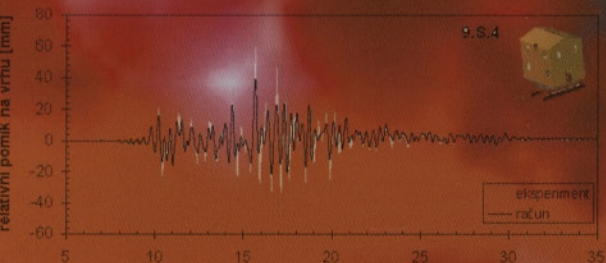


# GRADBENI VESTNIK

GLASILO  
ZVEZE DRUŠTEV  
GRADBENIH  
INŽENIRJEV  
IN TEHNIKOV  
SLOVENIJE

Poština plačana pri  
pošti 1102 LJUBLJANA

## NOVEMBER 2001



1951  
2001



**Glavni in odgovorni urednik:**

Prof.dr. Janez **DUHOVNIK**

**Lektorica:**

Alenka **RAIČ - BLAŽIČ**

**Tehnični urednik:**

Danijel **TUDJINA**

**Uredniški odbor:**

Doc.dr. Ivan **JECELJ**

Andrej **KOMEL**, u.d.i.g.

Mag. Gojmir **ČERNE**

Prof.dr. Franci **STEINMAN**

Prof.dr. Miha **TOMAŽEVIČ**

Janja **PEROVIC-MAROLT**, u.d.i.g.

**Tisk:**

**TISKARNA LJUBLJANA** d.d.

Količina: 900 izvodov

Revijo izdaja ZVEZA DRUŠTEV GRAD-BENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, Ljubljana, Karlovska 3, telefon/faks: 01 422-46-22, ob finančni pomoči Ministrstva RS za znanost in tehnologijo, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter Zavoda za gradbeništvo Slovenije.

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5000 SIT; za študente in upokojece 2000 SIT; za gospodarske naročnike (podjetja, družbe, ustanove, obrtnike) 40500 SIT za 1 izvod revije; za naročnike v tujini 100 USD. V ceni je všteti DDV.

Žiro račun se nahaja pri Agenciji za plačilni promet, Enota Ljubljana, številka: 50101-678-47602.

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.

2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.

3. Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.

4. Besedilo mora biti izpisano z dvojnimi presledki med vrsticami.

5. Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.

6. Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka (velike črke); imena in priimke avtorjev; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, naslov članka v angleščini (velike črke) in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.

7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.

8. Slike, preglednice in fotografije morajo biti oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Slike in fotografije, ki niso v elektronski obliki, morajo biti priložene prispevku v originalu in dveh kopijah.

9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.

10. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki [priimek

prvega avtorja, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.

11. V poglavju LITERATURA so dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime avtorja, priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.

12. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.

13. Pod črto na prvi strani, pri prispevkih, krajših od ene strani pa na koncu prispevka, morajo biti navedeni obsežnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, naslov.

14. Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v treh izvodih in v elektronski obliki (WORD, EXCEL, AVTOCAD, DESIGNER).

Uredniški odbor



## VSEBINA - CONTENTS

### JUBILEJ

Stran 254  
Gorazd Humar

#### **SVETKO LAPAJNE - 90 LETNIK**

Stran 255  
Janez Reflak

**30 LET INŠTITUTA ZA KONSTRUKCIJE,  
POTRESNO INŽENIRSTVO  
IN RAČUNALNIŠTVO** na Fakulteti za  
gradbeništvo in geodezijo Univerze v  
Ljubljani

Članki, študije, razprave  
Articles, studies, proceedings

Stran 260  
Bruno Dujič, Roko Žarnić

**MODELIRANJE IN IZRAČUN  
DINAMIČNEGA ODZIVA LESENIH  
OKVIRNIH KONSTRUKCIJ NA  
POTRESNO OBTEŽBO**

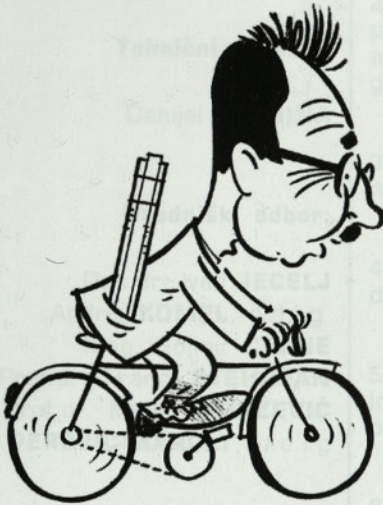
**MODELLING AND CALCULATION OF  
DYNAMIC RESPONSE OF WOODFRAME  
STRUCTURES ON EARTHQUAKE  
EXCITATION**





## JUBILEJ

# SVETKO LAPAJNE - 90 letnik



*Svetko Lapajne*

Visok življenjski jubilej praznuje Svetko Lapajne, eden najboljših slovenskih gradbenih statikov, diplomirani inženir gradbeništva in upokojeni profesor gradbene mehanike in statike na Fakulteti za arhitekturo Univerze v Ljubljani. Svetko Lapajne je človek, ki se na svoje bogato življenjsko delo lahko ozira s ponosom. Poleg tega, da je s skrivnostmi statike uspešno seznanjal številne generacije slovenskih arhitektov, pa njegovo življenje bogati izredno ustvarjalno delo pri projektiranju številnih gradbenih konstrukcij, mostov še prav posebej. Svetko Lapajne je prav gotovo gradbenik z izrednim naravnim občutkom za pravilno, gospodarno in estetsko oblikovanje gradbenih konstrukcij, pri čemer mu je bilo vedno v pomoč njegovo bogato in široko teoretično znanje s področja gradbene mehanike in statike.

Svetko Lapajne, ki je bil rojen 31. oktobra 1911 v pravniški družini, se je že v mladih letih odločil za poklic gradbene inženirja. Po diplomah, opravljeni leta

1935 iz gradbeništva na Univerzi v Ljubljani in začetnem delu v Planici, kjer je Stanku Bloudku pomagal pri izmeri skakalnic, se je pričela njegova bogata poklicna kariera diplomiranega gradbenega inženirja. Leta 1941 jo je začasno prekinila druga svetovna vojna, med katero je nekaj časa prebil kot vojni ujetnik v ujetništvu najprej nemške vojske in nato januarja leta 1943 po aretaciji, ko ga je zajela bela garda, še kot ujetnik italijanske vojske. Po kapitulaciji Italije je odšel v partizane in konec vojne dočakal v Beogradu, kamor je prišel v službo na vojnem ministrstvu.

Povojna in kasnejša leta je poučeval predmeta Gradbena mehanika in Zasnova konstrukcij na Fakulteti za arhitekturo v Ljubljani. Istočasno se je intenzivno ukvarjal s teoretičnim raziskovalnim delom in leta 1949 objavil knjigo o uporabi Crossove metode pri statičnem računu gradbenih konstrukcij. Knjiga je v bivši Jugoslaviji naletela na izredno širok odziv prav zaradi svoje uporabnosti in praktičnosti pri reševanju velikega števila problemov gradbene statike.

Največja ljubezen inženirja Svetka Lapajne pa so bili prav gotovo mostovi, posebej ločni oz. svodni mostovi. Pri tem delu ga je brez dvoma vodilo Bloudkovo načelo, da je treba graditi preprosto in dobro. To načelo je uspešno upošteval pri zasnovi večine od vsaj 80 zgrajenih mostov v Sloveniji in 14 mostov v švicarskem Valaisju. Med najbolj znana njegova dela spada prav gotovo 180 m dolgi

Stiški viadukt na nekdanji avtocesti Ljubljana - Zagreb, ki se je zaradi svoje enostavne in estetske rešitve znašel na poštni znamki Jugoslavije. Zanimiva je tudi rešitev premostitve Karlovške ceste v Ljubljani z ločnim mostom pod obstoječimi hišami, ki jo je izdelal v sodelovanju z arhitektom Borisom Kobetom. Njuno skupno delo je tudi spomenik slovenskim žrtvam nacizma v Gradcu, ki ga predstavlja 20 m dolga ločna konstrukcija iz pohorskega tonalita. Še in še bi lahko naštevali številne in uspele projektne rešitve ne samo mostov, pač pa tudi številnih drugih gradbenih objektov, ki so delo inženirja Svetka Lapajne.

Kljub temu da je šel Svetko Lapajne skozi nekaj tudi grenkih življenjskih izkušenj, lahko rečemo, da ga je vse življenje odlikovala izredna delavnost in ustvarjalnost, oplojena z izrednim naravnim občutkom za snovanje najzahtevnejših gradbenih konstrukcij.

Njegov sicer skromni stil življenja so bogatili izleti v gore, saj je znan kot grizen hribolazec, ne bo pa prav nič čudnega, če ga pri njegovi častitljivi starosti 90 let še vedno srečate na kolesu, njegovem priljubljenem prevoznem sredstvu po Ljubljani.

Slovenski gradbeni inženirji želimo svojemu kolegu Svetku Lapajnetu še veliko čilih in zdravih let.



## JUBILEJ

# 30 LET INŠTITUTA ZA KONSTRUKCIJE, POTRESNO INŽENIRSTVO IN RAČUNALNIŠTVO na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani

UDK 06.09 : 061.6 IKPIR

JANEZ REFLAK

Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR) je bil ustanovljen dne 27. 10. 1971 pod imenom Računski center Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo kot interni inštitut fakultete za potrebe pedagoškega, znanstveno-raziskovalnega in strokovnega dela. V prvih letih delovanja je skrbel predvsem za vzgojo kadrov in za razvoj nujno potrebne programske opreme na področju gradbeništva, delno pa tudi za računalniško opremljenost fakultete.

Jeseni leta 1980 se je preimenoval v Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, kar je odražalo novo vsebino in obseg dejavnosti inštituta na treh poglavitnih področjih, ki jih je v teh letih pokrival pedagoško, raziskovalno in strokovno. V 30 letih se je razvil v najmočnejšo pedagoško raziskovalno enoto na fakulteti, tako po številu sodelavcev kot po številu opravljenih raziskovalnih projektov in objavljenih del. Od leta 2001 dalje v okviru IKPIR-a raziskovalno in strokovno delajo člani Katedre za konstrukcije in potresno inženirstvo in Ka-

tedre za gradbeno informatiko, ki odslej skrbita za pedagoško delo.

### RAZISKOVALNA IN RAZVOJNA DEJAVNOST

Sodelavci IKPIR delujejo predvsem na treh področjih, ki so razvidna iz njegovega naziva in so podrobneje predstavljena v nadaljevanju.

Dejavnost na področju konstrukcij obsega raziskave metod za projektiranje konstrukcij, razvoj računalniških programov in njihovo uvajanje v prakso.

Na področju potresnega inženirstva je inštitut dosegel mednarodni nivo in priznanja pri razvoju novih metodologij projektiranja potresno odpornih konstrukcij stavb, mostov in industrijskih objektov. Doma pa je odločilno vplival na dvig ravni projektantske prakse in regulative na področju potresnega inženirstva. Intenzivna raba računalnika pri raziskovalnem delu je v novejšem času spodbudila raziskave splošnejših problemov rabe računalnika v gradbeništvo. Po-

dročje gradbene informatike obsega računalniško integrirano gradnjo, posredovanje informacij in upravljanje z informacijsko tehnologijo.

V preteklih letih je bilo opravljenih več kot 140 zahtevnih in obsežnih raziskovalnih in razvojnih projektov, objavljenih je bilo več sto člankov in referatov doma in v tujini. Izdanih je bilo prek 50 publikacij.

### Konstrukcije - računalniško projektiranje konstrukcij

Sodelavci Inštituta so na začetku svojega delovanja preučevali sodobne metode analize konstrukcij, vključno z metodo končnih elementov. To je omogočalo uvajanje metode končnih elementov v študijski program, razvoj lastnih računalniških programov in uvajanje teh ter tujih računalniških programov za analizo konstrukcij v vsakdanjo prakso projektantov gradbenih konstrukcij. V tem času so bili razviti splošni programi za račun linijskih konstrukcij, plošč in konstrukcij stavb ter

*Avtor:*

doc. dr. Janez Reflak, univ. dipl. inž. grad., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Jamova 2, 1000 Ljubljana



posebni programi za račun montažnih betonskih konstrukcij.

V začetku osemdesetih let je razvoj računalniške grafike omogočil uporabo računalnikov tudi pri tistih delih procesa projektiranja, ki so bili do takrat izvedljivi le s klasičnimi metodami. Na inštitutu so bili raziskani postopki računalniškega projektiranja armature in razviti programi, katerih rezultat so bili armaturni načrti za montažne elemente, plošče, stene in okvirne konstrukcije. Rezultati teh programov so bili neposredno uporabni tudi za planiranje in vodenje proizvodnje v železokrivnicah. Večini obstoječih programov so bili dodani posodobljeni grafični pred- in poprocesorji. V drugi polovici osemdesetih let so začeli z raziskavami ekspertnih sistemov na področju tehniških predpisov.

Kot nadaljevanje raziskav postopkov za projektiranje armature so raziskovali možnosti za robotizirano sestavljanje armature. Procese sestavljanja so preučevali z uporabo programov za simulacijo robotiziranih procesov, ki omogočajo oceno izvedljivosti in gospodarnosti robotskih sistemov.

Vključeni so bili v programa TEMPUS in ESPRIT, ki jih je financirala Evropska unija.

