					EW	235	47.4	12.7	1250
MU2N	Črna gora	1979	7.0	Ulcinj 2	NS	168	19.2	6.4	1250
MU2E					EW	218	27.8	9.7	1250
MBAN	Črna Gora	1979	7.0	Bar	NS	357	41.2	9.8	1250
MBAE					EW	353	52.0	15.1	1250
MHNN	Črna Gora	1979	7.0	Hercegnovi	NS	209	14.7	2.6	1250
MHNE					EW	226	11.5	2.6	1250
BIMN	Banja Luka	1981	5.4	IMB	NS	506	24.0	4.4	500
BIME					EW	387	8.0	1.2	500

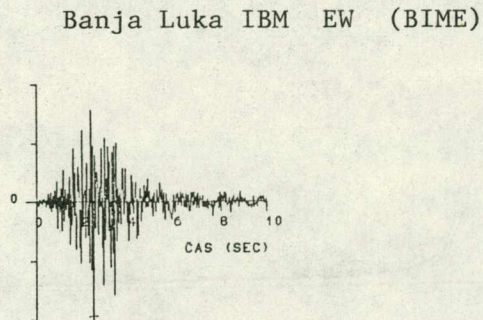
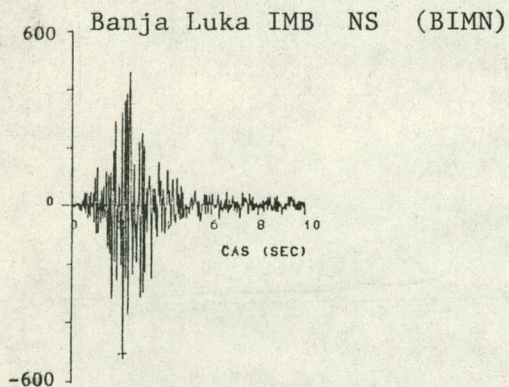
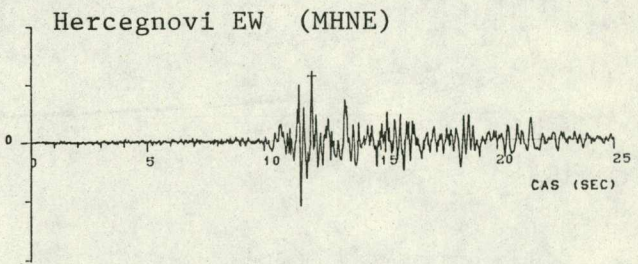
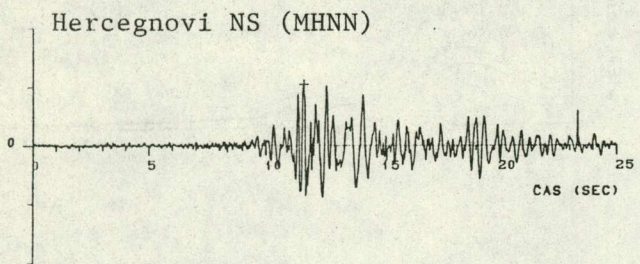
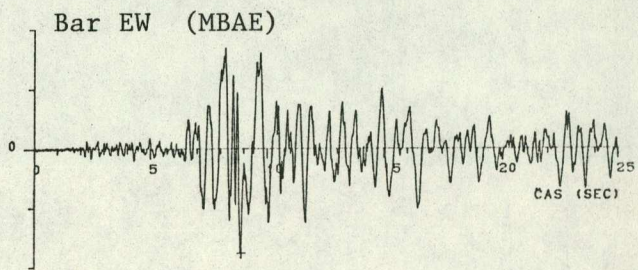
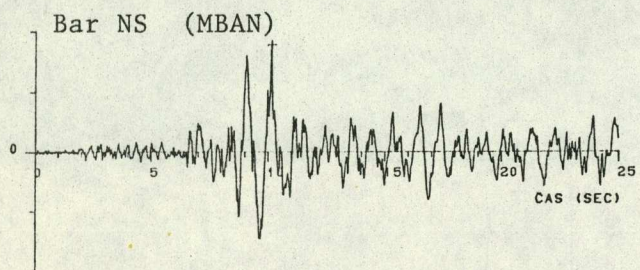
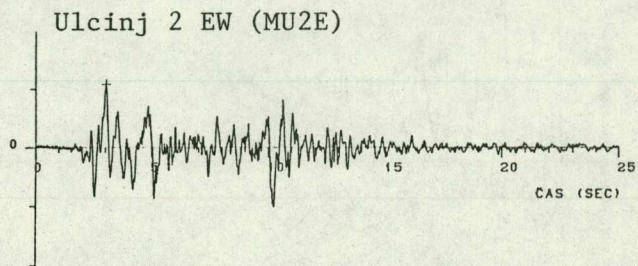
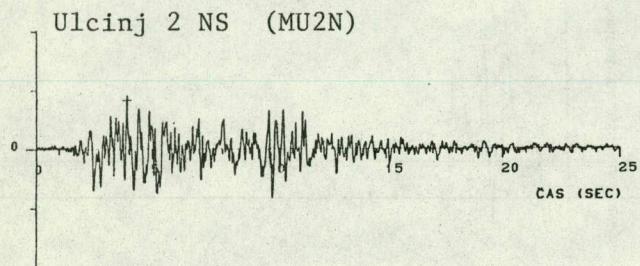
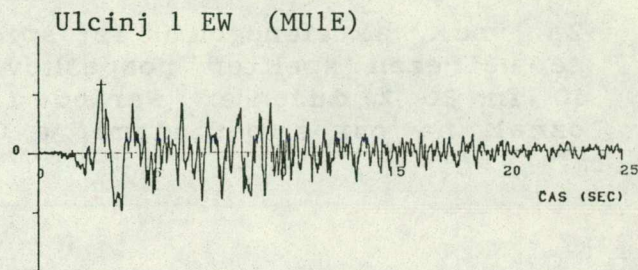
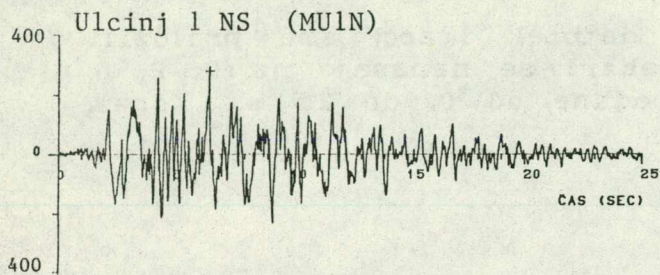
M ... Magnituda

Ag ... Maksimalni pospešek tal

Vg ... Maksimalna hitrost tal

Dg ... Maksimalni pomik tal

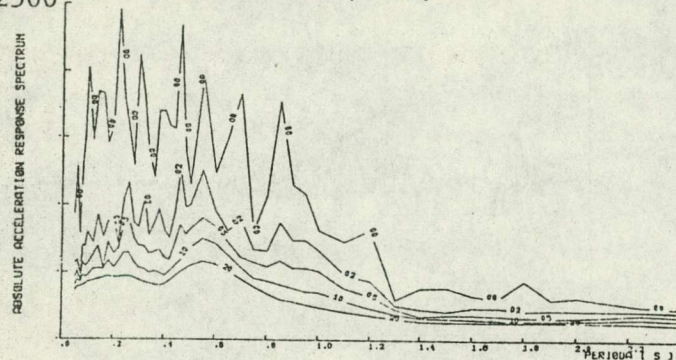




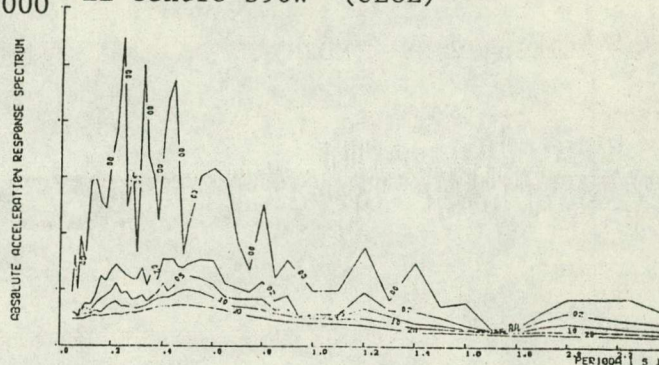
PODATKI O SPEKTRI

Za vsak akceleroگرام iz spiska datotek (*.acc) smo priložili še ustrezen spekter pospeškov. Spektri se nanašajo na 0, 2, 5, 10 in 20 % dušenje. Periode so podane od 0. do 2.5 s. Korak oznak na osi s periodami je 0.2.

