





# Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN

TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH

INŽENIRJEV INŽENIRSKÉ ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, junij 2006, letnik 55, str. 133-164

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska 3, 1000 Ljubljana, telefon/faks 01 422 4622 v sodelovanju z Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS), ob podpori Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Zavoda za gradbeništvo Slovenije

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**  
izr. prof. dr. **Matjaž Mikoš**  
**Jakob Presečnik**

MSG IZS: **Gorazd Humar**  
**mag. Črtomir Remec**

doc. dr. **Branko Zadnik**

FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**

FG Maribor: **Milan Kuhta**

ZAG: **prof. dr. Miha Tomaževič**

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Sodelavec pri MSG IZS:

**Jan Kristjan Juteršek**

Lektorica:

**Alenka Raič Blažič**

Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

Tajnica:

**Anka Holobar**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

Naklada:

**3000 izvodov**

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5500 SIT; za študente in upokojene 2200 SIT; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 40.687,50 SIT za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80 EUR. V ceni je vstet DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

02017-0015398955

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledkom med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, 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.
- Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- 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.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- 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.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. 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 enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo



# Vsebina • Contents

## Članki • Papers

stran **134**

prof. dr. Tomaž Tollazzi, univ. dipl. inž. grad.

### **TURBO KROŽNO KRIŽIŠČE**

TURBO-ROUNDBABOUT

stran **141**

Maja Kreslin, univ. dipl. inž. grad.,

doc. dr. Matjaž Dolšek, univ. dipl. inž. grad.,

akad. prof. dr. Peter Fajfar, univ. dipl. inž. grad.

### **MATEMATIČNO MODELIRANJE IN ANALIZA ARMIRANOBETONSKE**

#### **STAVBE PO EVROKODU 8**

MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF A REINFORCED

CONCRETE BUILDING ACCORDING TO EUROCODE 8

stran **153**

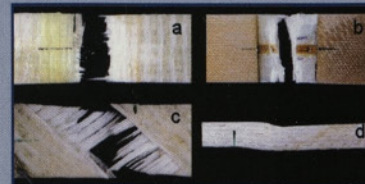
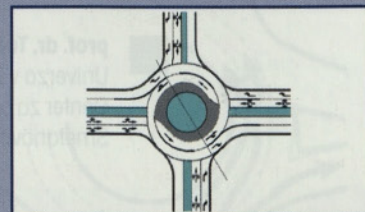
dr. Martin Poljanšek, univ. dipl. inž. grad.,

asist. dr. Bruno Dujič, univ. dipl. inž. grad.,

izr. prof. dr. Roko Žarnić, univ. dipl. inž. grad.

### **EKSPERIMENTALNO PODPRTA ANALIZA KOMPOZITNIH SENDVIČASTIH PLOŠČ**

EXPERIMENTALLY BASED ANALYSIS OF COMPOSITE SANDWICH PANELS



## Odmev

stran **160**

Franc Pečovnik univ. dipl. inž. str.

### **Pripombe na članek Nemški predpis o honorarjih za storitve arhitektov ter**

**inženirjev (HOAI), objavljen v GV, marec 2006**

stran **161**

Odgovor avtorja

## Obvestilo diplomantom FGG UL

## Vabilo za objavo oglasov

## Seminarji

### **PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA**

**GRADBENO STROKO V LETU 2006**

### **Novi diplomanti gradbeništva**

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

## Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Strižna preiskava sendvičaste stropne plošče, foto Martin Poljanšek



# TURBO KROŽNO KRIŽIŠČE

## TURBO – ROUNDABOUT

prof. dr. Tomaž Tollazzi, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,  
Center za prometno tehniko in varnost v prometu,  
Smetanova 17, 2000 Maribor

Strokovni članek

UDK 656.05:625.739

**Povzetek** | Teoretično ima običajno dvopasovno krožno križišče z enopasovnimi izvozi 16 konfliktnih točk, z dvopasovnimi uvozi in izvozi pa 20 konfliktnih točk. Praktično pa pri krožnih križiščih z dvema ali več voznimi pasovi v krožnem vozišču ne govorimo le o konfliktnih točkah, temveč tudi o konfliktnih odsekih, saj vozniku z ničimer ni določeno mesto, na katerem naj bi zamenjal vozni pas v krožnem vozišču. V večpasovnih krožnih križiščih z dvopasovnimi uvozi in izvozi tako nastanejo konflikti pri sekanju krožečih pasov na uvozu, še večji pri menjavi voznega pasu v krožnem vozišču, daleč najbolj nevaren pa je prometni manever zapuščanja krožnega križišča.

To je, ob običajno večjih hitrostih vožnje, tudi eden od glavnih tehničnih vzrokov za nastanek večjega števila prometnih nesreč v dvopasovnih krožnih križiščih kot v enopasovnih. Prej navedene probleme odpravi krožno križišče s spiralnim potekom krožnega vozišča oz. t.i. »turbo krožno križišče«. Osnovna lastnost turbo krožnega križišča je, da so prometni tokovi vodeni ločeno – po ločenih voznih pasovih – še pred uvozom v krožno križišče, ločene vozne pasove pa prometni tokovi zasedajo tudi ves čas vožnje skozi krožno križišče (odpadejo torej prometni manevri prepletanja na krožnem vozišču in sekanja prometnih tokov na uvozi in izvozi). V prispevku so prikazane osnovne lastnosti te novosti, specifičnosti turbo krožnih križišč, osnovni projektno-tehnični elementi le-teh in možni načini izračuna kapacitete. Prikazana vsebina ne predstavlja poziva k pospešeni izgradnji »turbo krožnih križišč« v Sloveniji, temveč le prikaz najnovejših tujih in domačih spoznanj in raziskav na tem področju.

**Summary** | Theoretically, the common two-lane roundabout with one-lane exits, has 16 conflict dots, however, when there are two-lane entries and exits, the number of them is 20. Practically, when discussing about roundabouts with two circular traffic lanes, we, on the contrary, carry out not only conflict dots, but also conflict sections due to the fact there is no definite point where drivers change traffic lane in the circulatory carriageway. In multi-lane roundabouts with two-lane entries and exits, conflicts are related to maneuver intersections of circular traffic-lanes on entries, even more important – changing of traffic lanes in the circulatory carriageway and the most dangerous – leaving the roundabout. High speed is one of the main technical reasons of the increased number of traffic accidents in two-lane roundabouts. The above mentioned problems could be eliminated with spiral circulatory carriageway, recognized also as »turbo roundabout«. Its essential characteristic is that traffic flows are managed separately on severed traffic lanes before the roundabout's entries; traffic lanes are also separated in the circulatory carriageway. In such a case, there is no possibility of interlacing in the circular flow or intersection of traffic flows on entries and exits. The paper presents fundamental characteristics of this novelty, the specific properties of »turbo roundabouts«, basic design elements, and the methods for capacity calculations. The contents do not represent an appeal for the advanced construction of »turbo roundabouts« in Slovenia, but a survey of the newest foreign and national comprehensions and researches in the field.