## Konstrukcije - nelinearna numerična analiza

Konec osemdesetih let so na Inštitutu začeli izvajati raziskovalne projekte na področju nelinearne numerične analize konstrukcij in industrijskih procesov. To je omogočilo uveljavitev Inštituta v novih okoljih. Izvajajo temeljne raziskave nelinearnih numeričnih postopkov, razvijajo računalniške programe ter sodelujejo pri reševanju zahtevnih praktičnih inženirskih nalog.

Med drugim so bili razviti različni nelinearni numerični modeli ter programska oprema za nelinearno analizo konstrukcij,

za analizo interakcije tekočina-konstrukcija ter za nelinearno nestacionarno analizo prehoda toplote in termomehanskih problemov. Poleg različnih nelinearnih modelov za opis mehanskega obnašanja materialov, kot so elastoplastični, elastoviskoplastični ter realni model za beton (ki upošteva razpoke v nategu in porušitev v tlaku), je bil izpeljan tudi model za gumaste materiale in elastomere. Razvijali so tudi model za realni nelinearni opis obnašanja armiranega betona, ki je primeren za analize zahtevnih konstrukcij, kot so npr. hladilni stolpi, dimniki, industrijske hale, mostovi itd. V zadnjem času so izpeljali nove modele in postopke za statično in dinamično analizo tankostenskih konstrukcij, ki omogočajo natančno nelinearno analizo tankih lupin, debelih lupin in kompozitnih laminatov.

Razviti nelinearni numerični modeli omogočajo analizo širokega spektra različnih nalog, ki jih z uporabo standardnih linearnih modelov ni mogoče rešiti ali pa so rešitve premalo natančne.

## Potresno inženirstvo

Potresno inženirstvo je veda, ki se ukvarja z vplivom potresa na gradbene objekte in opremo ter preučuje njihovo odpornost proti potresom. Reševanje problemov s področja potresnega inženirstva zahteva interdisciplinarni pristop, pri čemer so najpomembnejša znanja s področja teorije konstrukcij in konstruktorstva, posebno tesna pa je povezava z inženirsko seizmologijo. Pod vplivom potresa pride do nelinearnih cikličnih deformacij konstrukcij, zato zahteva potresno inženirstvo dobro poznavanje obnašanja materialov in konstrukcij do meje njihove nosilnosti in deformabilnosti. Potresno inženirstvo je torej veda, ki utira pot k napredku na področju gradbenih konstrukcij.

Raziskave na področju potresnega inženirstva potekajo od samega začetka delovanja IKPIR-a. Najprej so bile omejene na elastično analizo konstrukcij stavb. Kot rezultat tega dela je nastal znani program

EAVEK, ki je še danes, v nekoliko dopolnjeni in spremenjeni obliki, nepogrešljivo orodje pri projektiranju konstrukcij stavb. Kasneje se je področje raziskav razširilo na nelinearno analizo konstrukcij stavb, neelastične spektre odziva, določanje potresnih obremenitev, energijske metode, predpise o potresno odporni gradnji, metodologije potresno odpornega projektiranja, analizo in projektiranje mostov ter računalniška orodja za podporo potresno odpornemu projektiranju.

Raziskovalci IKPIR-a so se uveljavili doma in se dejavno vključili v svetovne tokove razvoja potresnega inženirstva, pri čemer dosegajo mednarodno odmevne rezultate. O tem pričajo številni članki v mednarodnih revijah, vabila na položaj gostujočih profesorjev in za predavanja na najbolj znanih tujih univerzah (med njimi Univerza v Stanfordu, McMaster Univerza v Hamiltonu, ETH v Zürichu, Technion v Haifi, Tsinghua Univerza v Pekingju) in na mednarodnih konferencah, članstva v uredniških odborih mednarodnih revij (med njimi Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Journal of Earthquake Engineering) in v znanstvenih odborih mednarodnih konferenc, članstva v delovnih skupinah mednarodnih strokovnih organizacij in mednarodnih uradov za standardizacijo ter številna domača in tuja priznanja (med njimi članstvo v SAZU in najpomembnejša državna nagrada za raziskovalno delo). Raziskovalci IKPIR-a so bili in so vključeni v številne bilateralne in multilateralne mednarodne projekte, med katerimi so najpomembnejši skupni projekti z univerzama v Berkeleyju in Stanfordu v ZDA in s Tokijsko univerzo ter projekti, ki jih v okviru INCO-Copernicus programa, TEMPUS programa in 5-okvirnega programa financira Evropska unija. Zelo odmevni sta bili mednarodni delavnici, ki ju je IKPIR organiziral skupaj z Univerzo v Stanfordu na Bledu leta 1992 in leta 1997 in katerih so se udeležili najvidnejši znanstveniki in strokovnjaki s področja potresnega inženirstva iz celega sveta. Raziskovalna skupina ima formalne ali neformalne stike z



večino pomembnih centrov za potresno inženirstvo v svetu.

Raziskovalna skupina hkrati s temeljnimi raziskavami opravlja tudi aplikativne in razvojne raziskave, rezultate pa v obliki predpisov, seminarjev, razvojnih projektov ter prek mladih raziskovalcev in študentov uspešno prenaša v prakso.

## Gradbena informatika

Glavni cilj gradbene informatike je računalniška podpora pri zagotavljanju informacij med celotno življenjsko dobo gradbenega objekta.

Že v času velikih centralnih računalnikov so bile na IKPIR-u izdelane zelo kakovostne programske knjižnice za risanje, za izdelavo uporabniških vmesnikov in za hranjenje podatkov. Posledica hitrega razvoja informacijske tehnologije je bilo uvajanje jezikov C in C++, objektnih zbirk podatkov in prijaznih uporabniških vmesnikov v programe, ki so jih pisali za osebne računalnike. Med prvimi so tako začeli uvajati objektni pristop in izkazalo se je, da je tudi za gradbeniške probleme zelo primeren. Sistematično so računalniško integrirano gradnjo raziskovali v letih 1993-95 v okviru temeljnega raziskovalnega projekta Računalniško integrirano projektiranje in gradnja armirano-betonskih konstrukcij. Vključili so se v delovno skupino mednarodne organizacije CIB, ki se ukvarja z računalniško integrirano gradnjo. Preučevali so načine za računalniški zapis predpisov, računalniško obvladovanje tehnične dokumentacije, celostne informacijske sisteme in objektivne zbirke podatkov. Inštitut je organiziral številne seminarje in kongrese v Sloveniji.

V letu 1993 so kot eden izmed prvih univerzitetnih gradbenih oddelkov (in druga ustanova v Sloveniji) začeli objavljati na Internetu. Tam so oblikovali nekaj dobro obiskanih in citiranih servisov, ki so namenjeni predvsem mednarodni skupnosti raziskovalcev in učiteljev. V letih 1994

in 1995 so v sodelovanju z ZRMK in Gradbenim centrom Slovenije pripravili jedro slovenskega tehničnega informacijskega sistema za gradbeništvo - TIGRA. Svojevrstno priznanje delu na tem področju je bila organizacija mednarodne delavnice leta 1996 na Bledu z naslovom Gradbeništvo na informacijski avtocesti in evropske konference Delo in poslovanje v gradbeništvu, ki bo leta 2002 v Portorožu. Sodelovali so v evropskih raziskovalnih projektih iz 4. okvirnega programa ToCEE (Towards Concurrent Engineering Environment 1996-1999) in kot podizvajalci v projektih CONDOR in SCE-NIC. Sodelovali so v evropskih projektih CONNET in I-SEEC (1999-2001), ki so postavili omrežje gradbenih servisov v evropskih državah. Pomemben delež imajo v raziskovalnih projektih na temo informacijske družbe (IST) iz 5. okvirnega programa: ISTforCE (Intelligent Services and Tools for Concurrent Engineering 2000-2002), ICCI (2001-2003), prodA-EC (2001-2003). Z IST projektom SciX (Open Scientific Information Exchange), kjer nastopajo kot koordinatorji, pa posegajo na področje splošne informatike. Inštitut je sodeloval tudi v številnih projektih, ki so namenjeni pospeševanju stikov med vzhodno in zahodno Evropo TEMPUS, npr. Open and Distance Learning in Technical Education. Profesorji so pedagoško delali tudi v tujini in predavali cele predmete ali posamezne tečaje na KTH v Stockholmu in ITU v Istanbulu.

## Razvojna in strokovna dejavnost ter prenosi raziskovalnih dosežkov v prakso

Inštitut je vseskozi skrbel za prenos raziskovalnih rezultatov v prakso, projektantsko in konzultantsko dejavnost ter za razvoj predpisov s področja gradbeništva (posebej je dejaven pri uvajanju novih evropskih standardov za konstrukcije Eurocode v Sloveniji). Obsežno delo je bilo opravljeno tudi pri analizi vzrokov porušitev objektov in ocenjevanju škode po potresih v Črni gori in v Sloveniji. Leta

1998 je IKPIR organiziral posebno usposabljanje projektantov (gradbenih konstruktorjev in arhitektov) za popotresno obnovo objektov v Posočju. Sodelavci so izdelali več sto zahtevnejših študij, razvojnih nalog, strokovnih projektov in revizij. Nekaj značilnih je navedenih v nadaljevanju.

## Programska oprema za projektiranje gradbenih konstrukcij (1971-2001)

Programsko opremo, razvito v IKPIR-u, uporabljajo številni projektanti gradbenih konstrukcij v Sloveniji in z njo je izračunan večji del pomembnejših stavb. Najbolj znani programi so: OKVIR, EAVEK, DIAS, MONCAD.

## Statični računi montažnih ločnih konstrukcij GORICA (1971-80)

Izdelanih je bilo več kot sto statičnih računov za objekte po vsej Jugoslaviji. Pri tem je bil uporabljen program, izdelan na Inštitutu. Rezultati programa so notranje sile, napetosti betona in temeljnih tal ter potrebna armatura.

## Stanovanjski objekti, visoki od 12-22 etaž v stanovanjskem naselju Knježevac v Beogradu (1976)

Izdelani so bili projekti za konstrukcijo stanovanjskih stavb, pri čemer so bili uporabljeni vsi razpoložljivi računalniški programi za račun konstrukcij.

## Račun konstrukcije ločnega mostu in odra v Solkanu (1981-83)

Za cestni ločni most v Solkanu so bili izdelani statični in dinamični računi. Tudi pri tem projektu so bili uporabljeni na Inštitutu razviti programi.

## Revizija gradbenih projektov Nacionalne in vseučiliščne knjižnice v Zagrebu (1983 in 1987-90)

Projektanti Tehnike in Građevinskega inštituta iz Zagreba so projektirali zahtevno konstrukcijo nove stavbe knjižnice v Zagrebu. Revizijo je sproti opravljal



IKPIR, pri čemer so pri posameznih delih konstrukcij sodelovali tudi člani drugih kateder. Ob zglednem sodelovanju projektantov in revidentov, ki so opravili številne kontrolne analize, je bilo odpravljenih več napak v projektih in danih nekaj predlogov za pomembna izboljšanja konstrukcije.

### **Razvoj velikopanelnega sistema SCT (1986-87)**

V obsežnem raziskovalno-razvojnem projektu so sodelovali SCT, ZRMK in IKPIR. Rezultat razvoja je bil velikopanelni sistem, ki je primeren za gradnjo na močnih potresnih območjih. Z njim je v Ljubljani zgrajenih več kot 1000 stanovanj.

### **Numerična analiza nosilnosti hladilnega stolpa bloka 5 (stolp 4 višine 80 m) v TE Šoštanj (1995)**

### **Numerična nelinearna termomehanska analiza 150 m visokega dimnika bloka 4 v TE Šoštanj (1996)**

V analizi nosilnega hladilnega stolpa so določili kritična mesta za sanacijo konstrukcije na osnovi dejanske geometrije in stanja konstrukcije stolpa. V nelinearni analizi dimnika je bilo potrebno ugotoviti vzroke razpok ter izbrati ustrezne rešitve sanacije dimnika.

### **Seizmična analiza viadukta Reber (1990)**

Leta 1990, ko še ni bilo na razpolago ustreznih domačih predpisov, sta bila opravljena seizmična analiza in dimenzioniranje armiranobetonskega viadukta na novem delu avtoceste Malence-Šmarje Sap, ki ga sestavljata dve vzporedni konstrukciji dolžine 600 metrov. Pri projektiranju so bili uporabljeni izsledki najnovejših tujih in domačih raziskav.

### **Verjetnostna analiza potresne nevarnosti na lokaciji Nuklearne elektrarne Krško (1991-94)**

Strokovno in organizacijsko izredno zahteven projekt, kjer so bili ob uporabi najmodernejših metod na novo določeni projektni potresni parametri na lokaciji

NEK. Študija, ki jo je naročila NEK, vodil pa IKPIR ob upoštevanju strogih zahtev za zagotavljanje kakovosti, je trajala 4 leta. Pri delu so sodelovali tudi strokovnjaki iz Seizmološkega zavoda RS, Geološkega zavoda iz Ljubljane, Rudarsko-geološko-naftne fakultete iz Zagreba ter številni tuji svetovalci.