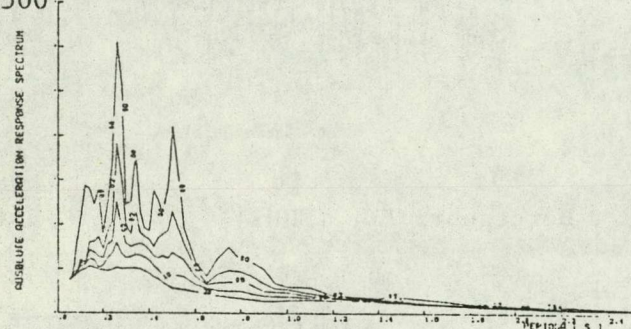
2500 El Centro S00E (UECN)



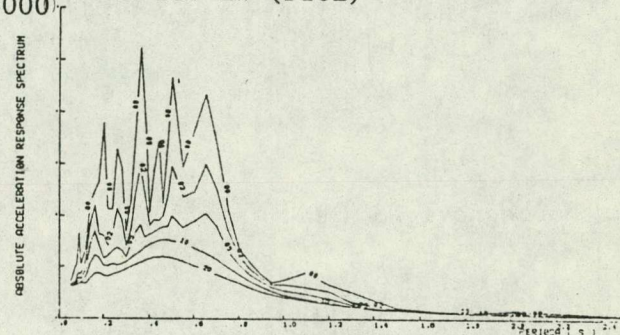
3000 El Centro S90W (UECE)



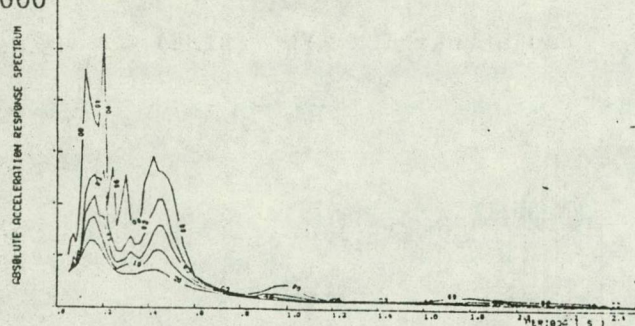
3500 Tolmezzo NS (FTON)



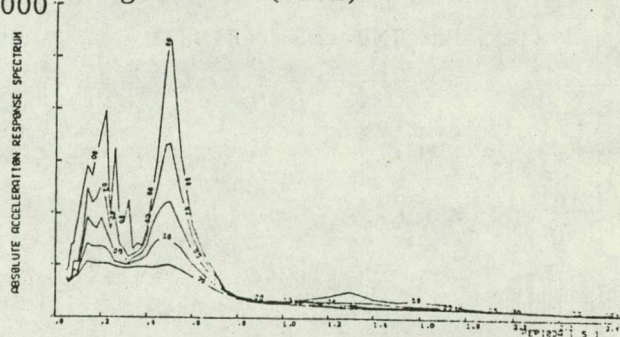
3000 Tolmezzo EW (FTOE)



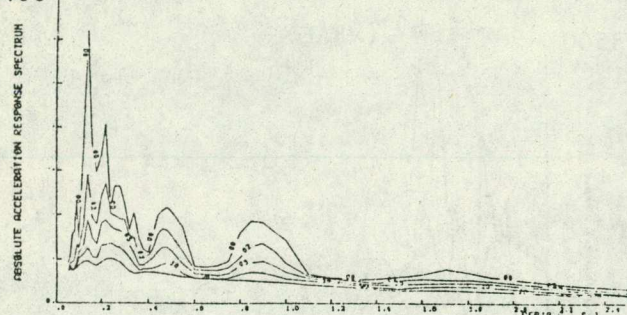
3000 Forgia NS (FFON)



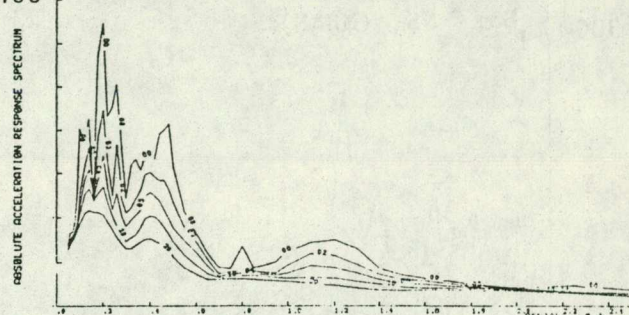
3000 Forgia EW (FFOE)



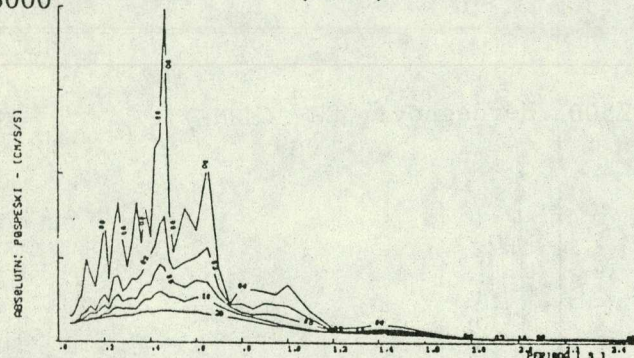
1400 San Rocco NS (FSRN)



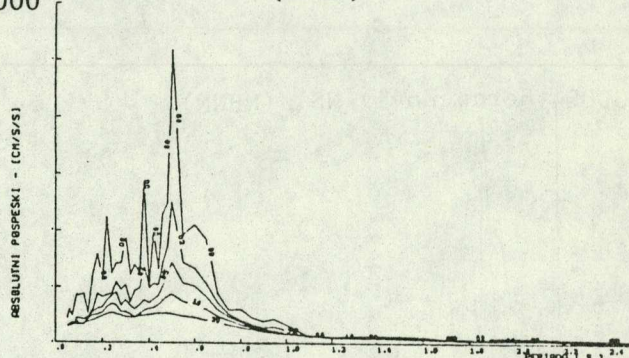
1400 San Rocco EW (FSRE)



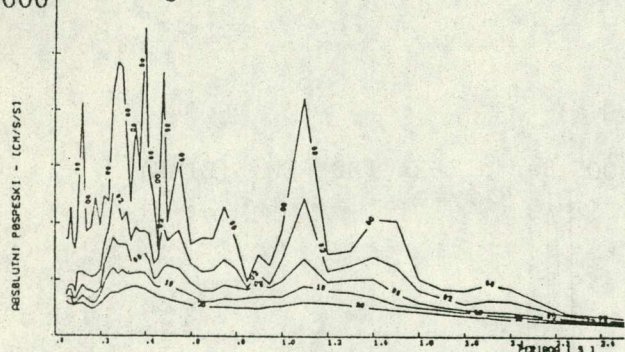
8000 Petrovac NS (MPEN)