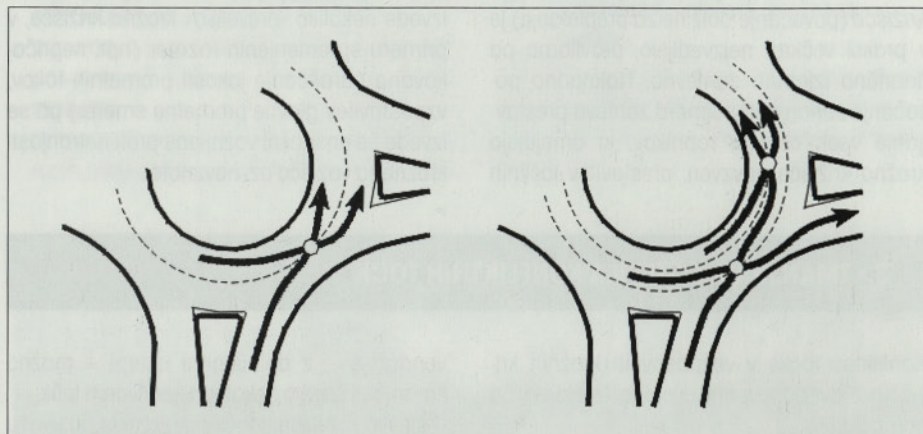


## 1 • ANALIZA PROMETNE VARNOSTI VEČPASOVNIH KROŽNIH KRIŽIŠČ

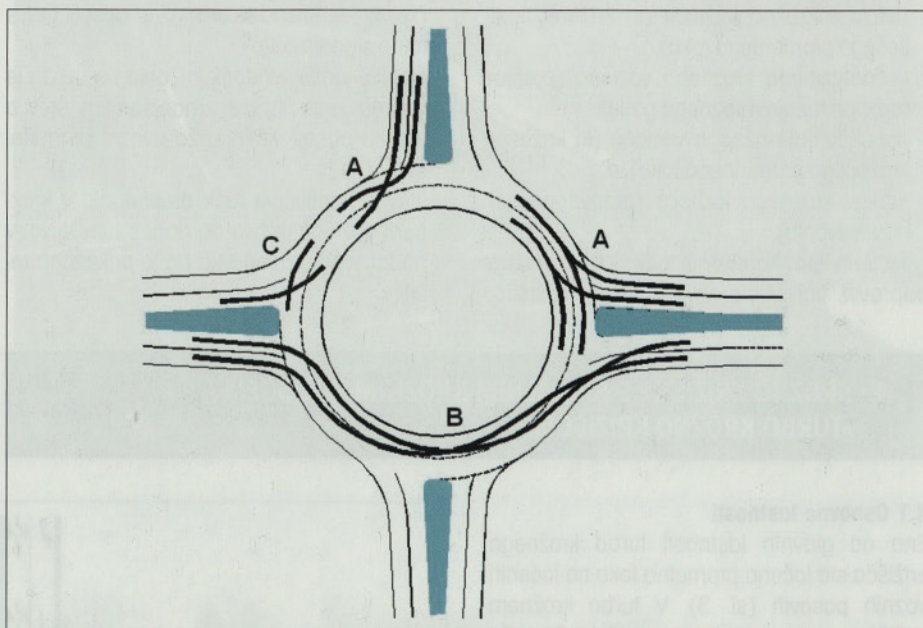
S stališča zagotavljanja prometne varnosti je – v primerjavi s »klasičnimi« križišči – glavna prednost enopasovnih krožnih križišč v odpravi konfliktnih površin in konfliktnih točk prvega (križanje) in drugega (prepletanje) ter zmanjšanje števila konfliktnih točk tretjega (priključevanje, odcepljanje) reda. Teoretično ima klasično štirikrako križišče 32 konfliktnih točk (16 križanj, 8 cepljenj in 8 združevanj), enopasovno krožno štirikrako križišče pa le 8 točk nižjega reda (4 odcepljanja in 4 združevanja) (Tollazzi, 2005). V primeru, da sta v krožnem vozišču dva vozna pasova (sl. 1), se število konfliktnih točk poveča za konfliktno točko prepletanja, katerih število je teoretično enako številu priključnih cest, vendar je to število še vedno manjše od 32 (Dadić, 2001).

Praktično gledano pa pri večpasovnih krožnih križiščih ne govorimo samo o konfliktnih točkah, temveč tudi o konfliktnih odsekih (zaporedju konfliktnih točk), saj vozniku z ničimer ni določeno mesto, na katerem naj bi zamenjal vozni pas. To je, ob običajno večjih hitrostih vožnje, tudi eden od glavnih tehničnih vzrokov za nastanek večjega števila prometnih nesreč v dvopasovnih krožnih križiščih kot v enopasovnih. Vzrok je torej v osnovni tehnični lastnosti velikih krožnih križišč z več kot enim voznim pasom v krožnem vozišču.

V večpasovnih krožnih križiščih z dvopasovnimi uvozi in izvozi so prometno varnostne razmere še nekoliko slabše (sl. 2). V takem križišču nastanejo konflikti pri sekanju krožnih pasov na uvozu (A), še večji pri menjavi voznega pasu v krožnem vozišču (B), daleč najbolj nevaren pa je prometni manever zapuščanja krožnega križišča (C).



Slika 1 • Konfliktno točke v večpasovnih krožnih križiščih z enim uvoznim pasom (Dadić, 2001)



Slika 2 • Konflikti v običajnem dvopasovnem krožnem križišču z dvopasovnimi uvozi in izvozi

## 2 • MOŽNOSTI IZBOLJŠANJA RAVNI PROMETNE VARNOSTI VEČPASOVNIH KROŽNIH KRIŽIŠČ

Poglobljene analize kažejo, da je izboljšanje ravni prometne varnosti večpasovnih krožnih križišč možno doseči z:

- zmanjšanjem števila voznih pasov v krožnem vozišču,
- zmanjšanjem števila voznih pasov na uvozi/izvozi,
- povečanjem polmera krožnega križišča (povečanjem dolžine za prepletanje),
- zmanjšanjem števila konfliktnih točk.