### **Uvajanje standardov Eurocode 8 (1994-2001)**

Sodelavci IKPIRa ves čas vodijo delo v zvezi z uvajanjem evropskega (pred)standarda za gradnjo potresno odpornih objektov Eurocode 8 v Sloveniji. Pri tem sodelujejo s strokovnjaki iz drugih kateder FGG, ZAGA in bivše Uprave RS za geofiziko. Eurocode 8 je bil prvi predstandard iz skupine Eurocodov, ki je bil uradno sprejet v Sloveniji, Slovenija pa je bila prva država v Evropi, ki je Eurocode 8 uradno sprejela. Glavni razlog za to je bilo kritično stanje na področju predpisov in standardov za potresno odporno projektiranje premostitvenih objektov pri nas. Glede na intenzivno gradnjo takih objektov v okviru programa gradnje novih avtocest je bilo nujno potrebno v najkrajšem možnem času usposobiti evropski predstandard Eurocode 8/2, ki obravnava projektiranje mostov na potresnih območjih, za uporabo v Sloveniji. V okviru naloge, ki jo je financiral DARS, smo v obdobju 1994-95 pripravili nacionalni dokument za uporabo, slovenski prevod predstandarda in pet testnih primerov. Predstandard in dva testna primera smo izdelali tudi v obliki hiperteksta. Pripravili smo priručnik in organizirali dva seminarja za projektante. V sodelovanju z bivšo Upravo RS za geofiziko smo pripravili podlage za uvedbo karte projektnih pospeškov, ki jo je Uprava izdala v letu 2001 in ki bo uradno stopila v veljavo v letu 2002. V predlog nove verzije standarda Eurocode 8 (maj 2001) je vključena poenostavljena metoda za nelinearno analizo konstrukcij (N2 metoda), ki je bila razvita v IKPIRu.

### **Revizije projektov gradbenih objektov in opreme v NEK (1995 - 2001)**

Kot revidenti ves čas sodelujemo pri re-

vizijah projektov gradbenih objektov in opreme v Jedrski elektrarni Krško, narejenih v okviru programa modernizacije elektrarne (zamenjava uparjalnikov in povečanje kapacitete bazena za izrabljeno gorivo). Sodelovali smo pri določanju etažnih spektrov, ki predstavljajo osnovo za projektiranje in preverjanje opreme. Opravili smo tudi revizijo projektov gradbenih konstrukcij ob zamenjavi uparjalnikov.

### **Določevanje projektnih potresnih parametrov (1996 - 2001)**

V sodelovanju s sodelavci bivše Uprave RS za geofiziko smo določili projektne potresne parametre za viadukte Črni Kal, Ločica, Blagovica in Tržiška Bistrica, za most Verige v zalivu Boke Kotorske, za jalovišče Boršt, za TE Brestanica in za HE Moste.

### **Sodelovanje v skupini za izredni prevoz uparjalnikov za NEK**

Skupina je izdelala smernice za preverjanje objektov na cestah, po katerih je potekal prevoz uparjalnikov.

### **Ocena natečajnih rešitev za viadukt Črni kal (1998)**

Viadukt Črni kal bo verjetno najbolj zahteven premostitveni objekt pri gradnji avtocest v Sloveniji. Izbirali smo med devetnajstimi natečajnimi predlogi. Sodelavci IKPIR so ocenjevali zlasti potresno varnost, obtežbo z vetrom in dimenzioniranje ključnih stebrov

### **Potresna izolacija viadukta Ločica (1999)**

Gradnja na potresno bolj ogroženih območjih po zahtevnih evropskih standardih onemogoča izvajalcem uporabo standardne tehnologije in dimenzij pri nekaterih viaduktih. Alternativno rešitev nudi tehnologija potresne izolacije. Ta je v slovenskem prostoru novost, ki je pri projektiranju in izvedbi prvega potresno izoliranega viadukta na Slovenskem – Ločica zahtevala podrobnejšo študijo možnih alternativnih rešitev. V teku je tudi študija morebitnega izolacijskega sistema pri viaduktu Blagovica.



Na Internetu je Inštitut oblikoval precej servisov, ki so mednarodno pomembni in odmevni. Tako sodeluje pri izdajanju mednarodne znanstvene revije ITcon ([www.itcon.org](http://www.itcon.org)), katalog inženirske programske opreme ([software.forAEC.com](http://software.forAEC.com)), zbirka člankov CUMINCAD. Kazalci so zbrani na <http://itc.fgg.uni-lj.si/>). Na inštitutu so bile izdelane tudi spletne strani za Inženirsko zbornico Slovenije in Varuha človekovih pravic.

## PEDAGOŠKA DEJAVNOST

Učitelji IKPIR-a imajo na dodiplomskem in podiplomskem študiju gradbeništva predavanja, vaje in seminarje s področij statike in dinamike konstrukcij, potresnega inženirstva in računalništva, delno pa

tudi s področja armiranobetonskih konstrukcij. Bili so mentorji 25 doktorandom, 35 magistrantom in 196 diplomantom ter somentorji pri 95 diplomah in 9 magisterijih. 5 diplomantov je dobilo Prešernove nagrade za študente Univerze v Ljubljani, 4 diplomanti pa Prešernove nagrade FGG.

Raziskovalci IKPIR-a so bili mentorji 37 mladim raziskovalcem, ki so se uspešno uveljavili, ne le v raziskovalnih organizacijah, pač pa tudi na razvojnih in vodstvenih mestih v praksi. Na neformalno usposabljanje je prišlo več raziskovalcev iz Kitajske (2), bivše Sovjetske zveze (1), Italije (2), Romunije (2) in Hrvaške (2). Inštitut je s svojimi sodelavci organiziral več kot 30 seminarjev, ki se jih je udeležilo prek 2500 udeležencev. Tako je sproti prenašal rezultate raziskovalnega

dela v projektantsko prakso in bistveno pripomogel k uvajanju uporabe sodobnih metod v analizi in pri projektiranju gradbenih konstrukcij.

V zadnjem času se učitelji IKPIR-a posvečajo pionirskemu delu na področju uvajanja sodobnih metod pouka konstruktorskega inženirstva, ki vključujejo projektiranje na daljavo, študij na daljavo in razvoj IT podprtih učnih orodij (n.pr. EASY – Informacijski system za študij poškodb objektov po potresih).

S svojim obširnimi razvojnim, raziskovalnim in pedagoškim delom je IKPIR- FGG v preteklih tridesetih letih bistveno vplival na razvoj gradbene stroke doma in v svetu.

## OPOZORILO

**VSE DOLŽNIKE, KI ŠE NISTE PORAVNALI NAROČNINE ZA »GRADBENI VESTNIK« V LETU 2001, OPOZARJAMO, DA STE PREJELI ŽE 11 ŠTEVILK. PROSIMO ZA TAKOJŠNJE PLAČILO OBVEZNOSTI!**

Če ste izgubili položnico (prejeto maja oz. junija 2001), boste našli podatke o višini naročnine in številko žiro računa v kolofonu revije.

Uprava in uredništvo  
»Gradbenega vestnika«



# MODELIRANJE IN IZRAČUN DINAMIČNEGA ODZIVA LESENIH OKVIRNIH KONSTRUKCIJ NA POTRESNO OBTEŽBO

## MODELLING AND CALCULATION OF DYNAMIC RESPONSE OF WOODFRAME STRUCTURES ON EARTHQUAKE EXCITATION

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 624.046 : 624.011.1 : 699.841

BRUNO DUJIČ, ROKO ŽARNIČ

### POVZETEK

Septembra 1998 je bil v Kaliforniji osnovan CUREE-Caltech Woodframe projekt z naslovom Earthquake Hazard Mitigation of Woodframe Construction (Zmanjšanje potresnega tveganja pri lesenih okvirnih konstrukcijah). V okviru projekta so izvedli preiskave dvonadstropnega lesenega objekta v naravni velikosti z enostavnim tlorisom 5 x 6 m na potresni mizi v konstrukcijsko-raziskovalnem laboratoriju Charles Lee Powell v La Jolli v Kaliforniji. Julija 2000 smo se vključili v projekt in iz osnovnih geometrijskih podatkov konstrukcije ter le nekaterih materialnih karakteristik uporabljenih materialov brez poznavanja rezultatov na slepo izračunali odziv konstrukcije na različna potresna gibanja tal (akcelerograme), ki jim je bila konstrukcija izpostavljena med preiskavo. Šest raziskovalnih skupin je januarja 2001 uspešno zaključilo in oddalo računsko analizo oziroma slepo napoved odziva konstrukcije na dinamično obtežbo. Junija 2001 smo na delovnem sestanku v San Diegu predstavili računski model in rezultate ter jih primerjali z meritvami. Dobili smo dobro ujemanje z eksperimentalnimi rezultati in predstavili enega izmed trenutno najboljših računskih modelov za izračun odziva lesenih okvirnih konstrukcij na potresno obtežbo.

#### *Avtorja:*

asist. dr. Bruno Dujič, univ. dipl. inž. grad., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij, Jamova 2, Ljubljana  
izr. prof. dr. Roko Žarnič, univ. dipl. inž. grad., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij, Jamova 2, Ljubljana



**S U M M A R Y** CUREE-Caltech Woodframe Project started in California in 1998 as a research project entitled "Earthquake Hazard Mitigation of Woodframe Construction". In the scope of the project shake table tests on a full scale two-story wood framed residential building were carried out in Charles Lee Powell laboratory in La Jolla, California. The building of the simple box type has a layout of 5 m in width and 6 m in length, with external sheathed wood frames and one internal bare wood frame. In July 2000 the research team of the University of Ljubljana joined the project with blind prediction of response of the tested structure. The only input data for blind prediction were geometric characteristics of the model, some material properties of the building components and acceleration time histories used for the excitation of the tested structure as registered during test runs. Six research teams out of 150 invited successfully completed blind predictions. Blind predictions were compared during a workshop held in June 2001 at the University of California San Diego (UCSD). Successful prediction, calculated by our mathematical model, demonstrated its high efficiency and promoted it as currently one of the most reliable models developed for analysis and design of wood frame buildings located in earthquake prone areas.

## UVOD

Med gradbenimi konstrukcijami je dinamični odziv lesenih okvirnih konstrukcij pri potresni obtežbi najslabše raziskan [Dujič, 2001 a]. Lahke konstrukcije so na splošno veljale kot potresno odporne konstrukcije, ki jih naj ne bi bilo potrebno računsko preverjati na potresni vpliv. Zaradi ogromne materialne škode, ki je nastala zaradi poškodb tako manjših kakor tudi večjih lahkih lesenih zgradb med potresi v ZDA in na Japonskem v zadnjem desetletju, so bile opravljene številne eksperimentalne in analitične raziskave tovrstnih objektov [Dujič, 2001 b]. Namen teh preiskav je razvoj računskih metod, s katerimi bi lahko določili odziv lesenih okvirnih konstrukcij pri potresni obtežbi.

Trenutno poteka v ZDA obsežen CUREE-Caltech Woodframe projekt s poudarkom na eksperimentalnih raziskavah lesenih okvirnih konstrukcij, v katerem sodeluje tudi Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Najpomembnejši del eksperimentalnih raziskav predstavljajo dinamične preiskave konstrukcij v naravnem merilu na potresni mizi. Prvi del preiskav so izvedli spomladi in poleti leta 2000 na potresni mizi v konstrukcijsko-raziskovalnem laboratoriju Charles Lee Powell v La Jolli blizu San Diega v Kaliforniji na dvonadstropni leseni okvirni

konstrukciji v naravnem merilu z enostavnim tlorisom velikosti 5 x 6 m v različnih fazah gradnje. Po zaključku dinamičnih preiskav julija 2000 so organizatorji k sodelovanju povabili prek 150 raziskovalnih skupin po svetu, ki delujejo na področju raziskav lesenih konstrukcij, da bi brez poznavanja eksperimentalnih rezultatov (na slepo) izračunali odzive preizkušene konstrukcije na različna vsiljena gibanja potresne mize. Tako se je do septembra 2000 prijavilo k sodelovanju dvanajst raziskovalnih skupin (med njimi tudi naša), ki so iz osnovnih geometrijskih podatkov konstrukcije in njenih sestavnih delov ter le ob poznavanju nekaterih lastnosti uporabljenih materialov poskušale z različnimi računskimi pristopi in matematičnimi modeli čimbolj natančno predvideti njen dinamični odziv. Do 15. januarja 2001 nas je le šest raziskovalnih skupin oddalo rezultate dinamične računske analize oziroma "slepe napovedi" odzivov na izbrane potresne obtežbe [Dujič, 2001 c].

## PREISKAVA DVONADSTROPNE LESENE OKVIRNE KONSTRUKCIJE NA POTRESNI MIZI

Dinamične preiskave lesene okvirne konstrukcije so izvedli v desetih fazah. V pr-

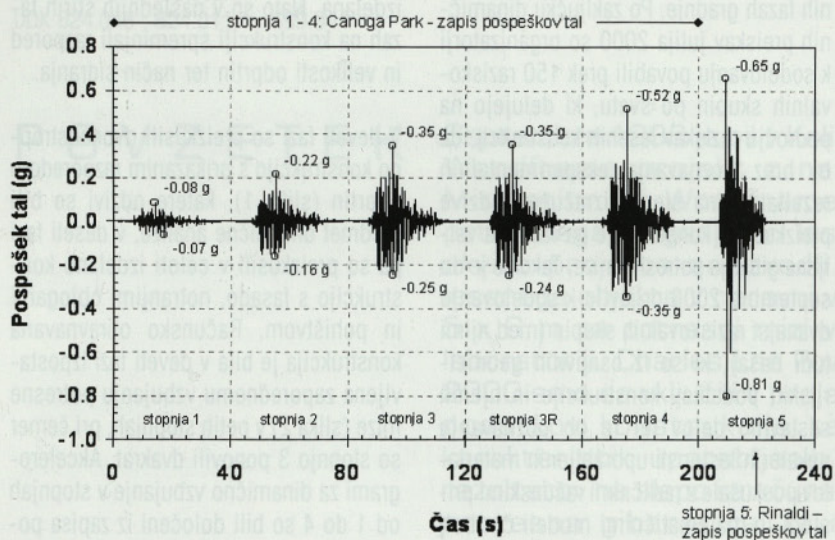
vih štirih fazah, ko so raziskovali lastnosti etaže, konstrukcija še ni bila v celoti izdelana. Nato so v naslednjih štirih fazah na konstrukciji spreminjali razpored in velikosti odprtin ter način sidranja.