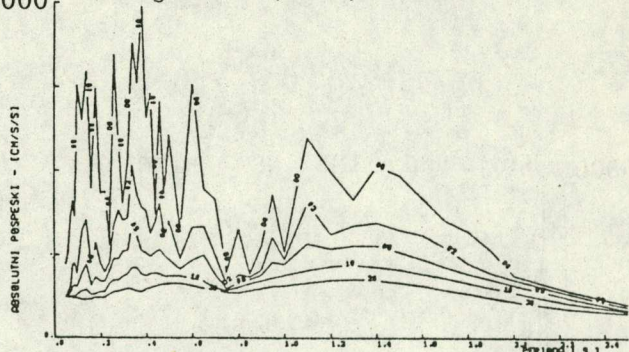
6000 Petrovac EW (MPEE)



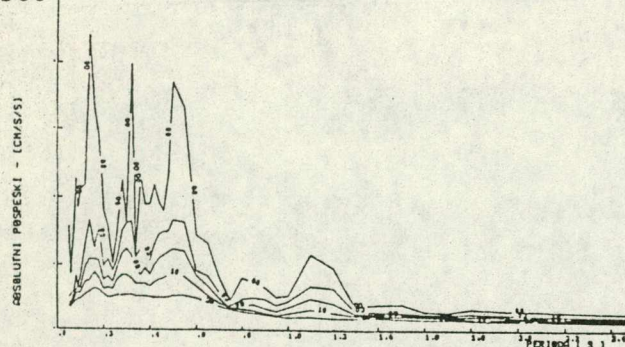
3000 Ulcinj 1 NS (MU1N)



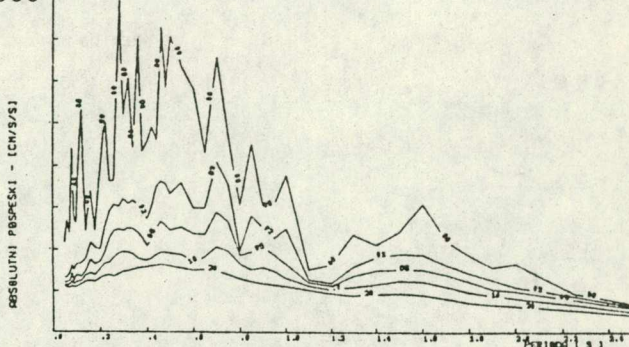
2000 Ulcinj 1 EW (MU1E)



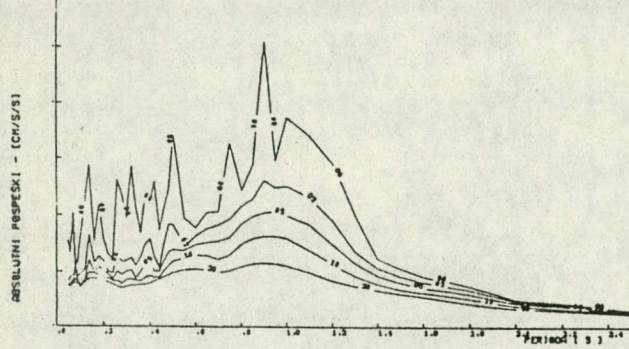
2500 Ulcinj 2 NS (MU2N)



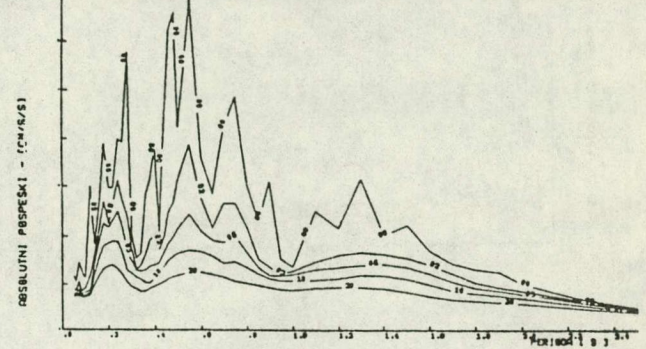
1600 Ulcinj 2 EW (MU2E)



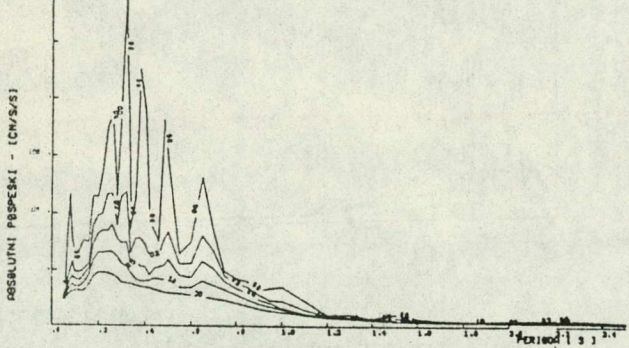
3000 Bar NS (MBAN)



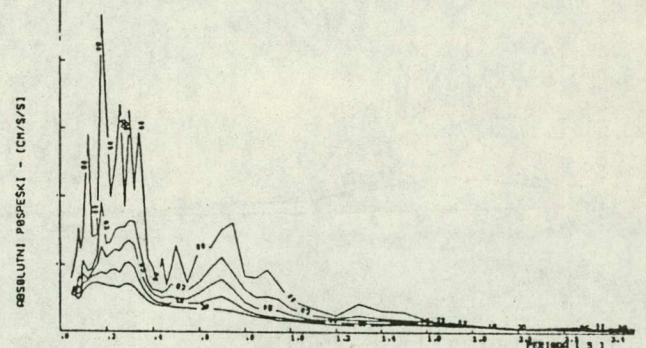
3500 Bar EW (MBAE)



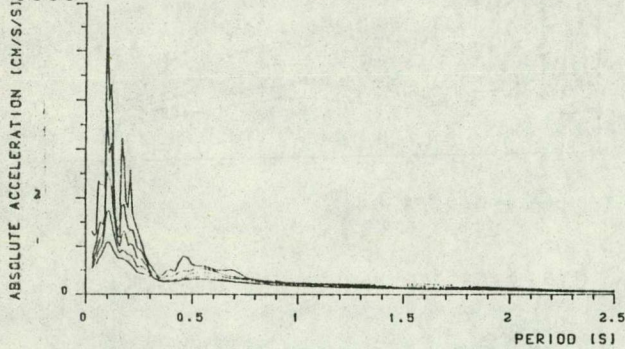
3000 Hercegnovi NS (MHNN)



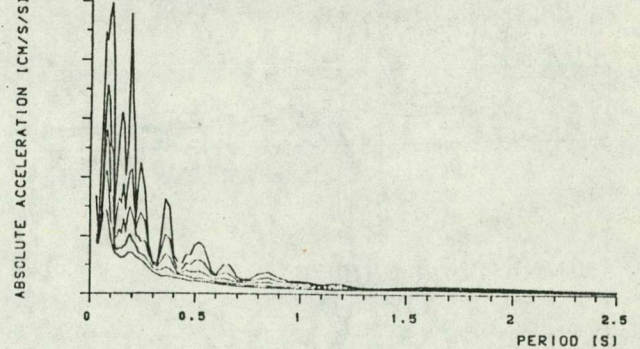
2500 Hercegnovi EW (MHNE)



6000 Banja Luka IMB NS (BIMN)



2500 Banja Luka IMB EW (BIME)



Peter Fajfar
redni profesor, FAGG, VTOZD GG, IKPIR

VERIFIKACIJA PROGRAMA E A V E K S POMOČJO PRIMERJAVE Z EKSPERIMENTI

POVZETEK

EAVEK je program za elastično analizo večetažnih stavb pri horizontalni obtežbi. Na področju dinamične analize je primeren za določanje dinamičnih karakteristik stavb ter za simulacijo odziva stavb pri manjših in zmerno močnih potresih. Matematični model in program sta bila verificirana s pomočjo primerjave računskih rezultatov in rezultatov eksperimentov na dejanskih stavbah. V članku je prikazan povzetek primerjav in zaključkov, ki so pomembni za modeliranje stavb.