Zmanjšanje števila voznih pasov v krožnem vozišču je v največjem številu primerov neustrezen ukrep, saj se na ta način zmanjšuje prepustna sposobnost križišča, ki postane manjša od zahtevane. Zato se ta ukrep v praksi praviloma ne izvaja. Izjema so primeri, ko se križišče izvede kot dvopasovno zaradi pričakovanih obremenitev na koncu planske dobe, ki pa jih v trenutku izvedbe krožnega križišča še ni. V takih primerih je smiselno z montažnimi

ukrepi dvopasovno krožno križišče preoblikovati v enopasovno in ga aktivirati kot dvopasovno šele v trenutku, ko to postane nujno potrebno zaradi večjih prometnih obremenitev. V nasprotnem primeru povzročamo nepotrebno prepletanje prometnih tokov malih jakosti, ki bi jim zadostoval že en voznik v krožnem vozišču. Še posebej se taka pomanjkljivost pokaže v dvopasovnih križiščih z majhnimi zunanji polmeri, ki jih je nekaj tudi v Sloveniji. Zmanjšanje števila voznih pasov na uvozi/izvozi sicer odpravi konflikte sekanja uvoznih tokov s krožečimi, toda konflikti pri menjavi voznega pasu v krožnem vozišču in konflikti pri zapuščanju krožnega križišča ostajajo



nerešeni. Kljub temu tudi v tem primeru postane vprašljiva zadostna prepustnost krožnega križišča.

*Naknadno povečanje polmera krožnega križišča* (povečanje dolžine za prepletanje) je v praksi večkrat neizvedljivo, praviloma pa finančno izjemno zahtevno. Naknadno povečanje zunanega polmera zahteva prestavljanje vseh cestnih robnikov, ki omejujejo krožno križišče navzven, prestavitev ločilnih

otokov, drogov javne razsvetljave, rušenje površin za kolesarje in pešce... Zaradi tega je bolj pogosta (in pametnejša) ravno obratna opredelitev. Boljše je, da se takoj na začetku izvede nekoliko »preveliko« krožno križišče, v primeru spremenjenih razmer (npr. nepričakovano naraščanje jakosti prometnih tokov, vzpostavitev glavne prometne smeri...) pa se izvede še en krožni vozni pas proti notranjosti krožnega vozišča oz. navznoter.

Glede na prej navedeno je razumljivo, da navedeni trije možni ukrepi ne zagotavljajo popolnega izboljšanja ravni prometne varnosti oz. da določeno izboljšanje prometne varnosti na eni strani povzroči poslabšanje razmer na drugi strani (predvsem pretočnosti).

V nadaljevanju podrobneje analizirajmo četrto možnost oz. zmanjšanje števila konfliktnih točk.

### 3 • ZMANJŠANJE ŠTEVILA KONFLIKTNIH TOČK

Konfliktne točke v večpasovnih krožnih križiščih z dvopasovnimi uvozi in izvozi so na območju:

- krakov krožnega križišča (prepletanje pri približevanju krožnemu križišču),
- uvoza v krožno križišče (in križanju krožečega prometnega toka),
- večpasovnega krožnega vozišča (prepletanje pri menjavi voznega pasu),
- zapuščanja krožnega vozišča (in križanju krožečega prometnega toka) in
- krakov krožnega križišča (prepletanje pri oddaljevanju).

Nekaterih tipov konfliktnih točk sicer ni možno odpraviti, saj jih narekuje sam tip križišča,

endar je – z določenimi ukrepi – možno zmanjšati število nekaterih konfliktnih točk:

- število konfliktnih točk prepletanja na uvozu je možno reducirati s preprečevanjem prepletanja pri približevanju krožnemu križišču (kar je teoretično sicer možno doseči tudi s talno signalizacijo),
- število konfliktnih točk križanja na uvozu je možno reducirati z zmanjšanjem števila voznih pasov, ki jih križa uvozni prometni tok,
- število konfliktnih točk prepletanja v krožnem vozišču je bilo do danes nerešljivo, v nadaljevanju prispevka pa je prikazana rešitev,

– število konfliktnih točk križanja na izvozu je možno reducirati z zmanjšanjem števila voznih pasov, ki jih križa izvozni prometni tok,

– število konfliktnih točk prepletanja na izvozu je možno reducirati s preprečevanjem prepletanja pri oddaljevanju od krožnega križišča (kar je teoretično sicer možno doseči tudi s talno signalizacijo).

Iz navedb v prejšnjih alinejah je torej razvidna ideja zmanjšanja števila konfliktnih točk:

- križanja z zmanjšanjem števila križajočih se prometnih tokov,
- prepletanja z ločenim vodenjem posameznih smernih tokov.

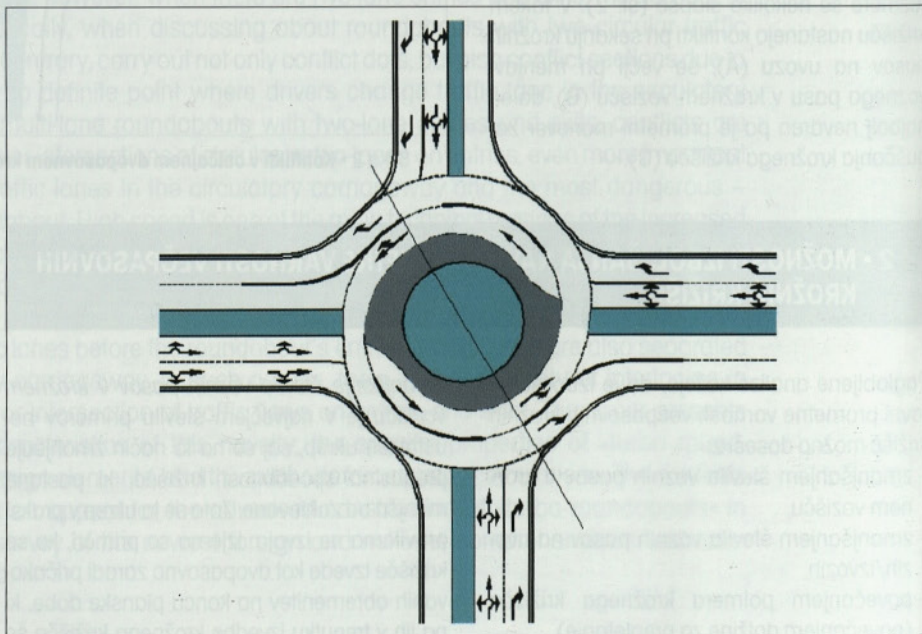
Prej navedeno idejo izpolnjuje krožno križišče s spiralnim potekom krožnega vozišča oz. »turbo krožno križišče«