V deveti fazi so preizkusili dvonadstropno konstrukcijo s prikazanim razporedom odprtin (slika 1), katere odzivi so bili predmet dinamične analize, v deseti fazi pa so preizkusili v celoti izdelano konstrukcijo s fasado, notranjimi oblogami in pohištvo. Računsko obravnavana konstrukcija je bila v deveti fazi izpostavljena zaporednemu vzbujanju potresne mize (slika 2) v petih stopnjah, pri čemer so stopnjo 3 ponovili dvakrat. Akceleroگرامi za dinamično vzbujanje v stopnjah od 1 do 4 so bili določeni iz zapisa pospeškov tal pri potresu Canoga Park leta 1994 v Northridgeu, pri čemer so amplitude pospeškov množili z različnimi faktorji, da so določili potresno obtežbo, ki se z določeno verjetnostjo ponovi v 50 letih (preglednica 1). V 5. stopnji je bila konstrukcija vzbujana s pospeški tal iz zapisa pri potresu Rinaldi leta 1994 v Northridgeu, ki predstavlja gibanje tal blizu prelomnice (near-fault ground motion). Vzbujanja potresne mize v ostalih stopnjah predstavljajo običajno gibanje tal pri potresu (ordinary ground motion). Lesene konstrukcije med posameznimi stopnjami obteževanja niso dodatno ojačali oziroma sanirali poškodovanih





**Slika 1:** Analizirana dvonadstropna lesena okvirna konstrukcija na potresni mizi. Pogled s severno – vzhodne strani (levo) in z jugo – zahodne strani (desno).



**Slika 2:** Zaporedne stopnje potresnega vzbujanja lesene okvirne konstrukcije z različnimi akcelerogrami. Primerjava računskih rezultatov z eksperimentalnimi je podana za 4. in 5. stopnjo.

mest. Tako so se med posameznimi stopnjami obteževanja akumulirale poškodbe, ki jih je bilo potrebno v računski analizi upoštevati, saj smo računske rezultate primerjali le z odzivi konstrukcije v 4. in 5. stopnji.

### PODATKI O KONSTRUKCIJI

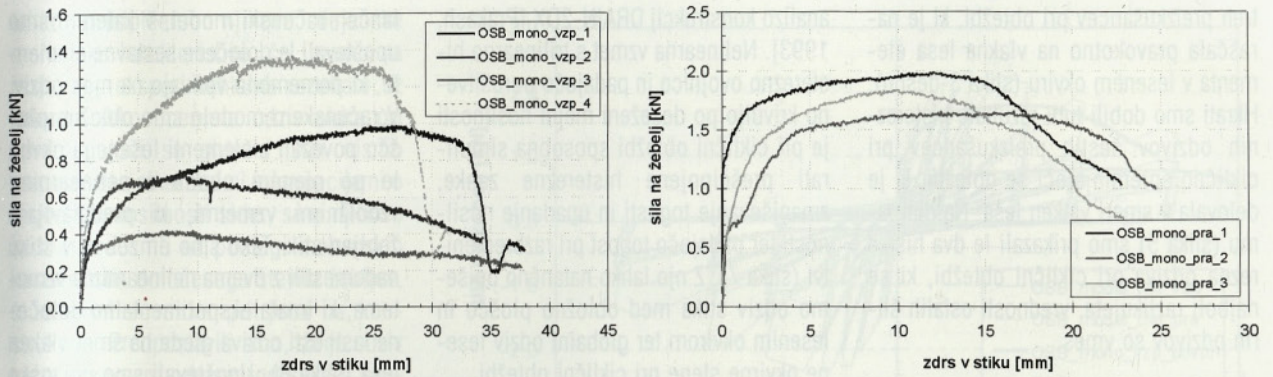
Organizator je dal na voljo le določene podatke o preizkušeni konstrukciji tlorisnih dimenzij 4,90 x 6,10 m in etažne višine 2,44 m. Razpolagali smo s podatki o geometriji konstrukcije in geometriji njenih sestavnih delov, ki smo jih dobili v obliki izvedbenih načrtov konstrukcije. Iz načrtov je bila razvidna razporeditev in velikosti odprtih v stenah ter razporeditev prečnikov in pokončnikov oziroma sestava lesenih okvirov, na katere so bile enostransko pritrjene obložne plošče. Podane so bile dimenzije žebeljev in njihova razporeditev po posameznih stenskih elementih in na medetažni konstrukciji. V načrtih so bila razvidna mesta sidranja konstrukcije ter vrsta uporabljenih sider, njihovih mehanskih karakteristik pa nismo poznali. Pri izdelavi konstrukcije so uporabili tri vrste sider, ki so značilna za ameriško gradnjo lesenih okvirnih konstrukcij in jih zato v Evropi ne srečamo

| stopnja | verjetnost prekoračenja obtežbe v 50 letih | povratna perioda (v letih) | potresni zapis | množilni faktor za amplitude | največji pospešek tal PGA (g) |
|---------|--|----------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1       | 99,9999997                                 | 2,5                        | Canoga Park    | 0,12                         | 0,05                          |
| 2       | 50   | 72                         |                | 0,53                         | 0,22                          |
| 3       | 20   | 225                        |                | 0,86                         | 0,36                          |
| 4       | 10   | 475                        |                | 1,2                          | 0,52                          |
| 5       | 2  | 2475                       | Rinaldi        | 1                            | 0,89                          |

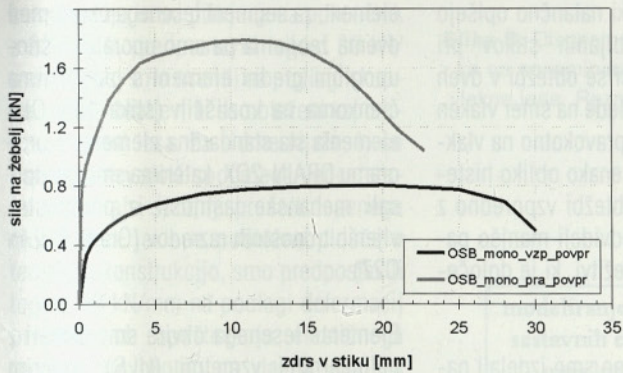
**Preglednica 1:** Opis posameznih stopenj potresne obtežbe (Kalifornija).



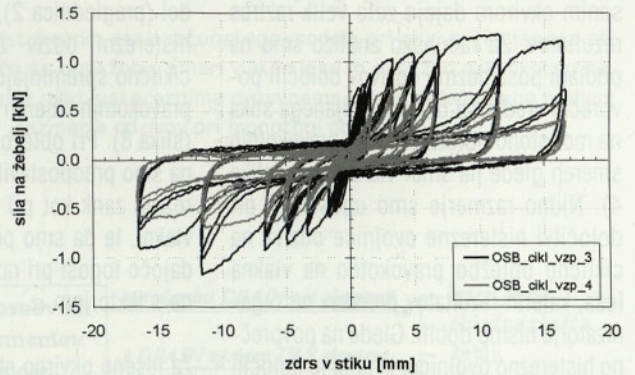
B. DUJIČ, R. ŽARNIČ: Modeliranje in izračun dinamičnega odziva lesenih okvirnih konstrukcij na potresno obtežbo



**Slika 3:** Eksperimentalni podatki o odzivu žebelja v stiku med obložno ploščo in lesenim okvirom pri monotono naraščajoči obtežbi v smeri vzporedno z vlakni lesa in pravokotno na vlakna lesa.



**Slika 4:** Določen povprečni odziv stika pri monotono naraščajoči obtežbi.

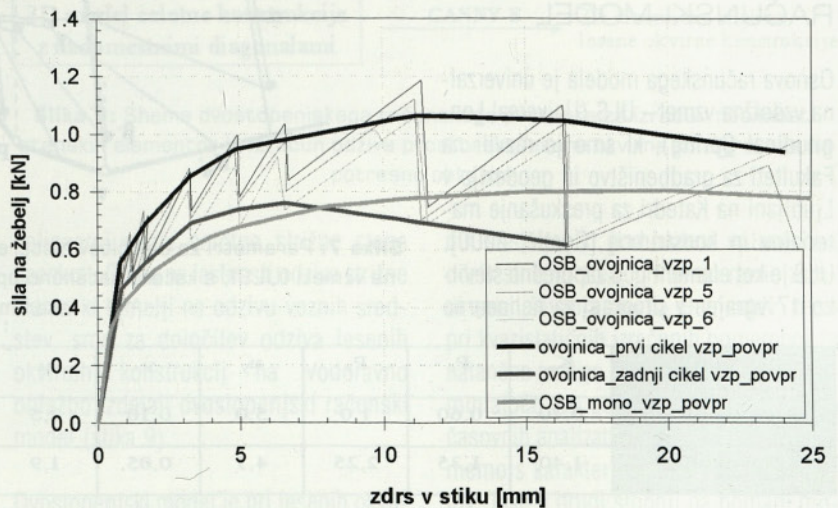


**Slika 5:** Rezultati cikličnih preiskav žebeljanega stika pri obtežbi vzporedno z vlakni lesa.

pogosto (anchor bolt - sidni vijak, tiedown HTT22 - kotna sidra pokončnikov in tiedown strap CS16 - povezovalni trakovi). Od materialnih karakteristik sestavnih elementov smo poznali le mehanske lastnosti lepljenih nosilcev, ki so premoščali večje odprtine v konstrukciji, medtem ko mehanskih lastnosti lesa, OSB plošč in vezanih plošč, iz katerih je bila izdelana medetažna konstrukcija, nismo poznali. Konstrukcija naj bi bila izdelana iz običajnih materialov, iz katerih se izdelujejo lesene okvirne konstrukcije v ZDA. Na podlagi lastne presoje smo les uvrstili v trdnostni razred C 27 v skladu z EN 338:1995, za OSB ploščo pa smo upoštevali mehanske lastnosti vrste Grade O-2 v skladu s CSA 0437.0.

okvirom so v okviru projekta izvedli eksperimentalne preiskave. Dobili smo rezultate odziva štirih preizkušancev pri

monotono naraščajoči obtežbi, ki je delovala vzporedno z vlakni lesa lesenega okvira (slika 3-levo), in rezultate odziva



**Slika 6:** Določitev povprečnih histereznih ovojnic prvih in tretjih ciklov.

Za tipski žebeljani stik lesene okvirne stene med obložno OSB ploščo in lesenim



treh preizkušancev pri obtežbi, ki je naraščala pravokotno na vlakna lesa elementa v lesenem okviru (slika 3-desno). Hkrati smo dobili tudi rezultate histerezni odzivov šestih preizkušancev pri ciklično spreminjajoči se obtežbi, ki je delovala v smeri vlaken lesa. Na diagramu (slika 5) smo prikazali le dva histerezna odziva pri ciklični obtežbi, ki se najbolj razlikujeta, vrednosti ostalih štirih odzivov so vmes.

Eksploimentalne preiskave enakih preizkušancev pri enakem načinu obteževanja stika med OSB ploščo in lesenim okvirom dajejo zelo velik raztros rezultatov. Za računsko analizo smo na podlagi posameznih odzivov določili povprečni vrednosti odziva žeblijanega stika na monotono obtežbo v dveh pravokotnih smereh glede na smer vlaken lesa (slika 4). Njunjo razmerje smo upoštevali pri določitvi histerezne ovojnice odziva na ciklično obtežbo pravokotno na vlakna lesa, katerih rezultatov preiskav od organizatorja nismo dobili. Glede na povprečno histerezno ovojnico, ki smo jo določili iz posameznih histerezni odzivov pri cikličnem obteževanju vzporedno z vlakni lesa (slika 6), smo na podlagi razmerja monotoni odzivov določili histerezno ovojnico za ciklično obteževanje žeblijanega stika pravokotno na vlakna lesa (preglednica 2 in slika 8).

**RAČUNSKI MODEL**

Osnova računskega modela je univerzalna vzdolžna vzmet - ULS (Universal Longitudinal Spring), ki smo jo razvili na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani na Katedri za preskušanje materialov in konstrukcij [Gostič, 2000]. ULS je kot element pod zaporedno številko 17 vgrajen v program za nelinearno

analizo konstrukcij DRAIN-2DX [Prakash, 1993]. Nelinearna vzmet s trilinearno histerezno ovojnico in padajočo porušitveno krivuljo po doseženi mejni nosilnosti je pri ciklični obtežbi sposobna simulirati preščiipnjene histerezne zanke, zmanjševanje togosti in upadanje nosilnosti ter padajočo togost pri razbremenitvi (slika 7). Z njo lahko natančno opišemo odziv stika med obložno ploščo in lesenim okvirom ter globalni odziv lesene okvirne stene pri ciklični obtežbi.