VERIFICATION OF THE E A V E K PROGRAM BY COMPARISON WITH EXPERIMENTS

SUMMARY

EAVEK is a program for elastic analysis of multistory buildings subjected to horizontal loading. As far as dynamic analysis is concerned the program is suitable for the determination of dynamic properties of buildings and for the simulation of the structural response in the case of minor or moderate earthquakes. The mathematical model and the program have been verified by comparisons of analytical and experimental results obtained on actual buildings. In the paper a summary of the comparisons and of the conclusions relevant for mathematical modeling is presented.

1. UVOD

Program EAVEK [1] se že vrsto let uspešno uporablja za projektiranje stavb. Temelji na predpostavki o elastičnem obnašanju konstrukcije in uporablja tako imenovan psevdo-tridimenzionalen matematičen model. Konstrukcijo sestavimo iz posameznih makroelementov (ravninski okviri, stene, jedra), ki so tlorisno poljubno razporejeni. Makroelementi (podkonstrukcije) so povezani z medetažnimi ploščami. Predpostavljeno je, da so plošče neskončno toge v svoji ravnini in da nimajo togosti pravokotno na svojo ravnino. Tak model ima tri bistvene prostostne stopnje v vsaki etaži (dva horizontalna pomika in torzijski zasuk). Vertikalni pomiki niso upoštevani. V modelu tako ni upoštevana kompatibilnost osnih deformacij, npr. v stebrih, ki so skupni več okvirom, ali na mestih, kjer se stikajo stene, nosilne v raznih smereh. Elastična vpetost konstrukcije v temeljna tla se lahko upošteva s pomočjo vzmeti.

Pri vsakem računalniškem programu je potrebno verificirati tako uporabljen matematični model kot tudi metodo analize. To je mogoče narediti s primerjavo z rezultati drugih obstoječih priznanih programov ali še bolje s primerjavo z eksperimentalnimi rezultati.

Program EAVEK je bil testiran na oba načina in v tem članku je prikazan povzetek primerjav z eksperimentalnimi rezultati. Ob primerjavah so bili dobljeni določeni zaključki o matematičnem modeliranju. Tudi njihov povzetek je podan v članku. Podrobnejša poročila o primerjavah so bila med drugim objavljena v delih [2] in [3]. Vse analizirane stavbe so armiranobetonske.

2.0 STAVBA TIPa "INDUSTROGRADNJA" V ZAGREBU

Stavba s tipičnim tlorisom po sliki 1 je visoka 55.62 m in ima klet, 18 etaž in teraso. Konstrukcijski sistem sestavljajo monolitne armiranobetonske stene debeline 20 cm. Debelina plošč znaša 15 cm. Okenski parapeti so armiranobetonski prefabricirani elementi. Predelne stene so zgrajene iz siporeksa debeline 7 cm. Objekt je temeljen na plošči debeline 90 cm. Dopustna napetost tal znaša 0.25 MPa pri centrični obremenitvi. Na stavbi sta bila izvršena dva testa z vsiljenimi vibracijami, eden na nedokončanem objektu (objekt je približno odgovarjal "čisti konstrukciji"), drugi na dokončanem objektu. Med obema testoma se je spremenila predvsem masa objekta, medtem ko je togost ostala skoraj nespremenjena.

Za račun je izbrana vrsta matematičnih modelov, ki simulirajo obnašanje konstrukcije med prvim testom. Model A je najenostavnejši model, nato pa so postopoma vključevane bolj natančne predpostavke.

Model A. Vse stene so upoštevane kot konzole pravokotnega preseka.

Model B. Pri stenah je upoštevana sodelujoča širina.

Model C. Upoštevane so prečke, ki povezujejo stene modela B (razen prefabriciranih parapetov).

Model D. Vpliv togosti medetažnih plošč izven svoje ravnine je upoštevan z dodatnim okvirom, ki ga tvorijo stene (pravokotno na svojo ravnino) in plošče.

Model E. V vseh dosedanjih modelih so stene v oseh 2 in 6 ločene od sten v oseh 3 in 5. V resnici so te stene medsebojno elastično povezane. Togostna matrika celotnega sklopa sten je določena s posebno statično analizo in vključena v model E.

Model F. Upoštevana je povezava sten v oseh B, C in D z ekvivalentnimi prečkami, ki jih predstavljajo medetažne plošče.

Model G. Upoštevane so povezave s prefabriciranimi parapeti. Predpostavljena je toga povezava med parapeti in konstrukcijo.

Model H. Elastična vpetost konstrukcije je modelirana s pomočjo vzmeti. Togosti vzmeti so določene na najenostavnejši način s pomočjo dopustne napetosti tal in geometrije temeljne plošče.

Model I. Togosti vzmeti, ki simulirajo elastično vpetost, so korigirane tako, da je doseženo boljše ujemanje računskih in eksperimentalnih rezultatov.

Model H je najtočnejši model, ki ga je mogoče definirati z dostopnimi podatki (brez rezultatov eksperimenta) in ki je dovolj enostaven za prakso. V modelu I so vključeni rezultati eksperimenta.

Eksperimentalno in računsko (za modele G, H in I) določeni nihajni časi so prikazani v tabeli 1. Vpliv različnih predpostavk v posameznih modelih je prikazan z ekvivalentno togostjo, ki je definirana z enačbo $k = T_R^2/T^2$, kjer sta T_R in T osnovna nihanja časa referenčnega modela (model G) in obravnavanega modela. Ekvivalentne togosti za vse modele so prikazane v tabeli 2.