### 4 • KROŽNO KRIŽIŠČE S SPIRALNIM KROŽNIM VOZIŠČEM – »TURBO KROŽNO KRIŽIŠČE«

#### 4.1 Osnovne lastnosti

Ena od glavnih lastnosti turbo krožnega križišča sta ločena prometna toka na ločenih voznih pasovih (sl. 3). V turbo krožnem križišču so prometni tokovi vodeni ločeno še pred uvozom v krožno križišče, ločena vozna pasova zasedata ves čas vožnje skozi krožno križišče (odpadejo torej prometni manevri prepletanja na krožnem vozišču), ločeno pa sta vodena prometna toka tudi na izvozu iz krožnega križišča. Fizično ločevanje se doseže z deniveliranimi otoki ali delineatorji.

Fizična ločenost voznih pasov se prekinja le na mestih predvidenega uvoza (notranji krožni vozni pas) v krožno križišče. Ko se voznik na uvozu v turbo krožno križišče odloči, na katerem izvozu bo zapustil krožno križišče, odločitve ni več možno spreminjati. Torej, voznik mora izbrati ustrezen vozni pas že na uvozu v krožno križišče, saj turbo krožno križišče ne omogoča (ne dovoljuje) spremembe voznih pasov v krožnem vozišču.



Slika 3 • Osnovni koncept turbo krožnega križišča in os simetrije



Ta navidezna pomanjkljivost je v bistvu osnovna prednost turbo krožnega križišča, saj sta tako prepustnost kot raven prometne varnosti v dvopasovnem turbo krožnem križišču večji kot v »običajnem« dvopasovnem krožnem križišču s po dvema uvoznima in izvoznima pasovoma na vseh krakih križišča.

Zaradi onemogočenega spreminjanja voznih pasov v krožnem vozišču se je potrebno postaviti na primeren vozni pas še pred uvozom v križišče, temu primerna pa mora biti tudi prometna signalizacija. Zaradi tega je prometni signalizaciji v turbo krožnem križišču potrebno posvetiti veliko pozornosti. Ena od lastnosti turbo krožnih križišč je tudi ta, da omogočajo velike hitrosti vožnje skozi križišče (velika prepustnost), zaradi tega je – v primeru dvopasovnih uvozov in izvozov – pešce potrebno voditi v drugi ravnini (podhod ali nadhod).

#### 4.2 Začetek razvoja turbo krožnih križišč

Prvi članek s področja turbo krožnih križišč, z naslovom »Multi-lane roundabouts: exploring new models«, sta napisala Fortuijn in Harte. Predstavljen je bil leta 1997, drugi leta 1999, tretji pa leta 2003 (Fortuijn, 2003).

Ideja (spiralni krožni vozni pas) v bistvu ni nova, saj je povzeta iz zasnove velikih krožnih križišč prejšnje generacije (krožnih trgov). Izhajamo iz dveh osnovnih značilnosti sodobnih krožnih križišč: prednost vozil v krožnem toku pred vozili na uvozu in radialno priključevanje krakov v krožno križišče. Tudi krožno križišče s spiralnim potekom krožnega vozišča vsebuje ti dve značilnosti, torej sodi med krožna križišča.

Nekaj let po objavi prvega prispevka s področja turbo krožnih križišč so na Nizozemskem izvedli nekaj primerov teh križišč. Ideje za njihovo izvedbo so nastajale že v času izdelave prve raziskave s tega področja – pilotskega projekta, ki se je pričel leta 1996 in katerega delni rezultati so prikazani v nadaljevanju prispevka.

#### 4.3 Prva raziskava in njeni rezultati

Rezultati prve raziskave s področja turbo krožnih križišč z naslovom »Multi-lane roundabouts: exploring new models« so bili prvič predstavljeni leta 1997. V istem času so v pokrajini Južna Holandija razvijali eksperimentalne modele novih tipov krožnih križišč, med njimi tudi turbo krožna križišča. Za pilotski projekt sta bila zadolžena raziskovalca Fortuijn in Sloet tot Everlo. Raziskava je vsebovala tudi preveritev naslednjih lastnosti novih tipov krožnih križišč:

- razumljivost oz. zaznavnost novih tipov krožnih križišč,
- primerjava števila potencialnih konfliktnih točk pri »običajnem« dvopasovnem krožnem križišču in predlaganih novih tipih,
- primerjava prepustnosti »običajnega« dvopasovnega krožnega križišča in novih modelov,
- primerjava prometne varnosti nemotoriziranih udeležencev v »običajnem« dvopasov-

nem krožnem križišču in v predlaganih modelih.

#### 4.3.1 Razumljivost krožnega križišča s spiralnim potekom krožnega vozišča

Krožni trg (spiralni krožni vozni pas) v prvotni obliki temelji na večjem številu krožnih voznih pasov, po katerih poteka promet različnih jakosti.



Slika 4 • Fizično ločena vozna pasova v turbo krožnem križišču (Fortuijn, 2003)

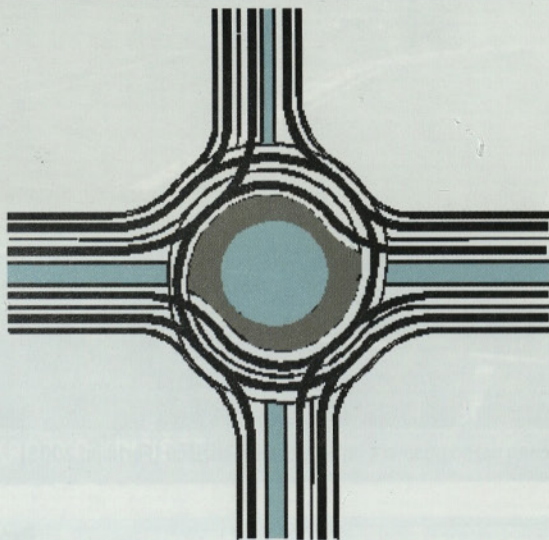


Slika 5 • Smerne puščice v enem od prvih turbo – krožnih križišč (Fortuijn, 2003)





Slika 6 • Prometna signalizacija na ulozu v zadnje izvedeno turbo krožno križišče, Heerlen



Slika 7 • Konfliktne točke v turbo krožnem križišču z dvopasovnimi ulozimi in po dvema paroma enopasovnih in dvopasovnih izvozov (4 križanja, 6 prepletanj in 4 cepljenja)



Slika 8 • Prehod za kolesarje preko kraka turbo krožnega križišča (Fortuijn, 2003)

Kasneje se je ta prvotna zasnova spremenila v sistem koncentričnih krogov (krožnih vozni pasov), saj so praktične izkušnje pokazale, da je razumljivost velikih »običajnih« večpasovnih križišč slaba in da je v veliki meri odvisna od talne signalizacije, kar pa je vprašljivo v razmerah slabe zaznavnosti in vidljivosti.