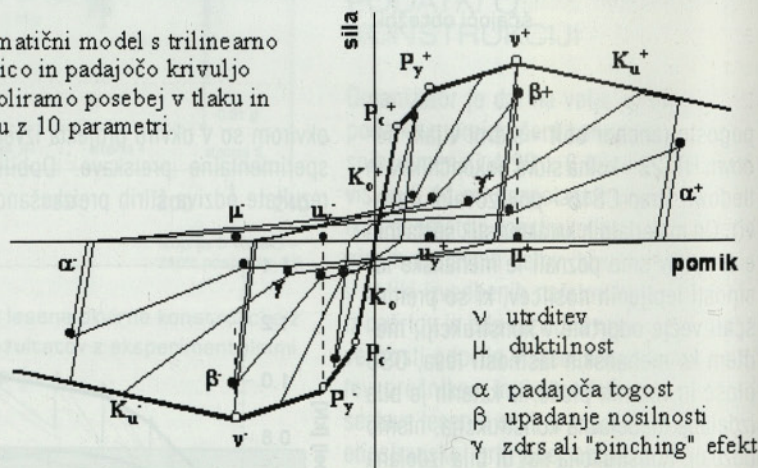
Na podlagi eksperimentalni rezultatov smo določili parametre za računski model (preglednica 2), ki natančno opišejo histerezni odziv žeblijanih stikov pri ciklično spreminjajoči se obtežbi v dveh pravokotni smereh glede na smer vlaken (slika 8). Pri obtežbi pravokotno na vlakna smo predpostavili enako obliko histerezni zank kot pri obtežbi vzporedno z vlakni, le da smo predvideli manjšo padajočo togost pri raztežitvi, ki je določena s faktorjem  $\alpha$ .

Za leseno okvirno steno smo izdelali na-

tančen računski model, v katerem smo upoštevali le določene sestavne elemente, ki pomembno vplivajo na njen odziv. V računskem modelu smo obložno ploščo povezali z elementi lesenega okvira le po njenem obodu z nelinearnimi vzdolžnimi vzmetmi, ki predstavljajo žeblijan stik. Tako smo en žebelj v stiku nadomestili z dvema nelinearnima vzmetema, ki imata eksperimentalno določene lastnosti odziva glede na smer vlaken lesa (slika 8). Upoštevali smo dejansko razporeditev žebeljev po obodu obložni plošč. Za modeliranje obložne plošče smo uporabili linearno elastičen panelni element, za segment lesenega okvira med dvema žeblijem pa smo uporabili osnupogibni gredni element s plastičnima členkoma na vozliščih (slika 10). Oba elementa sta standardna elementa v programu DRAIN-2DX, katerima smo predpisali mehanske lastnosti iz predpostavljenih trdnostni razredov (Grade 0-2 in C27).

Elemente lesenega okvira smo sidrali z nelinearnimi vzmetmi (ULS), katerim

Matematični model s trilinearno ovojnico in padajočo krivuljo kontroliram o posebej v tlaku in nategu z 10 parametri.



**Slika 7:** Parametri za določitev histerezni obnašanja nelinearne longitudinalne vzmeti (ULS), s katero natančno opišemo odziv stika med obložno ploščo in lesenim okvirom.

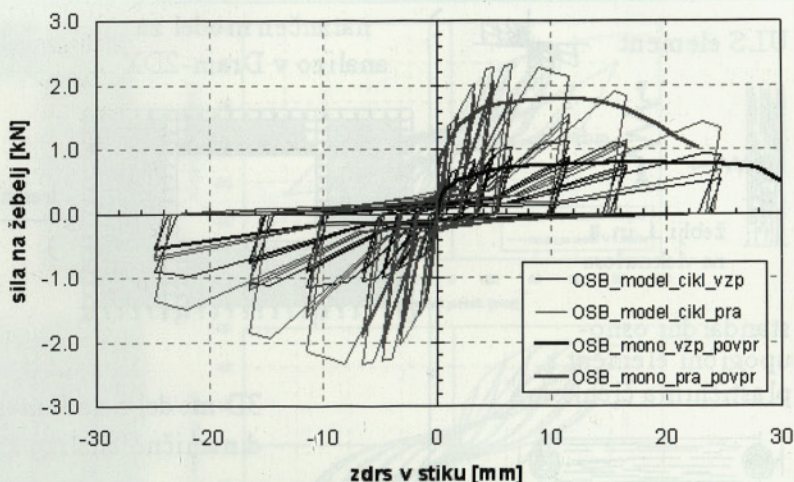
| smer obtežbe | $K_o$ | $P_o$ | $P_y$ | $u_y$ | $v$  | $\mu$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | $K_u$  |
|--------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|----------|---------|----------|--------|
| vzporedno    | 0,70  | 0,60  | 1,0   | 5,0   | 0,10 | 2,5   | 30       | 0,05    | 0,30     | -0,020 |
| pravokotno   | 1,40  | 1,35  | 2,25  | 4,1   | 0,05 | 1,9   | 2        | 0,05    | 0,30     | -0,060 |

**Preglednica 2:** Parametri računskega modela za žeblijan stik med OSB ploščo in lesenim okvirom.

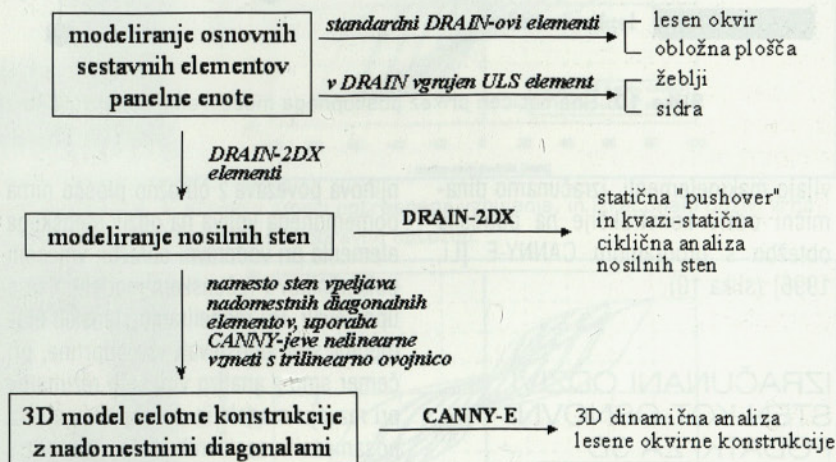


lahko predpišemo njihove dejanske mehanske karakteristike, če imamo na razpolago eksperimentalne rezultate, iz katerih lahko ocenimo odziv sidra pri spreminjajoči se obtežbi. Ker nismo razpolagali z nikakršnimi informacijami o togosti in nosilnosti sider, smo njihove lastnosti ocenili na podlagi mehanskih karakteristik določenega števila žebeljev, s katerimi so sidra pritrjena na konstrukcijo. Predpostavili smo, da je odziv sidra predvsem odvisen od stika s konstrukcijo. Tako smo za vogalna sidra vrste HT22, ki sidrajo robni pokončnik stenskega elementa neposredno v talno konstrukcijo in so pritrjena na pokončnik z 32 žebli, predpostavili togost 30 kN/mm. Togost smo ocenili na podlagi skupne togosti žebeljev, ki so obteženi vzporedno z vlakni lesa. Za sidrne vijake, ki so nameščeni vzdolž spodnjega venca stene in sidrajo spodnji prečnik lesenega okvira prek jeklene podložne plošče v temeljno konstrukcijo, smo predpostavili togost 10 kN/mm na podlagi deformacij prečnika ob upoštevanju elastičnega modula pravokotno na vlakna lesa. Za jeklene povezovalne trakove CS16, ki povezujejo stenske elemente zgornje etaže prek medetažne konstrukcije s stenski elementi spodnje etaže, smo predpostavili togost 10 kN/mm, pri čemer smo upoštevali togost skupnega števila žebeljev, s katerimi je jeklen trak pritrjen na lesen okvir. Zaradi žebljanja traku na obeh koncih in vpliva medetažne plošče smo tako določeno togost zmanjšali za 50 %.

Kljub številnim razvitim računskim modelom na podlagi metode končnih elementov se glavna pomanjkljivost modeliranja s pomočjo mikroelementov še vedno kaže v časovni zahtevnosti analize večjih konstrukcij in hkrati nenatančnemu simuliranju nelinearnega obnašanja veznih sredstev. Za natančno analizo lesenih okvirnih konstrukcij so zato primerne računski modeli, ki upoštevajo značilnosti nelinearnega obnašanja veznih sredstev. Za časovno dinamično analizo večjih (večetažnih) konstrukcij pa so primernejši makroelementi, ki obravnavajo



**Slika 8:** Diagram histereznih zank računskega modela pri odzivu žebljanega stiaka na spreminjajočo se obtežbo v smeri vlakna lesa in obtežbo pravokotno na vlakna lesa. Razmerje med histereznima ovojnicama je bilo določeno na podlagi razmerja odzivov pri monotoni obtežbi.



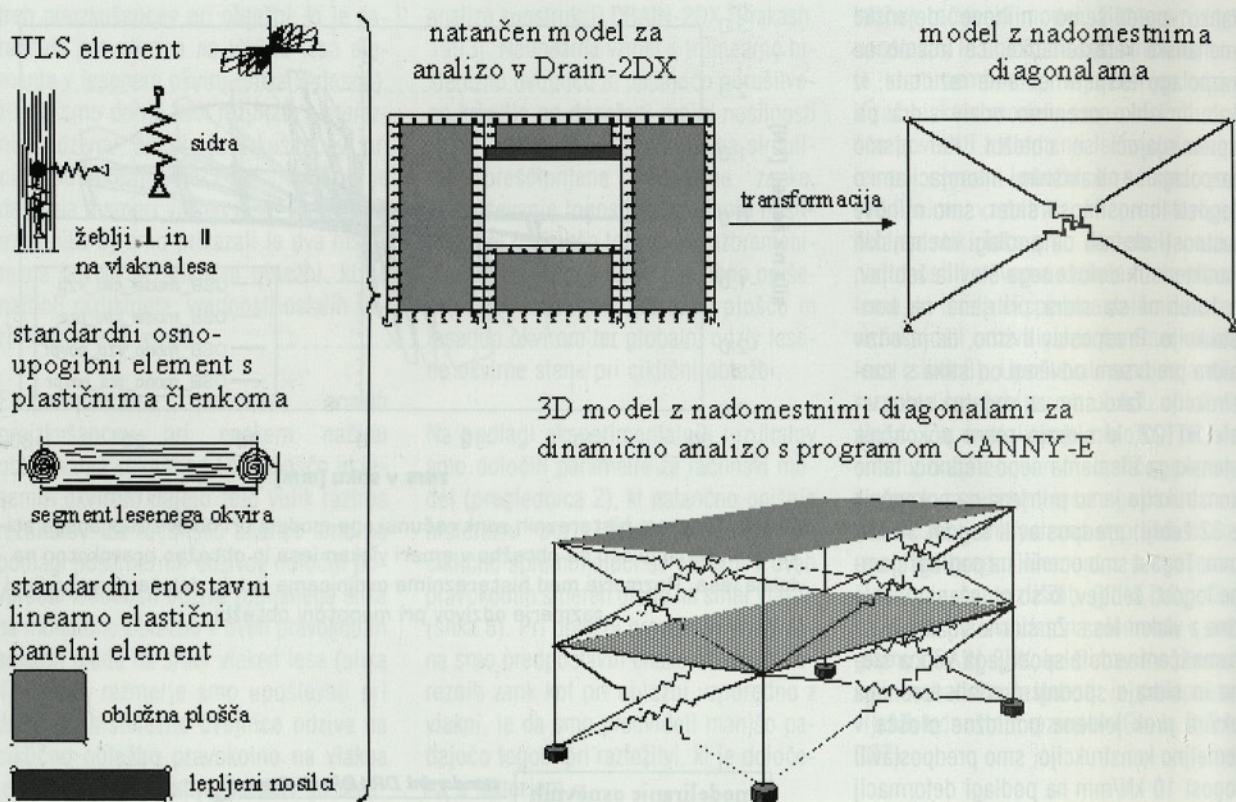
**Slika 9:** Shema dvostopenjskega računskega postopka za izračun nosilnosti stenskih elementov in izračun odziva prostorske lesene okvirne konstrukcije na potresno obtežbo.

nelinearni odziv celotne strižne stene naenkrat. Glede na lastnosti odziva strižne stene, ki temelji na odzivu veznih sredstev, smo za določitev odziva lesenih okvirnih konstrukcij na vodoravno obtežbo izdelali dvostopenjski računski model (slika 9).

Dvostopenjski model je pri lesenih okvirnih konstrukcijah z velikim številom vez-

nih sredstev, ki pomembno vplivajo na odziv strižnih sten, primeren ravno zaradi zmanjševanja števila elementov, ki so pri kvazistatičnih izračunih pomembni za natančno analizo odziva na ciklično spreminjajočo se obtežbo, pri dinamičnih časovnih analizah pa njihove vplive zajamemo s karakteristikami makroelementov. Tako v drugi stopnji na podlagi modela celotne konstrukcije, ki jo sestav-





Slika 10: Shematičen prikaz postopnega modeliranja konstrukcije za izračun dinamičnega odziva.

vljajo makroelementi, izračunamo dinamični odziv konstrukcije na potresno obtežbo s programom CANNY-E [Li, 1996] (slika 10).