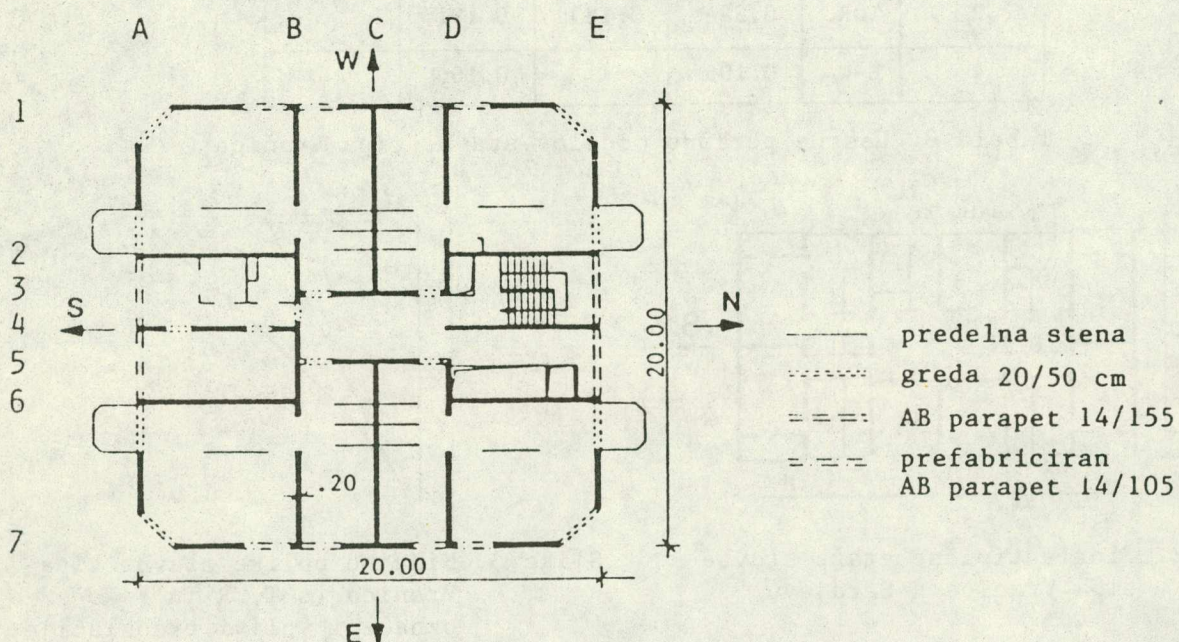
Primerjava računskih in eksperimentalnih rezultatov kaže zadovoljivo ujemanje. Pri tem je bilo treba v računskem modelu upoštevati tudi vplive, ki jih običajno zanemarimo, vendar imajo presenetljivo velik vpliv na togost objekta (okviri iz plošč in sten, elastična povezava sten, plošče kot preklade, montažni elementi). Zaznaven vpliv ima elastična vpetost konstrukcije.

smer	nihajne oblike	test	račun		
			mod. G	mod. H	mod. I
E-W	1	0.704	0.596	0.740	0.695
	2	0.180	0.153	0.169	0.163
N-S	1	0.694	0.607	0.749	0.699
	2	0.182	0.153	0.169	0.164
TOR.	1	0.641	0.653	0.663	0.657
	2	0.215	0.174	0.184	0.178

Tabela 1. Lastne periode modelov stavbe tipa Industrogradnja

MODEL		A	B	C	D	E	F	G	H	I
smer	E-W	13	30	54	59	59	100	100	65	73
	N-S	14	21	37	45	74	74	100	66	74
	TOR.	5	7	45	48	55	62	100	97	99

Tabela 2. Ekvivalentne togosti modelov stavbe tipa Industrogradnja



Slika 1. Tloris tipične etaže stavbe tipa Industrogradnja v Zagrebu

3.0 STAVBA TIPa "VRANICA" V SARAJEVU

Stavba tipa "Vranica" s tipičnim tlorisom po sliki 2 je visoka približno 30 m in ima klet in 9 etaž. Stene kleti (debelina 25 cm) in plošča nad kletjo so monolitne. Zgornji del konstrukcije je grajen po velikopanelnem sistemu. Debelina sten znaša 15 cm. Tudi medetažne plošče so grajene iz panelov, pri čemer po dve sosednji plošči nista povezani z mozniki. Predelne in fasadne stene so iz lahkih elementov debeline 5-7 cm. Stavba je temeljena na pilotih. Medtem ko je sama konstrukcija skoraj simetrična, je temeljenje zaradi nesimetričnih tal nesimetrično. Test z vsiljenimi vibracijami je bil izvršen na praktično gotovi stavbi.

Stavba je računsko analizirana v prečni (E-W) smeri. Predpostavljeno je monolitno obnašanje, to pomeni togo povezavo med posameznimi paneli. Uporabljeni so trije računski modeli. Stene so računan kot konzole T ali I preseka.

Model A. Model s togimi ploščami (v svoji ravnini) in s togo vpetostjo v tla.

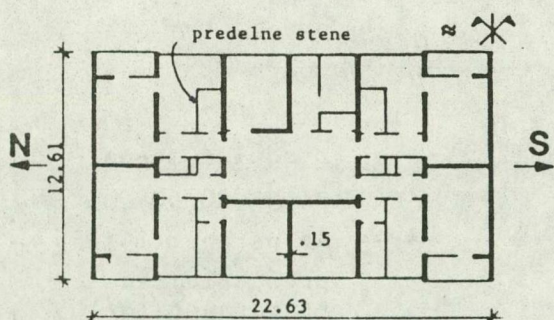
Model B. Upoštevana je podajnost plošč v njihovi ravnini. Tega modela ni mogoče računati s programom EAVEK. Uporabljen je program SABFLES [4].

Model C. Model A z upoštevanjem elastične vpetosti v tla. Zaradi kompliciranega temeljenja s piloti in zaradi nepopolnih podatkov togosti vzmeti niso računan iz dostopnih podatkov. Določene so na podlagi rezultatov testa, tako da se računski in izmerjeni osnovni perioda ujemata.

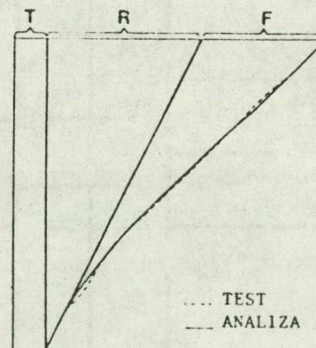
Primerjava rezultatov je prikazana v tabeli 3 (nihajni časi) in na slikah 3 in 4 (nihajne oblike). Razviden je zelo velik vpliv interakcije med konstrukcijo in tlemi. Četrto nihajno obliko zaradi izrazito podolgovatega tlorisa, pa tudi zaradi montažne izvedbe medetažnih plošč, povzroča podajnost medetažnih plošč v njihovi ravnini. Te nihajne oblike s programom EAVEK, ki predpostavlja toge plošče, ni mogoče dobiti. Od številnih okoliščin je odvisno, ali taka nihajna oblika pomembno vpliva na odziv konstrukcije.

nihajna oblika	smer	test	mod. A	mod. B	mod. C
1	E-W	0.384	0.200	0.202	0.384
2	TOR.	0.384	0.183	0.191	
4	E-W	0.105		0.106	

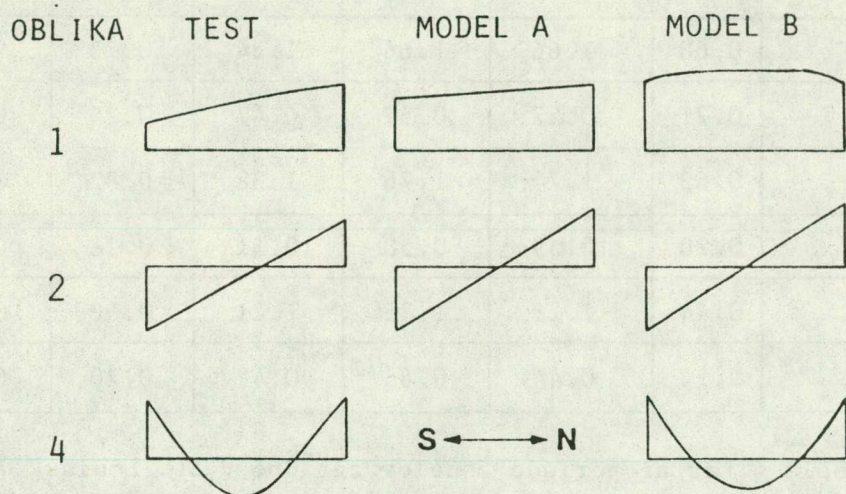
Tabela 3. Lastne periode modelov stavbe tipa Vranica



Slika 2. Tloris tipične etaže stavbe tipa Vranica v Sarajevu



Slika 3. Nihajne oblike stavbe tipa Vranica (s T, R in F so označeni vplivi translacije in rotacije temeljev ter podajnosti konstrukcije)



Slika 4. Horizontalne nihajne oblike stavbe tipa Vranica

4.0 STAVBA V ST-LOUISU

Tloris tipične etaže 11-etažne stavbe je prikazan na sliki 5, shema okvirne nosilne konstrukcije pa na sliki 6. Okviri so deloma zapolnjeni z zidanimi polnili in obloženi z zidano oblogo v vseh etažah, razen v pritličju. Test je bil izvršen s pomočjo vsiljenih vibracij.