Krožno križišče s spiralnim krožnim voziščem odpravi te probleme, saj voznik vsak trenutek ve, kje je njegova vozna površina. Vsakemu prometnemu toku je namreč namenjena le ena površina, ki je od drugih ločena ali z deniveliranimi elementi (sl. 4) ali z nedvoumno talno signalizacijo (sl. 5).

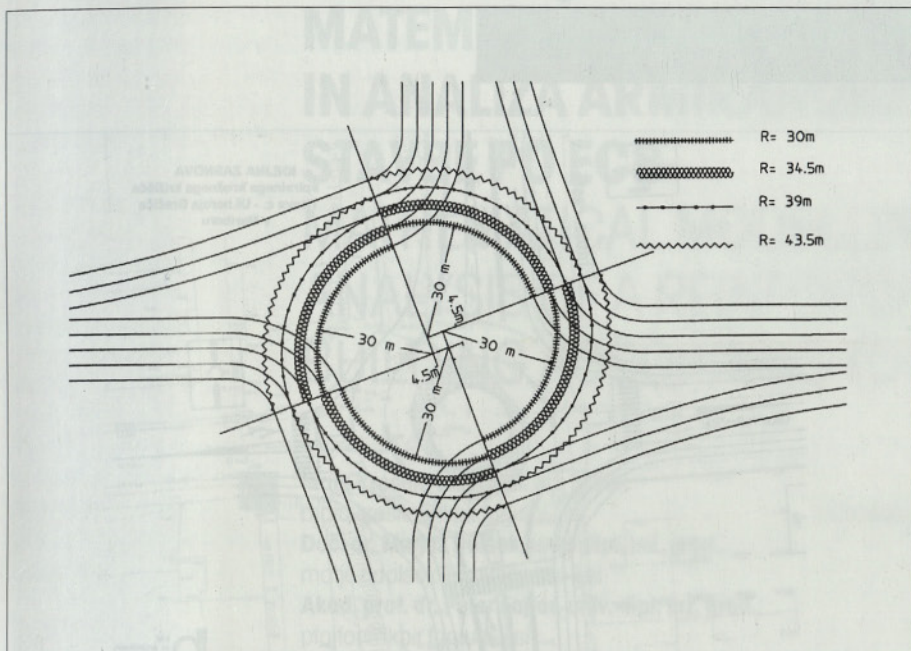
Zaradi onemogočenega spreminjanja vozni pasov v krožnem vozišču se je potrebno postaviti na ustrezen vozni pas še pred ulozom, temu primerna pa mora biti tudi prometna signalizacija.

Prometni signalizaciji v turbo krožnem križišču je potrebno posvetiti veliko pozornost, saj je samo od nje odvisna njegova razumljivost. Zajema portale pred ulozom, smerne table, talne črte in smerne puščice na vozišču. Na tem mestu je potrebno poudariti, da so na začetku razvoja oblikovalci predlagali (in tudi izvajali) drugačne smerne puščice (sl. 5), s časom pa je prevladala opredelitev, da je bolje uporabiti talno signalizacijo običajnih oz. ustaljenih oblik (sl. 6).

#### 4.3.2 Primerjava števila konfliktnih točk pri klasičnem dvopasovnem in turbo krožnem križišču

Prednost spiralnega krožnega voznega pasu je, da ni prepletanja v krožnem vozišču, in to na kratki razdalji med enim ulozom in naslednjim izvozom. To ne prispeva le k udobnosti vožnje, temveč tudi zmanjšuje število konfliktnih točk. Slednje dejstvo velja tudi v primeru, ko so vsi izvozi enopasovni. Teoretično ima »običajno« dvopasovno krožno križišče z enopasovnimi izvozi 12 konfliktnih točk v krožnem vozišču in 4 konfliktne točke prepletanja (skupaj 16). Turbo krožno križišče ima 10 konfliktnih točk v krožnem vozišču in 2 prepletanja izven krožnega vozišča (skupaj 12). Še nekoliko slabše je v »običajnem« dvopasovnem krožnem križišču z dvopasovnimi izvozi in ulozimi; neskončno število konfliktnih točk oz. tudi konfliktni odseki (zaporedje konfliktnih točk). Pri turbo krožnem križišču ni konfliktnih odsekov, število konfliktnih točk pa je dosti manjše (sl. 7).





Slika 9 • Primer oblikovanja turbo krožnega križišča (Fortuijn, 2001)



Slika 10 • Rekonstruirano krožno križišče, Heerlen

#### 4.3.3 Primerjava prepustnosti »običajnega« dvopasovnega in turbo krožnega križišča

Turbo krožno križišče je razvito za situacije, ki so tipične za ceste zunaj urbanega okolja: glavna regionalna cesta z veliko jakostjo prometnega toka prečka stranske prometne smeri z majhnimi prometnimi jakostmi.

V publikaciji »Multi-lane roundabouts: exploring new models« je za izračun prepustne sposobnosti turbo krožnega križišča predlagana modificirana Bovyjeva enačba za izračun kapacitete krožnega križišča. Ta dopolnitev omogoča njeno uporabo tudi za krožna križišča s spiralnim krožnim voziščem. Na podlagi modificirane Bovyjeve enačbe so

v pokrajini Južna Holandija razvili eksperimentalne modele z namenom približnega izračuna kapacitete alternativnih oblik krožnega križišča. Izvedena je bila primerjava med turbo krožnim križiščem in »običajnim« dvopasovnim krožnim križiščem z enopasovnimi izvozi. Primerjava je pokazala, da je turbo krožno križišče v precejšnji prednosti. Za to obstajata dva vzroka:

- uporaba notranjega krožnega voznega pasu postane atraktivnejša, ker ni potrebe za prepletanjem,
- uvozni prometni tok ni več omahljiv pri uvozu v krožno vozišče (voznik opazuje samo vozila na enem krožnem voznem pasu), s čimer se poveča prepustna sposobnost uvozov.