### IZRAČUNANI ODZIVI STEN KOT OSNOVNI PODATKI ZA 3D DINAMIČNO ANALIZO KONSTRUKCIJE

Izdelali smo natančne računske modele za vse nosilne stenske elemente v konstrukciji in izračunali njihove odzive na ciklično spreminjajočo se vodoravno obtežbo, ki smo jo vsiljevali s povečevanjem vodoravnih pomikov na vrhu stene (slika 11 in slika 12). Zaradi določenih omejitev računskega modela smo lahko z linearno elastičnim panelnim elementom modelirali povezavo z lesenim okvirom le po obodu obložne plošče. Ob predpostavki, da vmesni pokončniki in

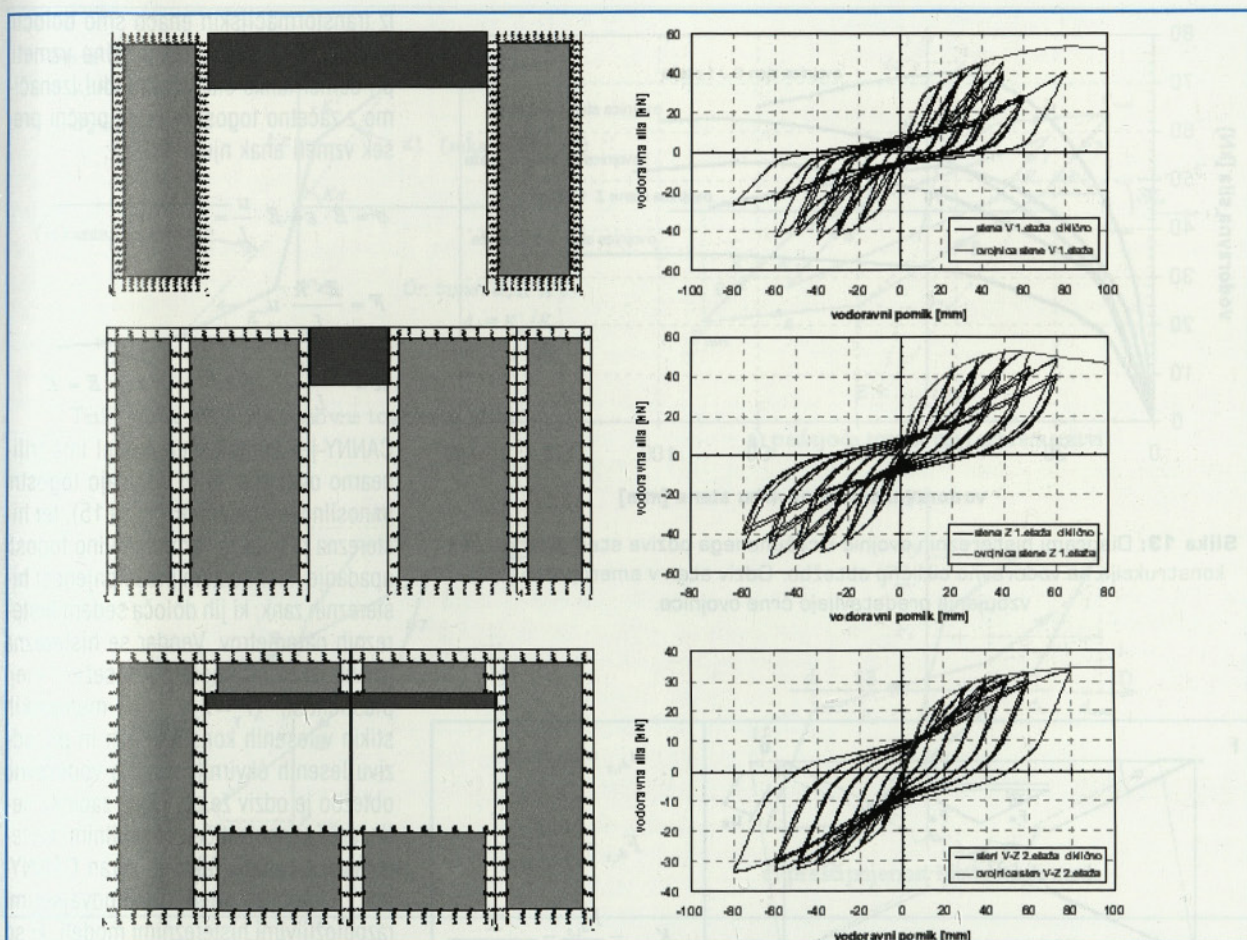
njihova povezava z obložno ploščo nima pomembnega vpliva na odziv stenskega elementa pri vodoravni obtežbi, vmesnih pokončnikov v računskem modelu nismo upoštevali. Pri modeliranju stenskih elementov smo upoštevali vse odprtine, pri čemer smo z analizo vmesnih rezultatov pri razvoju modela in določevanju vpliva posameznih sestavnih delov na odziv celotnega stenskega elementa ugotovili, da natančno modeliranje obložnih plošč pod odprtinami pomembno vpliva na odziv. Hkrati pa natančno modeliranje sestavnih elementov nad odprtino ne vpliva na odziv, zato lahko lepljen nosilec in obložno ploščo nad okensko odprtino upoštevamo kot skupen panelni element, ki ga v modelu priključimo neposredno na leseni okvir brez vzmeti. Odziv stene je namreč predvsem odvisen od dogajanja v stiku med obložno ploščo in lesenim okvirom na spodnji strani stene, medtem ko vezna sredstva na zgornjem robu niso močno obremenjena.

Histerezne ovojnice izračunanih odzivov smo za vse zunanje nosilne stene preizkušene konstrukcije prikazali na skupnem diagramu (slika 13). Iz oblike histereznih zank in ovojnic smo določili parametre za CANNY-jev kompleksen element, ki smo ga uporabili za nadomestne diagonalne vzmeti, s katerimi smo v prostorskem modelu celotne konstrukcije nadomestili obravnavane stene.

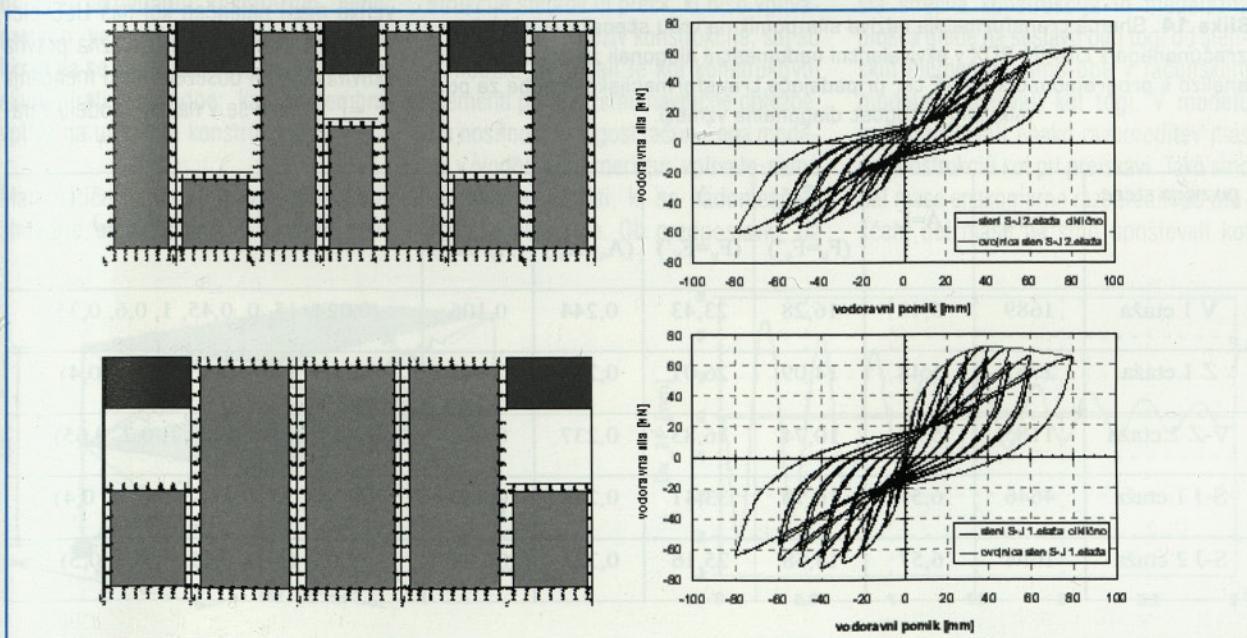
Izračunano medsebojno odvisnost med vodoravnim pomikom na vrhu stene in vodoravno obtežbo prevedemo na ekvivalentno delovanje dveh diagonalnih vzmeti. Pomembno je izbrati takšen element, ki je sposoben natančno opisati dogajanje v stenskem elementu. ULS elementa pri nadaljnji dinamični analizi prostorske konstrukcije ne moremo uporabiti, ker je vgrajen v DRAIN-2DX in je s tem vezan na 2D analizo. V danem primeru pa smo želeli zaradi nesimetričnosti odprtin konstrukcije določiti tudi vpliv torzije.



B. DUJIČ, R. ŽARNIČ: Modeliranje in izračun dinamičnega odziva lesenih okvirnih konstrukcij na potresno obtežbo

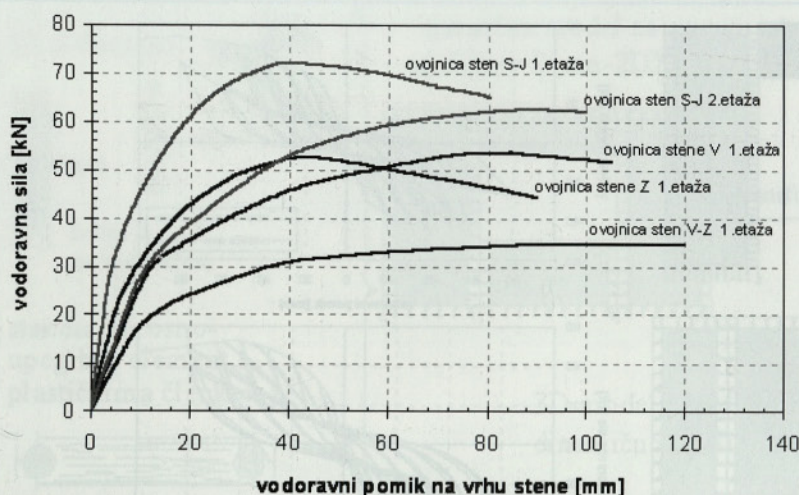


**Slika 11:** Računski modeli nosilnih sten konstrukcije, ki stojijo v smeri potresnega vzburjanja, in izračunani odzivi vrha sten na ciklično spreminjajočo se vodoravno obtežbo.

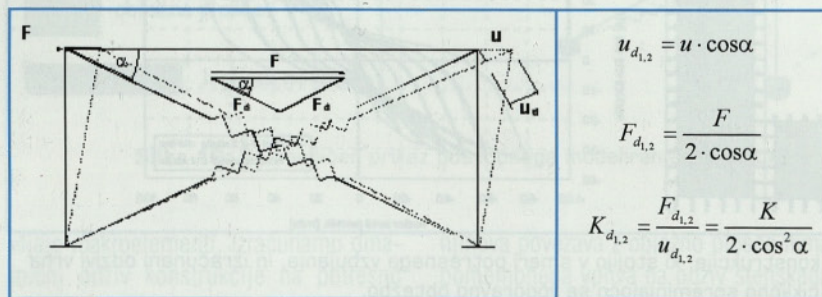


**Slika 12:** Računska modela nosilnih sten konstrukcije, ki stojijo pravokotno na smer potresnega vzburjanja, in izračunani odzivi vrha sten na ciklično spreminjajočo se vodoravno obtežbo.





**Slika 13:** Diagrami histereznih ovojnica izračunanega odziva sten preizkušene konstrukcije na vodoravno ciklično obtežbo. Odziv sten v smeri potresnega vzbujanja predstavljajo črne ovojnice.



**Slika 14:** Shema transformacije odziva sila-pomik na vrhu stenskega elementa, izračunanega z DRAIN-2DX v ekvivalentni nadomestni diagonalni za 3D dinamično analizo s programom CANNY-E ter pripadajoče transformacijske enačbe za pomik, silo in togost diagonalne vzmeti.