V računu je upoštevano pet računskih modelov. Ker so testni rezultati pokazali, da ni nobenega praktičnega vpliva elastične vpetosti v tla, je v vseh modelih upoštevana toga vpetost v tla.

Model A. Čista okvirna konstrukcija, računana kot prostorski okvir s programom SAP IV.

Model B. Čista okvirna konstrukcija, računana s psevdo-tridimenzionalnim modelom s programom EAVEK.

Model C. Kot model B, le da so upoštewane sodelujoče širine plošče pri gredah ter bolj natančen model okvira Y2.

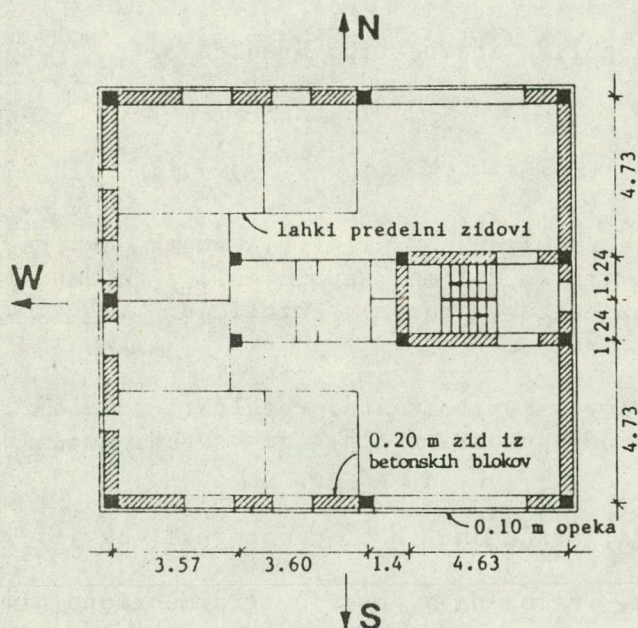
Model D. V modelu C so dodatno upoštevana polnila (modelirana z ekvivalentnimi diagonalami).

Model E. V model D je vključen vpliv togosti stopnic.

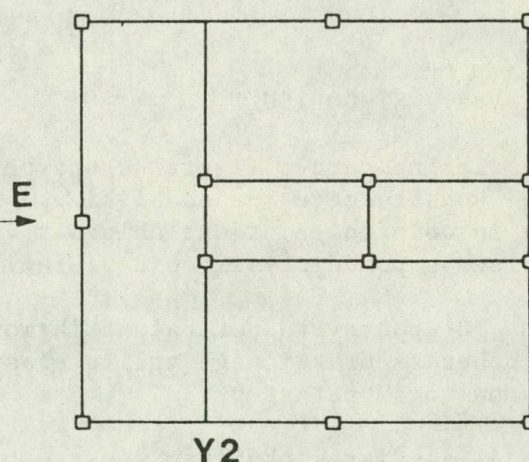
Rezultati so prikazani v tabeli 4. Primerjava modelov A in B kaže, da ni praktično nobene razlike v rezultatih med pravim tridimenzionalnim modelom in psevdo-tridimenzionalnim modelom, ki je bistveno enostavnejši in omogoča ekonomičnejšo pripravo podatkov in račun. Izjemno velik pa je vpliv tako imenovanih "nekonstruktivnih elementov" (polnil). Teh elementov seveda z enostavnimi modeli (diagonalami) ni mogoče povsem natančno zajeti, zato obstajajo določene razlike med testnimi in računskimi rezultati, ki bi jih bilo mogoče s povečanjem togosti ekvivalentnih diagonal še zmanjšati. Iz rezultatov je razvidno, da predstavlja čista okvirna konstrukcija le majhen del (ekvivalentne) togosti celotne konstrukcije (20 do 30 %).

smer	niha jne oblike	test	mod. A	mod. B	mod. C	mod. D	mod. E
E-W	1	0.68	1.66	1.66	1.34	0.73	0.70
	2	0.21	0.57	0.57	0.47	0.25	0.23
N-S	1	0.63	1.74	1.76	1.38	0.82	0.80
	2	0.20	0.59	0.58	0.51	0.28	0.27
TOR.	1	0.44	1.29	1.35	1.21	0.60	0.60
	2	0.14	0.44	0.45	0.42	0.20	0.20

Tabela 4. Lastne periode modelov zgradbe v St. Louisu



Slika 5. Tloris tipične etaže
Stavbe v St. Louisu

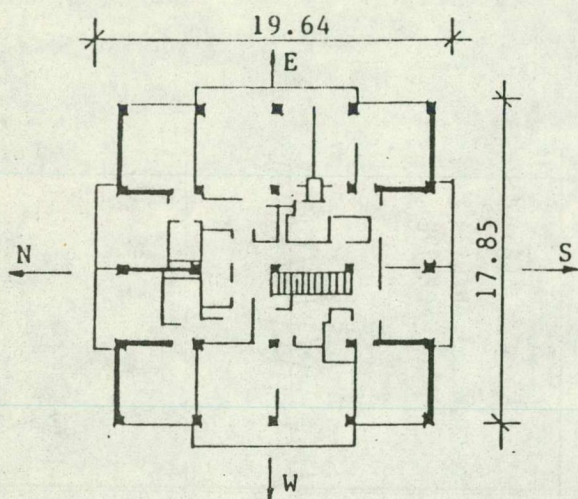


Slika 6. Shema konstrukcije
stavbe v St. Louisu

5.0 STAVBA TIPA IMS V BANJI LUKI

Tloris tipične etaže 14-nadstropne stavbe je prikazan na sliki 7. Stavba je grajena po IMS sistemu. Nosilna konstrukcija je sestavljena iz montažnih stebrov in medetažnih plošč. Horizontalno obtežbo prevzemajo predvsem monolitne stene. "Nekonstruktivne elemente" predstavljajo prefabricirani parapeti, fasadni elementi, stopnice, lahke predelne stene in zidan jašek za dvigalo.

Dva testa z vsiljenimi vibracijami sta bila izvršena na čisti konstrukciji in na skoraj gotovi konstrukciji (z vgrajeno večino nekonstruktivnih elementov). Na zgradbi so montirani akcelorografi, ki so med potresom v Banji Luki leta 1981 registrirali časovne poteke pospeškov v kleti, v 7. in v 13. etaži. Po potresu so bile opažene le manjše poškodbe, predvsem na terasi. Eno leto po potresu je bil izvršen test z ambientnimi vibracijami. Mase stavbe so bile različne v času različnih testov. Ocenjeno je, da so mase med prvim in drugim testom (pred potresom) znašale 59 oziroma 81 % mas v fazi uporabe (med potresom in med zadnjim testom).