#### 4.3.4 Primerjava prometne varnosti kolesarskega prometa pri »običajnem« dvopasovnem in turbo krožnem križišču

Popolnoma jasno je, da prometni tok kolesarjev – zaradi svoje jakosti – na Nizozemskem zahteva izvennivojsko vodenje v primeru, če le-ta seka več kot dva dovozna in en izvozni pas kraka turbo krožnega križišča. Toda v praksi večkrat nastopi situacija, ko tega enostavno ni možno izvesti. Tako CROW v svoji publikaciji 126 (CROW, 1998) navaja tudi rešitev, ko kolesar prečka dva dovozna in en izvozni pas kraka turbo krožnega križišča. Prehod je oblikovan tako, da preprečuje velike hitrosti kolesarjev pri prečkanju z zamikom kolesarskega prehoda na območju ločilnega otoka za širino dvosmerne kolesarske steze in z odklikom navzven iz ustja krožnega križišča za približno 10 m (sl. 8).

Na Nizozemskem zagotavljajo, da je – prav zaradi dviga ravni prometne varnosti in pretočnosti – večpasovna semaforizirana krožna križišča (kar je na Nizozemskem običajno) smiselno preurejati v krožna križišča s spiralnim potekom krožnega vozišča, saj je pravilo prednosti povsem razumljivo tudi v primeru, ko semaforji ne delujejo.

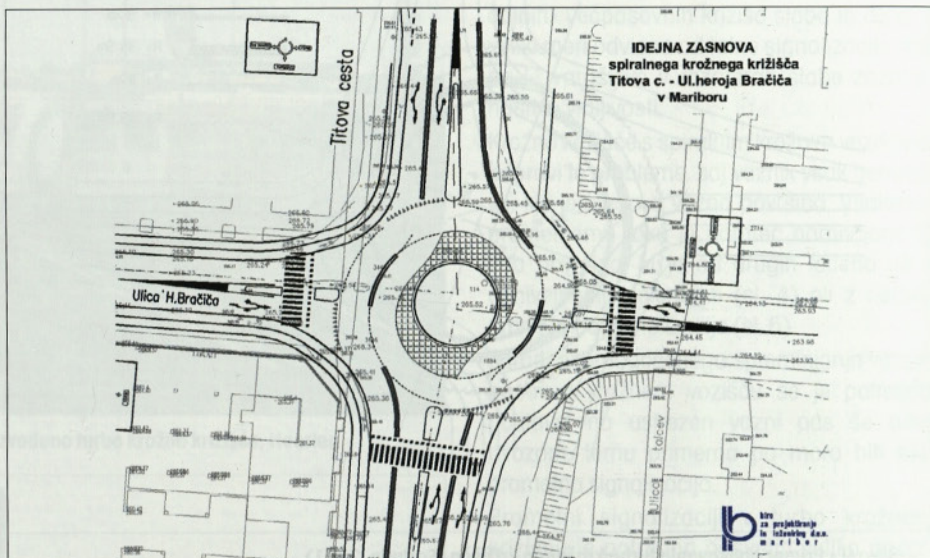
Pričakujejo, da bo veliko število »običajnih« dvo – in tripasovnih krožnih križišč v bližnji prihodnosti preurejeno v turbo krožna križišča, ki s svojo lastnostjo večjega števila središč krožnih lokov krožnih vozišč (pri štirirakem krožnem križišču so štiri središča (sl. 9) omogočajo boljšo prevoznost krožnega križišča.

S procesom rekonstrukcije nekaterih velikih dvopasovnih križišč so že pričeli in v zadnjih dveh letih so že štiri »običajna« dvopasovna krožna križišča dobila novo obliko (sl. 10).



## 5 • PRVE SLOVENSKE IDEJE

Ideja krožnih križišč s spiralnim potekom krožnega vozišča se je izjemno hitro (praktično v dveh letih) prenesla tudi v slovenski prostor. Vzrokov za to je več, eden od pomembnejših pa je vsekakor dejstvo, da v Sloveniji delamo premajhna dvopasovna krožna križišča, ki pa so »skregana« z zakonskim določilom o obvezni uporabi notranjega krožnega voznega pasu v primeru, če voznik ne zapušča krožnega križišča na prvem naslednjem izvozu ter z dolžinami, ki jih potrebuje povprečen voznik za menjavo voznega pasu v krožnem vozišču. Temu primerno se tudi pri nas že pojavljajo prve ideje o izvedbi dvopasovnih križišč brez prepletanj prometnih tokov na krožnem vozišču (sl. 11), ki nastajajo v sodelovanju med »projektivo« in »fakulteto«.



Slika 11 • Idejna zasnova spiralnega krožnega križišča v Mariboru

## 6 • SKLEP

Slabost velikih večpasovnih krožnih križišč z dvopasovnimi uvozi in izvozi je veliko število konfliktnih točk. Konflikti med različnimi smernimi prometnimi tokovi nastopajo pri sekanju krožečih pasov na uvozu, pri menjavi voznega pasu v krožnem vozišču in pri zapuščanju krožnega križišča. To je, ob običajno večjih možnih hitrostih vožnje, tudi eden od

glavnih tehničnih vzrokov za nastanek večjega števila prometnih nesreč v dvopasovnih krožnih križiščih kot v enopasovnih.

Te probleme rešuje krožno križišče s spiralnim krožnim voziščem oz. t.i. »turbo krožno križišče«.

V prispevku so prikazane osnovne lastnosti te novosti, specifičnosti turbo krožnih križišč,

osnovni projektno-tehnični elementi le-teh in eden od možnih načinov izračuna kapacitete. Na Nizozemskem so teoretične predpostavke turbo krožnih križišč že preverjene na nekaterih konkretnih primerih večpasovnih krožnih križišč, ki so preurejena v novo obliko, ideja krožnih križišč s spiralnim potekom krožnega vozišča pa se je zelo hitro prenesla tudi v slovenski prostor. Predstavljena tematika ni poziv k pospešeni izgradnji »turbo krožnih križišč« v Sloveniji, temveč le prikaz najnovejših tujih in domačih spoznanj in raziskav na tem področju.

## 7 • ZAHVALA

Zahvaljujem se g. Zoranu Kenjiću iz Ministrstva za promet in vode Nizozemske za sliki 6 in 10.

## 8 • LITERATURA

CROW, Eeheid inrotondes (Uniformity in roundabouts), publikacija 126, Nizozemska, 1998.