Iz transformacijskih enačb smo določili mehanske lastnosti diagonalne vzmeti, pri čemer lahko elastični modul izenačimo z začetno togostjo, če je prečni presekok vzmeti enak njeni dolžini:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{u}{L} = \frac{F}{A} \rightarrow$$

$$F = \frac{E \cdot A}{L} \cdot u \rightarrow$$

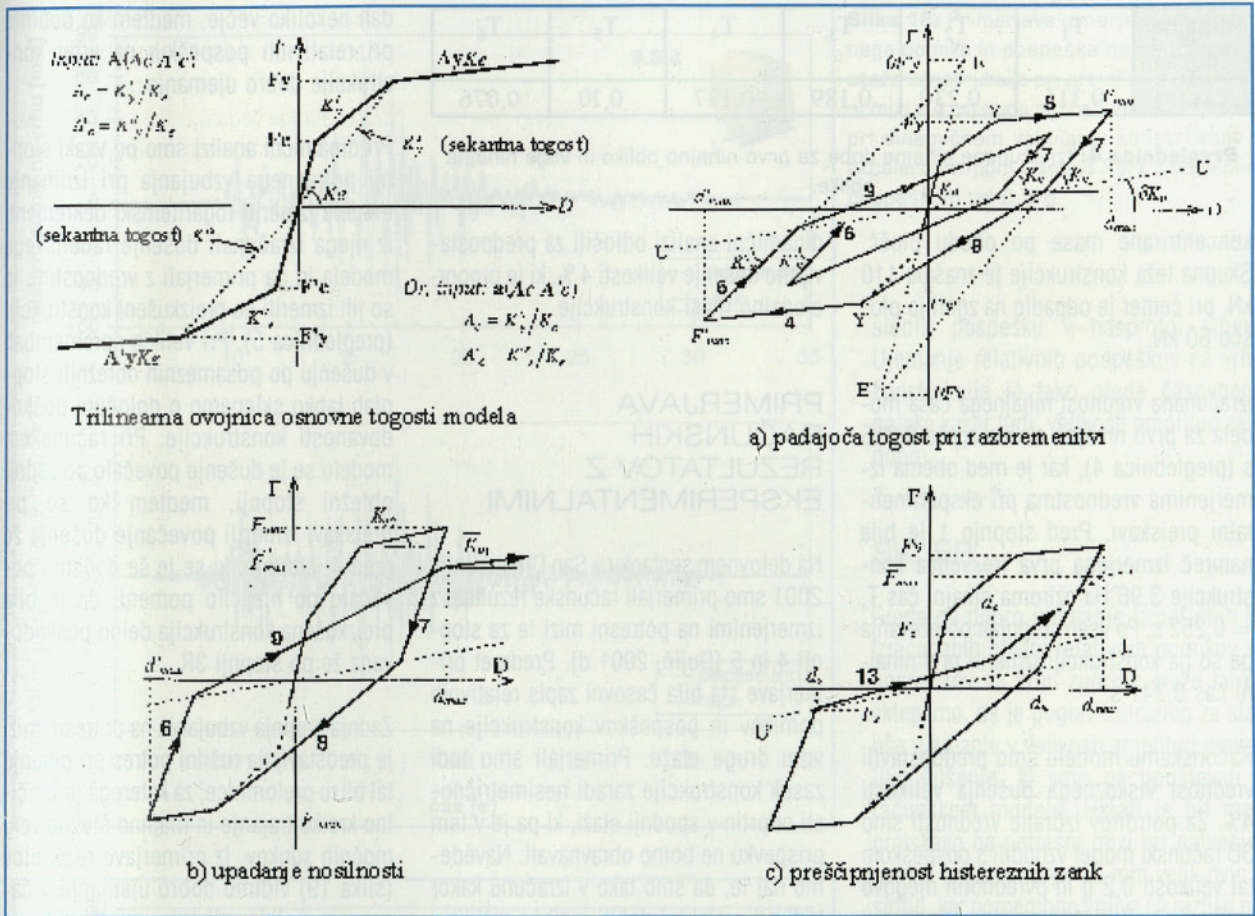
$$K = \frac{E \cdot A}{L}, \text{ for } \frac{A}{L} = 1 \text{ is } E = K$$

CANNY-jev kompleksen model ima trilinearno ovojnico, ki jo določajo togostni in nosilnostni parametri (slika 15), ter histerezna pravila za razbremenilno togost, upadanje nosilnosti in preščipjenost histereznih zank, ki jih določa sedem histereznih parametrov. Vendar se histerezna pravila aktivirajo šele po doseženi meji plastičnosti ( $F_y = F_y'$ ). Pri mehanskih stikih v lesenih konstrukcijah in pri odzivu lesenih okvirnih sten na vodoravno obtežbo je odziv že od vsega začetka nelinearen in neelastičen z značilnimi histereznimi zankami. Tako je izbran CANNY-jev element med enaindvajsetimi razpoložljivimi histereznimi modeli, ki so vgrajeni v program, še najbolj primeren za obravnavani primer. Vendar je element veliko manj natančen kot naš ULS element, pri katerem se histerezna pravila aktivirajo že po doseženi točki mehčanja ( $F_c = F_c'$ ). Tako se v našem modelu zara-

| pozicija stene | $E=K_e$ | $A=L$ | C<br>( $F_c=F_c'$ ) | Y<br>( $F_y=F_y'$ ) | A<br>( $A_c=A_c'$ ) | B<br>( $A_y=A_y'$ ) | P ( $\delta, \theta, \lambda_e, \lambda_u, \lambda_3, \varepsilon, \lambda_s$ ) |
|----------------|---------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|
| V 1. etaža     | 1689    | 5,48  | 16,28               | 23,43               | 0,244               | 0,106               | (0,024, 15, 0, 0,45, 1, 0,6, 0,35)  |
| Z 1. etaža     | 2761    | 5,48  | 14,09               | 26,01               | 0,277               | 0,062               | (0,05, 12, 0, 0,15, 1, 0,4, 0,4)  |
| V-Z 2. etaža   | 1185    | 5,48  | 10,74               | 16,83               | 0,237               | 0,061               | (0,05, 20, 0, 0,15, 1, 0,2, 0,65)   |
| S-J 1. etaža   | 4646    | 6,57  | 16,70               | 33,41               | 0,248               | 0,069               | (0,045, 15, 0, 0,15, 1, 0,3, 0,4)   |
| S-J 2. etaža   | 1694    | 6,57  | 15,68               | 25,16               | 0,321               | 0,163               | (0,05, 15, 0, 0,12, 1, 0,3, 0,5)  |

**Preglednica 3:** Parametri, ki so določeni iz izračunanih odzivov celotnih sten, kontrolirajo odziv nadomestnih diagonalnih vzmeti CANNY-jevega kompleksnega modela [kN, mm].





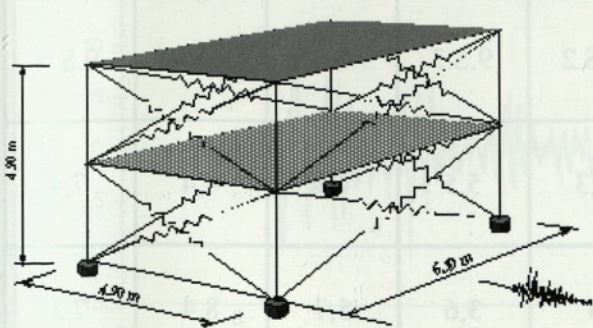
Slika 15: Diagrami prikaza histereznih pravil za CANNY-jev kompleksni model [Li, 1996].

di prej aktiviranih histereznih pravil pretvori veliko več vnesene energije, hkrati pa se v modelu pričnejo veliko prej akumulirati poškodbe, kar pomembno vpliva na utrujanje konstrukcije.

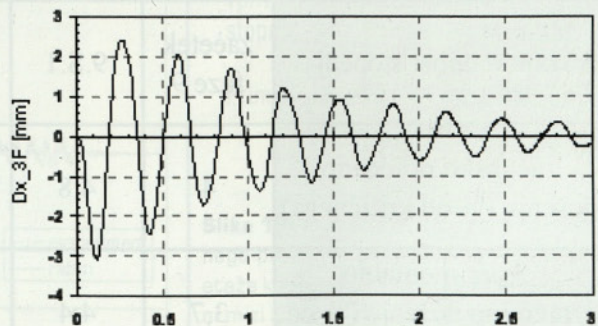
Matematični model prostorske konstrukcije smo izdelali iz okvirne kon-

strukcije stebrov in prečk, ki niso vplivali na dinamični odziv konstrukcije, saj so v modelu nastopali le kot konstruktivni elementi pri prevzemu navpične obtežbe. Na nosilnost in togost računskega modela v vodoravni smeri so vplivale samo diagonalne vzmeti, ki so nadomeščale stenske elemente. Ob predpostavki, da

sta strešna konstrukcija in medetažna plošča glede na sestavo bolj togi od stenskih elementov, smo obe v računskem modelu upoštevali kot togi. V modelu smo upoštevali enako razporeditev mas po konstrukciji kot pri preiskavi. Tako smo del mase enakomerno razporedili po ploščah, del mase pa smo upoštevali kot



Slika 16: Matematični model za 3D dinamično analizo s programom CANNY-E.



Slika 17: Iznihanje vrha modela po pospešku tal 0,2 g pri 4 % dušenju proporcionalnem masi.



| nihajna doba | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| čas [s]      | 0,315          | 0,230          | 0,189          | 0,137          | 0,10           | 0,076          |

**Preglednica 4:** Izračunane nihajne dobe za prvo nihajno obliko in višje nihajne oblike.

koncentrirane mase po obodu plošč. Skupna teža konstrukcije je znašala 110 kN, pri čemer je odpadlo na zgornjo ploščo 60 kN.

Izračunana vrednost nihajnega časa modela za prvo nihajno obliko znaša 0,315 s (preglednica 4), kar je med obema izmerjenima vrednostma pri eksperimentalni preiskavi. Pred stopnjo 1 je bila namreč izmerjena prva frekvenca konstrukcije 3,96 Hz oziroma nihajni čas  $T_1 = 0,252$  s. Po vseh stopnjah obteževanja pa so na konstrukciji izmerili prvi nihajni čas 0,341 s.

Računskemu modelu smo predpostavili vrednost viskoznega dušenja velikosti 4%. Za potrditev izbrane vrednosti smo 3D računski model vzbudili s pospeškom tal velikosti 0,2 g in ovrednotili njegovo iznihanje. Pri postopnem upadanju doseženih amplitud na vrhu modela (slika 17) smo izmerili logaritemski dekrement med 0,22 in 0,25, kar nam predstavlja koeficient viskoznega dušenja med 0,035 in 0,04. Glede na eksperimentalno izmerjeno dušenje konstrukcije na potresni mizi v stopnjah obteževanja od 1 do 3 (preglednica 5), ki se je gibalo okoli 4 % vrednosti kritičnega dušenja, smo se pri

dinamični analizi odločili za predpostavljeno dušenje velikosti 4 %, ki je proporcionalno masi konstrukcije.

### PRIMERJAVA RAČUNSKIH REZULTATOV Z EKSPERIMENTALNIMI

Na delovnem sestanku v San Diegu junija 2001 smo primerjali računske rezultate z izmerjenimi na potresni mizi le za stopnjo 4 in 5 [Dujčič, 2001 d]. Predmet primerjave sta bila časovni zapis relativnih pomikov in pospeškov konstrukcije na vrhu druge etaže. Primerjali smo tudi zasak konstrukcije zaradi nesimetričnosti odprtih v spodnji etaži, ki pa je v tem prispevku ne bomo obravnavali. Navedemo naj le, da smo tako v izračunu kakor tudi pri preiskavi dobili majhne razlike v relativnih pomikih nasprotnih robov zaradi učinka "škattle", ki ga ustvarjajo veliko močnejše stene v pravokotni smeri.

Iz primerjave izračunanega in izmerjenega odziva (slika 18) vidimo, da se razlikujeta v amplitudah, medtem ko je časovni potek nihanja zelo podoben. Pri pomikih so razlike v doseženih amplitu-

dah nekoliko večje, medtem ko dobimo pri relativnih pospeških na vrhu konstrukcije dobro ujemanje.

Pri dinamični analizi smo po vsaki stopnji potresnega vzbujanja pri iznihanju modela izmerili logaritemski dekrement, iz njega izračunali dušenje računskega modela in ga primerjali z vrednostmi, ki so jih izmerili na preizkušeni konstrukciji (preglednica 5). Pri velikih spremembah v dušenju po posameznih obtežnih stopnjah lahko sklepamo o določeni poškodovanosti konstrukcije. Pri računskem modelu se je dušenje povečalo po zadnji obtežni stopnji, medtem ko so pri preiskavi izmerili povečanje dušenja že pred 4. stopnjo, ki se je še dodatno povečalo po njej. To pomeni, da je bila preizkušena konstrukcija delno poškodovana že po stopnji 3R.