Slika 7. Tloris tipične etaže stavbe tipa IMS v Banja Luki

V matematičnem modelu konstrukcije so upoštevane stene kot konzole Γ preseka (s celotno sodelujočo širino prečnih sten). Upoštevani so tudi okviri, ki jih tvorijo toga povezani stebri in plošče. Pri računu vztrajnostnih momentov ekvivalentnih gred so upoštevane plošče na širini celotnega polja. Doprinos okvirov k ekvivalentni togosti stavbe znaša okrog 10 % v smeri E-W in okrog 50 % v smeri N-S. Elastična vpetost v tla ni upoštevana, saj so eksperimentalni rezultati pokazali le minimalen vpliv elastične vpetosti. Nekonstruktivni elementi so upoštevani pri simulaciji drugega testa in pri simulaciji odziva med potresom s pomočjo dodatnega ekvivalentnega strižnega elementa (konzola s strižnimi deformacijami ali okvir s togimi prečkami). Togost tega elementa je določena tako, da se merjeni in računski rezultati čim bolj ujemajo.

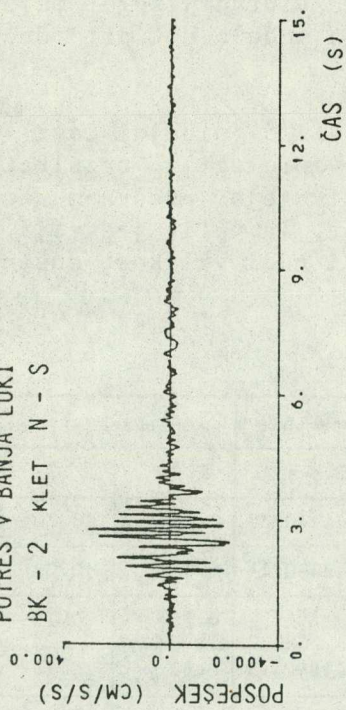
V primeru drugega testa doprinos nekonstruktivnih elementov k ekvivalentni togosti znaša okrog 40 % v smeri in okrog 30 % v E-W smeri. V primeru potresa, kjer so bile amplitude vibracij večje, doprinos nekonstruktivnih elementov in togosti znaša le 8 in 18 % celotne ekvivalentne togosti v N-S in E-W smeri. Obnašanje stavbe med potresom je bilo praktično linearno, čeprav je na določenih mestih konstrukcije prišlo tudi do manjših nelinearnih deformacij. Pri ambientnih vibracijah po potresu, kjer so bile amplitude vibracij zelo majhne, je dosežena dobra korelacija rezultatov s pomočjo enakega modela kot pri drugem testu, le da je upoštevana večja masa.

Nekateri merjeni in izračunani rezultati so zbrani v tabeli 5 (nihajni časi) in v sliki 8 (časovni potek odziva). Vidna je dobra korelacija rezultatov. Rezultati, dobljeni med različnimi testi, se razlikujejo predvsem zaradi različnih mas in zaradi vpliva nekonstruktivnih elementov. Ta vpliv je večji pri manjših amplitudah vibracij. Od amplitude vibracij zavisi tudi velikost dušenja, ki se večja z naraščanjem amplitud (tabela 5).

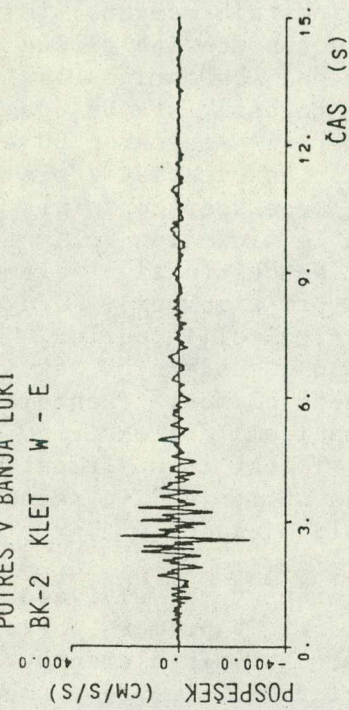
		Test 1 pred potr.		Test 2 pred potr.		Potres v Banja Luki		Test po potr.	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
TEST	E-W	0.75	0.14-0.16	0.73-0.77	0.18	1.00-1.02	0.21-0.23	0.78	0.20
	N-S	0.79-0.80	0.20	0.72-0.77	0.20-0.21	1.10	0.23-0.24	0.82	0.22
	Tor	0.70	0.16	0.64-0.67	0.16-0.17			0.71	0.17
ANALIZA	E-W	0.79	0.14	0.75	0.16	0.94-1.03	0.18-0.19	0.83	0.18
	N-S	0.86	0.18	0.76	0.19	1.07-1.12	0.24-0.26	0.84	0.21
	Tor	0.66	0.12	0.63	0.13			0.70	0.14
Dušenje		1 %		2 %		3.5 %			