Dadić, I., Tollazzi, T., Legac, I., Čičak, M., Marić, V., Kos, G., Brlek, P., Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika – rotora, Institut prometa i veza, Zagreb, 2001.

Fortuijn, L. G. H., Carton, P. J., Turbo Circuits: A well-tried concept in a new guise, Board of Economy and Transport, Province of South Holland, objavljeno na <http://www.pzh.nl/>, 2001.

Fortuijn, L. G. H., Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Confort and Safety, Province of South-Holland and Delft University of Technology, The Netherlands, predstavljeno na Annual Meeting 2003 na Institute of Transportation Engineers (ITE), Seattle, USA, 2003.

Tollazzi, T., Krožna križišča, druga dopolnjena izdaja, Maribor, Fakulteta za gradbeništvo, 2005.



# MATEMATIČNO MODELIRANJE IN ANALIZA ARMIRANOBETONSKE STAVBE PO EC8

## MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING ACCORDING TO EC8

**Maja Kreslin, univ. dipl. inž. grad.,**

maja.kreslin@ikpir.fgg.uni-lj.si

**Doc. dr. Matjaž Dolšek, univ. dipl. inž. grad.,**

matjaz.dolsek@ikpir.fgg.uni-lj.si

**Akad. prof. dr. Peter Fajfar, univ. dipl. inž. grad.,**

pfajfar@ikpir.fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK 693.55:699.841:006.8(4) EC8:51-7

**Povzetek** | V članku je prikazana analiza armiranobetonske konstrukcije stavbe FGG v Ljubljani pri potresni obtežbi. Obravnavanih je več matematičnih modelov, ki ustrezajo za simulacijo nihanja pri močnejših vzbujanjih in pridejo v poštev za analizo po EC8. Poenostavitve modela konstrukcije, vključno s psevdotridimenzionalnim modelom, ne vplivajo bistveno na globalne rezultate. Za simulacijo zelo šibkih nihanj (ambientne vibracije) je treba vključiti v model tudi nekonstrukcijske elemente, ki povečajo togost konstrukcije za faktor 4 do 6. Analiza po EC8 je pokazala, da so nekatera določila precej nepraktična in včasih tudi ne dovolj jasna. Možnost poenostavitve modela z uvedbo sekundarnih elementov zahteva precej konservativen dokaz nosilnosti sekundarnih elementov in se verjetno ne bo uveljavila v praksi. Slučajno ekscentričnost je mogoče upoštevati na več načinov, vsi pa zahtevajo precej dodatnega dela, z izjemo poenostavljene metode, ki je dovoljena samo pri metodi z vodoravnimi silami. Obremenitve konstrukcije, dobljene z metodo z vodoravnimi silami, so večje od tistih, dobljenih z modalno analizo.

**Summary** | In the paper, the analysis of the reinforced concrete building structure of FGG in Ljubljana is presented. Several mathematical models appropriate for simulation of vibrations in the case of strong ground motion, complying with the EC8 requirements, have been investigated. The simplifications of the mathematical model, including also the pseudo three-dimensional model, do not influence the global structural response considerably. In the case of very weak ambient vibrations, nonstructural elements have to be included in the model. They increase the stiffness of the structure for a factor of 4 to 6. The analysis according to EC8 indicated that some EC8 requirements are unpractical and sometimes not clear enough. The option of simplifying the model with the use of secondary elements require a rather conservative check of the strength of the secondary elements and will not be likely applied in practice. Several approaches are available for taking into account the accidental eccentricity. All of them require a considerable additional work, with the exception of the simplified approach, which is allowed only in the case of the equivalent static analysis. Forces and deformations, obtained by the equivalent static analysis, are larger than those obtained by the modal analysis.



## 1 • UVOD

Za projektiranje potresnoodpornih objektov je bil sprejet evropski standard EN 1998, imenovan Evrokod 8 ali krajše EC8, ki ga sestavlja več delov. Ta standard, opremljen z nacionalnimi dodatki za uporabo v Sloveniji, je privzet tudi kot slovenski standard SIST EN 1998-1. Standard je bistveno bolj zahteven od obstoječih predpisov za potresnoodporno projektiranje. V fazi uvajanja EC8 proučujemo različne možnosti in zahteve novega standarda na različnih primerih konstrukcij.

V prispevku je kot primer konstrukcije obravnavana stavba FGJ na Jamovi 2 v Ljubljani. Armiranobetonska konstrukcija je precej komplicirana, sestavljena iz jeder (stev) in okvirov. Prikazana je samo analiza konstruk-

cije ob predpostavki, da so geometrija konstrukcije in vsi njeni elementi določeni. Dimenzioniranje elementov ni obravnavano. Prav tako v tem prispevku ni obravnavana ocena potresne odpornosti obstoječe stavbe, ki je bila projektirana še pred uveljavitvijo prvih »potresnih predpisov«. Prikazanih je več računskih modelov stavbe. Izhajali smo iz osnovnega modela, ki zajema vse elemente konstrukcije in proučevali vplive nekaterih poenostavitev, ki vodijo do enostavnejših modelov. Ta skupina modelov je v skladu z EC8, ki predvideva simulacijo obnašanja odziva konstrukcije pri močnih potresih. Za simulacijo obnašanja odziva konstrukcije pri majhnih nihanjih, do katerih