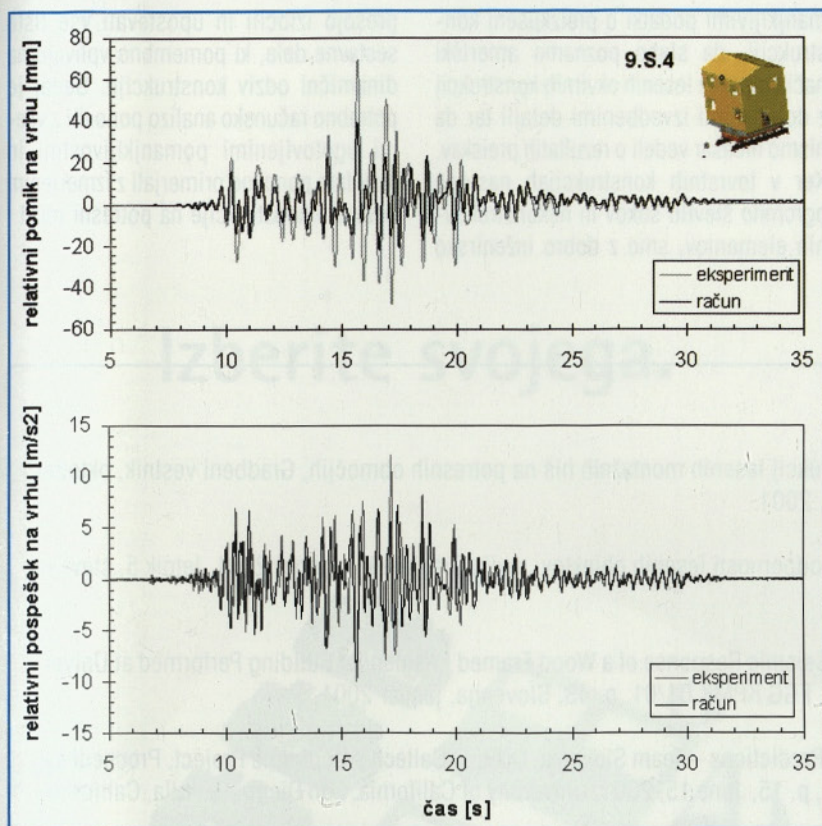
Zadnja stopnja vzbujanja na potresni mizi je predstavljala rušilni potres pri gibanju tal blizu prelomnice, za katerega je značilno kratko trajanje in majhno število zelo močnih sunkov. Iz primerjave rezultatov (slika 19) vidimo dobro ujemanje v časovnem poteku nihanja, medtem ko je izračunana amplituda največjega pomika za polovico manjša od izmerjene. Pri primerjavi pomikov v časovnem zapisu med 10 in 11 sekundo vidimo, da je v odzivu zelo pomembna akumulacija poškodb, saj že močno poškodovana konstrukcija na potresni mizi pospeška v nasprotni smeri sploh ni čutila, medtem ko je relativno malo poškodovan računski model

| zaporednost stopenj                                | začetek faze 9 | 9.S.1 | 9.S.2 | 9.S.3 | 9.S.3R | 9.S.4 | 9.S.5 |
|--|----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| računsko določeno dušenje (% od kritičnega)        | 4              | 4,8   | 4,3   | 5,5   | 4,9    | 4,4   | 7,4   |
| ekperimentalno izmerekno dušenje (% od kritičnega) | 3,7            | 4,4   | 4     | 3,6   | 5,7    | 8,4   | 7,3   |

**Preglednica 5:** Primerjava dušenja konstrukcije po zaključenih posameznih stopnjah obteževanja.



B. DUJIČ, R. ŽARNIČ: Modeliranje in izračun dinamičnega odziva lesenih okvirnih konstrukcij na potresno obtežbo



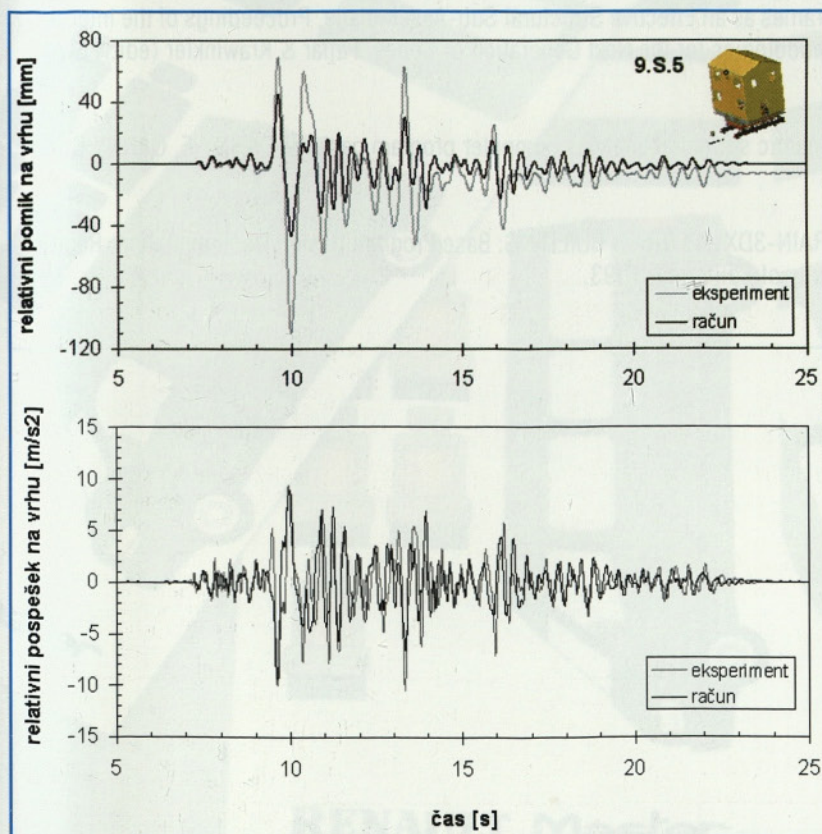
**Slika 18:** Primerjava izmerjenega relativnega pomika in pospeška na vrhu zgornje etaže konstrukcije pri preiskavi na potresni mizi v 4. stopnji z izračunanim odzivom pri dinamičnem vzbujanju konstrukcije z akceleroگرامom Canoga Park z največjim pospeškom tal 0,5 g.

sledili pospešku v nasprotni smeri. Ujemanje relativnih pospeškov na vrhu konstrukcije je tako glede časovnega poteka kakor tudi velikosti amplitud zelo dobro.

### SKLEP

Glede na dobro ujemanje izmerjenih in izračunanih nihanj relativnih pomikov in pospeškov na vrhu zgornje etaže lahko sklepamo, da je poglavitni razlog za slabše ujemanje v velikosti amplitud preveliko dušenje, ki smo ga upoštevali v računskem modelu. Hkrati je bil med preiskavo na potresni mizi pri največjih sunkih izmerjen prek 10 mm velik dvig v sidrih, kar pomembno vpliva na razlike pri največjih amplitudah. Zaradi želje po upoštevanju torzijskih zasukov konstrukcije pa smo pri 3D dinamični analizi s programom CANNY-E uporabili histerezni model, ki je manj eksakten kot ULS histerezni model, s katerim lahko izvedemo le 2D dinamično analizo. Z ULS histereznim modelom bi akumulirali več poškodb in s tem boljše upoštevali utrujanje konstrukcije med posameznimi obtežnimi stopnjami, kar bi pomembno vplivalo na velikost pomikov v 4. in 5. stopnji.

Primerjava računskih rezultatov z izme-



**Slika 19:** Primerjava izmerjenega relativnega pomika in pospeška na vrhu zgornje etaže konstrukcije pri preiskavi na potresni mizi v stopnji 5 in izračunanim odzivom pri dinamičnem vzbujanju konstrukcije z akceleroGRAMOM Rinaldi z največjim pospeškom tal 0,89 g.



B. DUJIČ, R. ŽARNIČ: Modeliranje in izračun dinamičnega odziva lesenih okvirnih konstrukcij na potresno obtežbo

rjenimi nam je potrdila učinkovitost računskega modela za napovedovanje odzivov lahkih lesenih okvirnih konstrukcij (tudi večnadstropnih) na potresno obtežbo. Rezultati so izredno dobri, če upoštevamo, da je dinamični odziv lesenih okvirnih konstrukcij zelo slabo raziskan, da smo razpolagali s po-

manjkljivimi podatki o preizkušeni konstrukciji, da slabo poznamo ameriški način gradnje lesenih okvirnih konstrukcij z določenimi izvedbenimi detajli ter da nismo ničesar vedeli o rezultatih preiskav. Ker v tovrstnih konstrukcijah nastopa ogromno število stikov in nekonstruktivnih elementov, smo z dobro inženirsko

presojo izločili in upoštevali vse tiste sestavne dele, ki pomembno vplivajo na dinamični odziv konstrukcije. Sedaj je potrebno računsko analizo ponoviti z vsemi ugotovljenimi pomanjkljivostmi in rezultate ponovno primerjati z izmerjenim odzivom konstrukcije na potresni mizi!

## LITERATURA

Dujič, B., Žarnič, R., Projektiranje konstrukcij lesenih montažnih hiš na potresnih območjih, Gradbeni vestnik, oktober 2001, letnik 50, str. 240-250, Slovenija, 2001.

Dujič, B., Žarnič, R., Preiskave potresne odpornosti lesenih objektov, revija Gradbenik, oktober 2001, letnik 5, številka 10, str. 58-60, Slovenija, 2001.

Dujič, B., Žarnič, R., Blind Prediction of Seismic Response of a Wood Framed Residential Building Performed at University of Ljubljana, Slovenia, Report No UL FGG KPMK 01/01, p. 43, Slovenija, januar 2001.

Dujič, B., Žarnič, R., Numerical Model & Predictions – Team Slovenia, CUREE-Caltech Woodframe Project, Proceedings of the International Benchmark Workshop, p. 15, June 15, 2001, University of California, San Diego, La Jolla, California, 2001.

Žarnič, R., Gostič, S., Masonry Infilled Frames as an Effective Structural Sub-Assemblage, Proceedings of the International Workshop on Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Fajfar & Krawinkler (edit), Bled, Slovenia, 24-27 June 1997.

Li, K.N., Three-dimensional nonlinear dynamic structural analysis computer program package CANNY-E, CANNY Consultant Pte Ltd, Singapore, 1996.

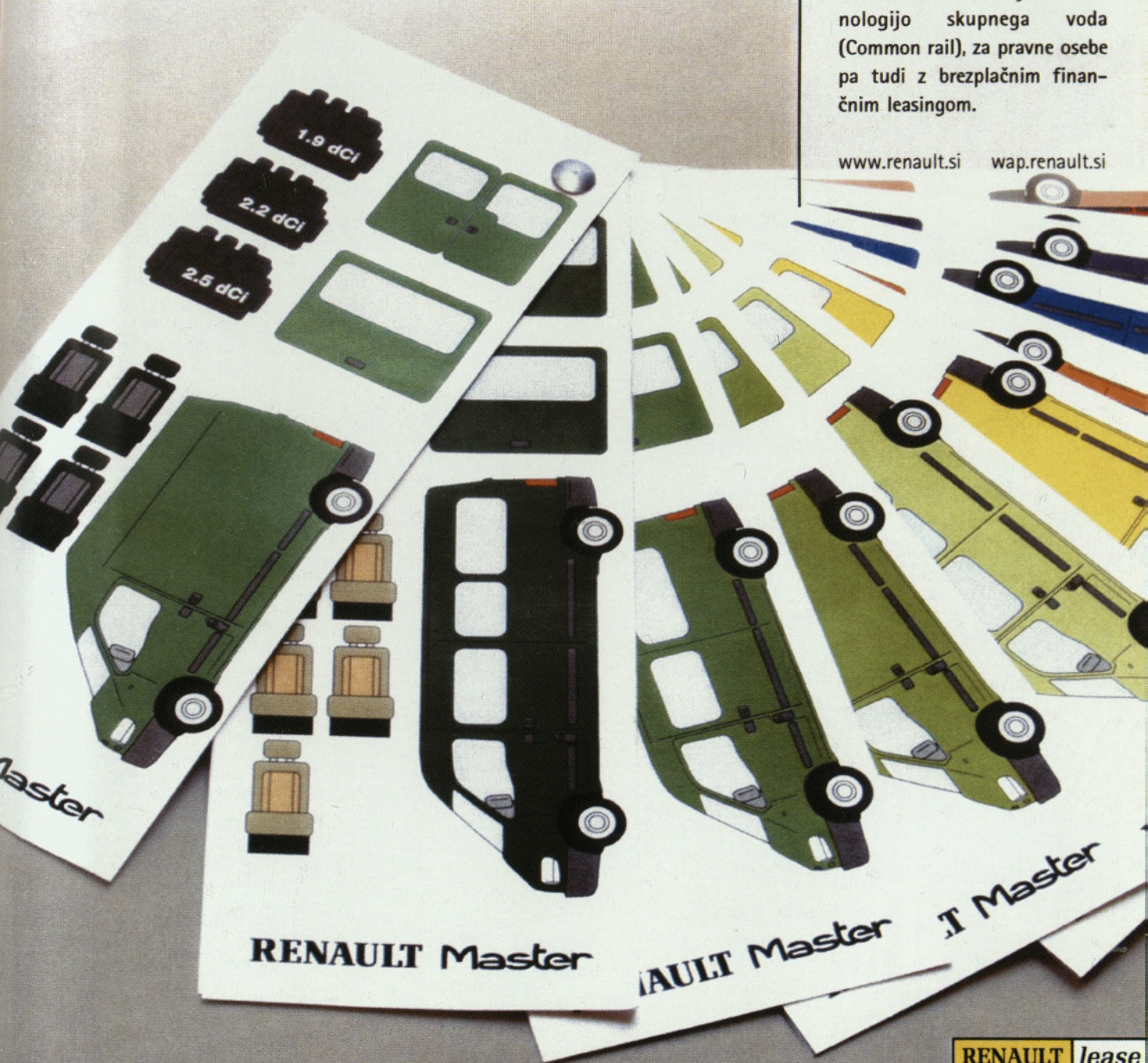
Prakash, V., Powell, G.H., DRAIN-2DX, DRAIN-3DX and DRAIN BUILDING: Base Program Design Documentation, Report no. UCB/SEMM-93/17, Berkeley: University of California, 1993.



Izberite svojega.

Master je mojster za vse vrste prevozov, vse zahteve vašega dela in vse proračune. Namenjen je tistim, ki želijo zmogljivejši, varnejši in varčnejši avto ter pričakujejo visoko stopnjo profesionalnosti. Sestavite svojega Mastra in se odločite za izvedbo, dolžino, višino, serijsko opremo, barvo karoserije in barvo notranjosti, ki vam najbolj ustreza. Renault Master je na voljo s popolno paleto turbodizelskih motorjev s tehnologijo skupnega voda (Common rail), za pravne osebe pa tudi z brezplačnim finančnim leasingom.

[www.renault.si](http://www.renault.si) [wap.renault.si](http://wap.renault.si)



RENAULT Master

RENAULT Master

T Master



Univerza v Ljubljani

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
IKPIR - Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo  
in gradbeno informatiko



Raziskave  
Razvoj  
Izobraževanje  
Svetovanje

30



IKPIR