Tabela 5. Lastne periode in dušenja modelov zgradbe tipa IMS

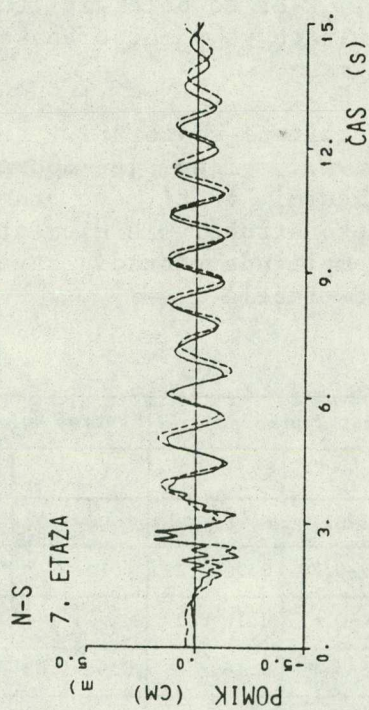
POTRES V BANJA LUKI
BK - 2 KLET N - S



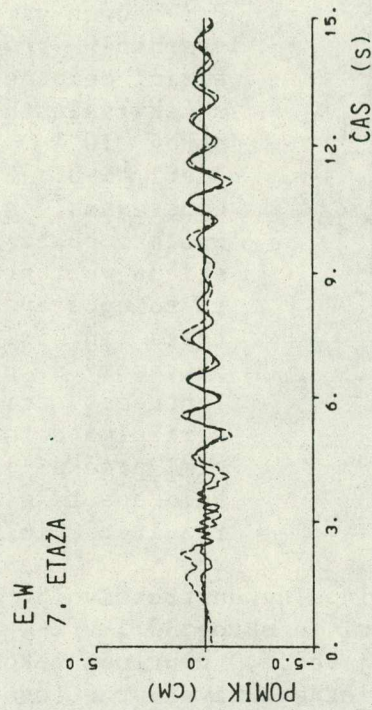
POTRES V BANJA LUKI
BK-2 KLET W - E



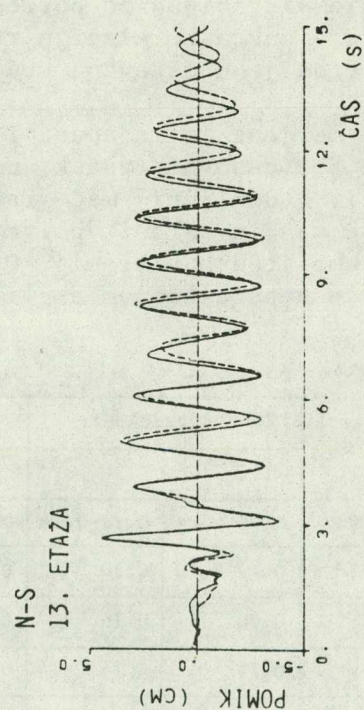
N-S
7. ETAŽA



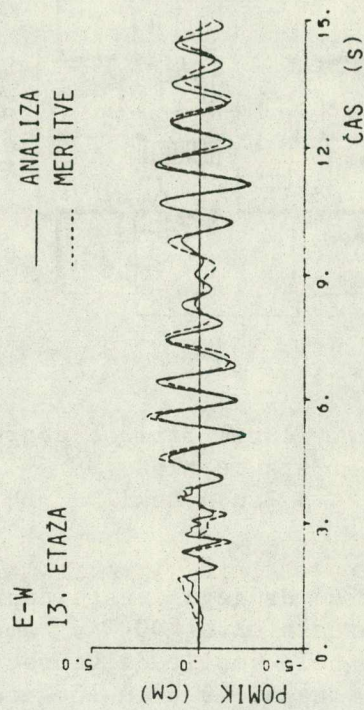
E-W
7. ETAŽA



N-S
13. ETAŽA



E-W
13. ETAŽA



— ANALIZA
- - - MERITVE

Slika 8. Akcelorograma potresa v Banja Luki in časovni poteki odziva

6.0 ZAKLJUČKI

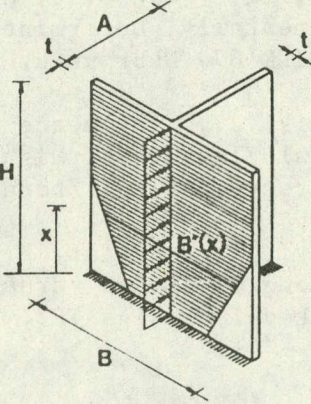
Na podlagi prikazanih eksperimentalnih in računskih rezultatov je mogoče dobiti naslednje zaključke:

1.) Z modelom, ki ga uporablja program EAVEK, je mogoče za veliko večino stavb dovolj natančno določiti dinamične karakteristike in časovni odziv pri manjših in zmerno močnih potresih, kjer ne pride do pomembnega nelinearnega obnašanja konstrukcije. Neupoštevanje osne kompatibilnosti stikajočih se elementov, ki so nosilni v različnih smereh, običajno nima pomembnega vpliva. Z modelom ne moremo zajeti nihajnih oblik, ki nastanejo zaradi deformacij plošč v horizontalni ravnini. Ta vpliv je lahko pogojno pomemben pri nizkih stavbah z zelo razpotegnjenim tlorisom. Pri nizkih in togih stavbah je pomembna elastična vpetost v temeljna tla. V trenutni verziji programa EAVEK je elastično vpetost mogoče upoštevati z uvedbo fiktivne spodnje etaže, ki ji predpišemo ustrezne karakteristike.

2.) Togost konstrukcije je odvisna od amplitud vibracij. Razlike se pojavijo že v elastičnem področju, kjer testi z različnimi amplitudami dajejo različne rezultate. Z večanjem amplitud se togost manjša, dušenje pa večja. To je predvsem posledica odvisnosti vpliva nekaterih nekonstruktivnih elementov od velikosti vibracij. Sprememba togosti je seveda še bistveno večja med močnimi potresi, ko pride do poškodb konstrukcije in s tem do nelinearnih deformacij. Tega pojava v tem članku ne obravnavamo. Linerarna analiza ne dopušča spreminjanja togosti, zato je treba v modelu zajeti neko povprečno togost stavbe.

3.) Pri zelo majhnih amplitudah vibracij je pomemben vpliv večine nekonstruktivnih in montažnih elementov. Dobro korelacijo z eksperimenti dobimo le, če upoštevamo v modelu konstrukcije vse te vplive.

4.) Pri amplitudah, ki dosegajo velikostni red meje elastičnosti, se vpliv večine nekonstruktivnih elementov zmanjša, zelo pomemben pa ostane predvsem vpliv zidanih polnil pri okvirnih konstrukcijah, ki jih lahko modeliramo z ekvivalentnimi diagonalami. V literaturi so podane razne formule za določitev togosti diagonal. Najenostavnejši način je upoštevanje diagonalnega pasu polnila, ki ima širino enako četrtini dolžine. Pri modeliranju konstruktivnih elementov ne smemo zanemariti sodelujočih širin (predvsem pri stenah, pa tudi pri ploščah), prečk, ki povezujejo stene (večkrat je pomembna tudi povezava samo s ploščo) ter okvirov, ki jih tvorijo plošče in stene, pravokotno na svojo ravnino, ali stebri. Pri računu sodelujoče širine sten je ustrezna formula po sliki 9 [5], pri čemer se v praksi največkrat ne upošteva večanje sodelujoče širine z višine stavbe.


$$\frac{B'}{B} = \frac{0.6}{B/H + 0.5} + 1.5 \frac{x}{H} \leq 1.0$$

Slika 9. Sodelujoča širina sten v visokogradnji

5.) V praksi se, v skladu s predpisi, elastična analiza uporablja tudi za projektiranje običajnih stavb pri najmočnejših potresih, ki bodo nedvomno povzročili poškodbe konstrukcije. Namen take zelo približne analize je, da zagotovimo ključnim nosilnim elementom v stavbi ustrezno nosilnost. Iz tega razloga v modelu največkrat upoštevamo samo najbolj bistvene elemente. Pri tem po našem mnenju ne bi smeli zanemariti vplivov, navedenih v točki 4, saj bi na

ta račun zelo verjetno dobili napačno razporeditev obremenitev na posamezne bistvene nosilne elemente. Izjemo pri tem predstavljajo okviri, ki jih tvorijo tanke stene (ali stebri) in tanke plošče, ki pri močnih potresih zaradi poškodb v vozliščih kmalu zgubijo svojo togost in nosilnost.

Na koncu je treba poudariti, da je bila v večini primerov zelo dobra korelacija rezultatov dosežena ob delnem upoštevanju rezultatov testa. To po eni strani dokazuje ustreznost izbranega relativno enostavnega psevdo-tridimenzionalnega modela, po drugi strani pa opozarja, da je v fazi projektiranja, ko testnih rezultatov ni na razpolago, mogoče modelirati dinamično obnašanje večine stavb samo približno.

ZAHVALA

Rezultati, zbrani v tem članku, so bili dobljeni med dolgoletnim raziskovalnim delom, pri katerem so poleg avtorja sodelovali tudi njegovi sodelavci. Večji del raziskav je financirala Raziskovalna skupnost Slovenije, nekatere raziskave pa so bile vključene v skupne jugoslovansko-ameriške projekte.

LITERATURA

1. Fajfar, P., EAVEK, Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij, Publikacija IKPIR FAGG št. 13, Univerza EK v Ljubljani, 1987 (3. izdaja).
2. Fajfar, P., Godec, M., Primerjava numeričnih in eksperimentalnih rezultatov za lastno nihanje treh armiranobetonskih zgradb, Publikacija IKPIR FAGG št. 24, Univerza EK v Ljubljani, 1982.
3. Fajfar, P., Čaušević, M., Jiang, Y., Comparison of Analytically and Experimentally Determined Dynamic Behaviour of a Multistory RC Building, EUROBUILD 87, Dubrovnik, Zbornik del, str. 134-139, 1987.
4. Duhovnik, J., Influence of Flexibility of Floor-Slabs on the Loading of Vertical Elements of High-Rise Buildings, 7. evropska konferenca o potresnem inženirstvu, Atene, Zbornik del, Vol. 3, str. 463-470, 1982.
5. Szilagyí, J., Fajfar, P., Sodelujoča širina konzolnega nosilca T-profila. VII. kongres Zveze društev gradbenih konstrukterjev Jugoslavije, Cavtat, Zbornik del, knjiga TR3, str. 133-140, 1983.