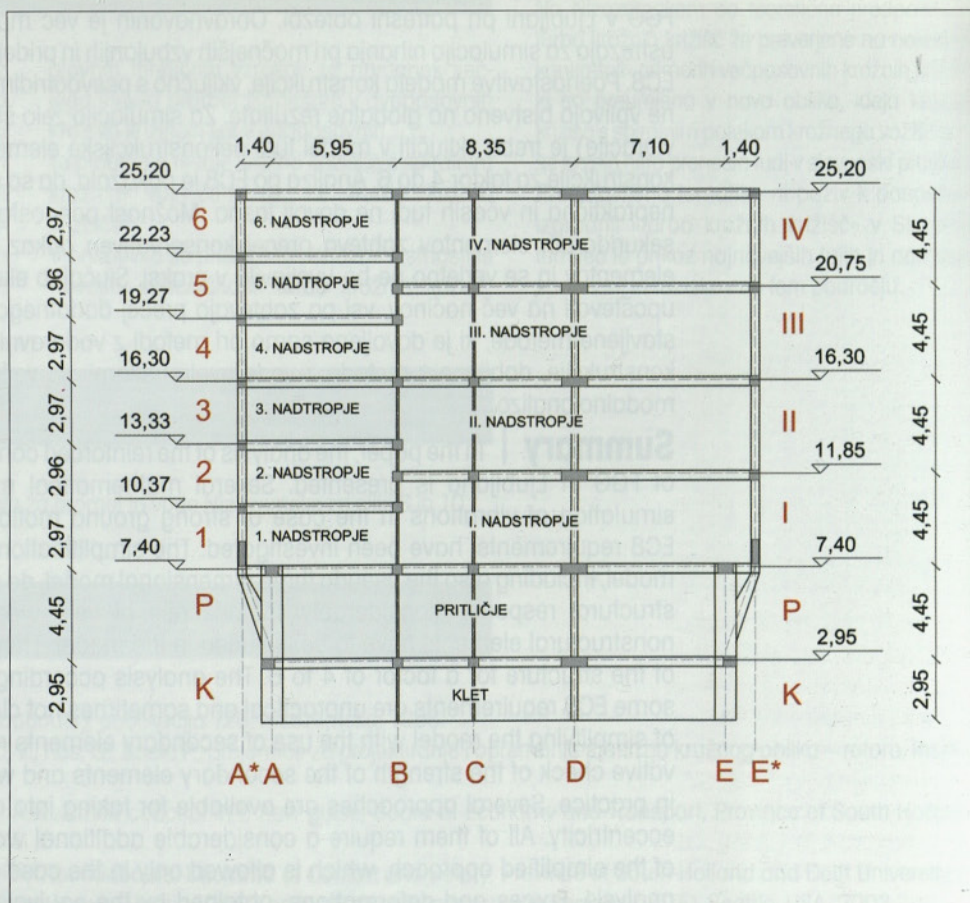
pride pri ambientnih vibracijah, pa smo izdelali model, ki je vključeval tudi tako imenovane nekonstrukcijske elemente. Za modeliranje smo uporabili dva programa, ETABS (CSI, 2002) in EAVEK (Fajfar, 1987). Pri obravnavanih modelih smo primerjali vrednosti nihajnih časov za prve 3 nihajne oblike in ustrezne efektivne mase. Izbran poenostavljeni model smo analizirali v skladu z EC8 in pri tem uporabili dve metodi analize (modalno analizo in poenostavljeno analizo z vodoravno obtežbo). Posebno pozornost smo namenili slučajni ekscentričnosti, ki je v EC8 precej nejasno definirana. Opisani in uporabljeni so trije možni načini upoštevanja slučajne ekscentričnosti. Prikaz rezultatov je omejen na globalne količine (celotno prečno silo, pomike na vrhu in etažne pomike, za katere v tem članku uvajamo ime zamik).

## 2 • OPIS KONSTRUKCIJE IN OBTEŽBE

Obravnavana konstrukcija je obstoječi objekt Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Jamova 2, ki je bila projektirana leta 1962 po takratnih predpisih. Upoštevana je bila minimalna vodoravna obtežba v velikosti 2 % navpične obtežbe (Prelog, 1962).

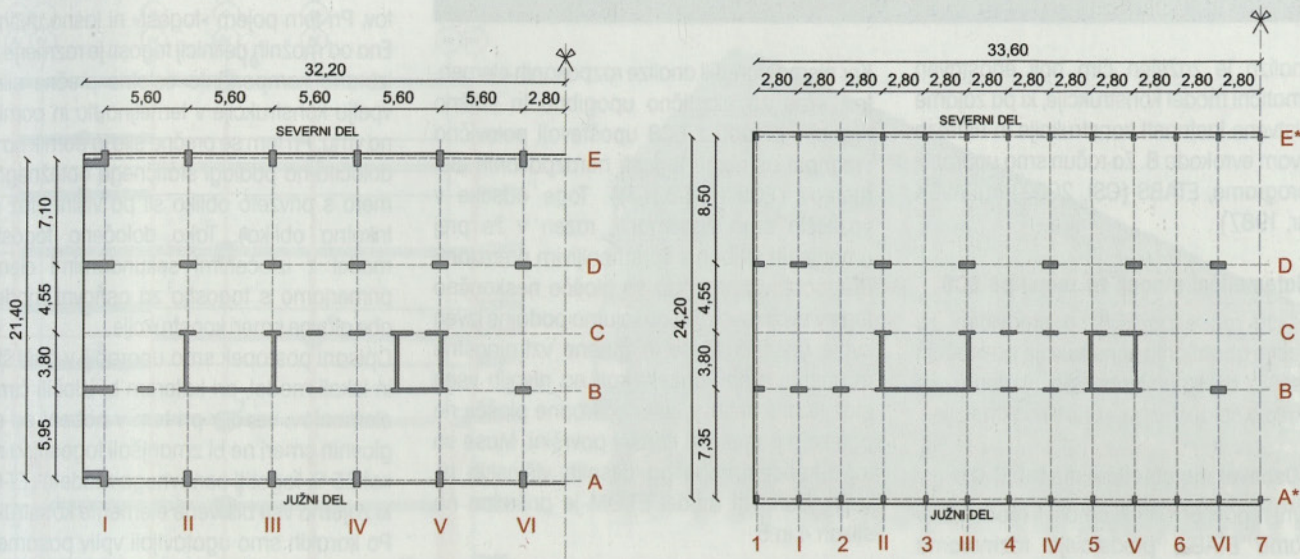
Konstrukcijo stavbe predstavlja armiranobetonski mešani sistem okvirov in sten. Tloris in prerez stavbe sta prikazana na slikah 1 in 2. Stavba je podkletena ter ima poleg pritličja še štiri višja nadstropja in šest nižjih nadstropij (male etaže). Konstrukcijo v vzdolžni smeri sestavljajo štiri vrste stebrov, v prečni smeri pa te stebre povezuje masivni rebričast strop. Na stiku reber z okvirjem so v višini etaž izvedeni armiranobetonski vzdolžni nosilci, ki so iste višine kot strop. Konstrukcijo sestavljajo tudi štiri jedra, dve manjši in dve večji, ki se vklaplajo v južni notranji okvir in potekajo od temeljev do vrha konstrukcije.

Obravnavana stavba ima dve posebnosti. Ena izmed njih je ta, da je nad pritličjem na južnem delu stavbe šest nižjih nadstropij (male etaže), na severnem delu pa so štiri višja nadstropja. Strop poteka po celotnem tlorisu le nad kletjo, pritličjem ter drugim in četrtem



Slika 1 • Prerez stavbe v osi IV





Slika 2 • Tloris kleti in pritličja (levo) ter tloris nadstropij (desno)

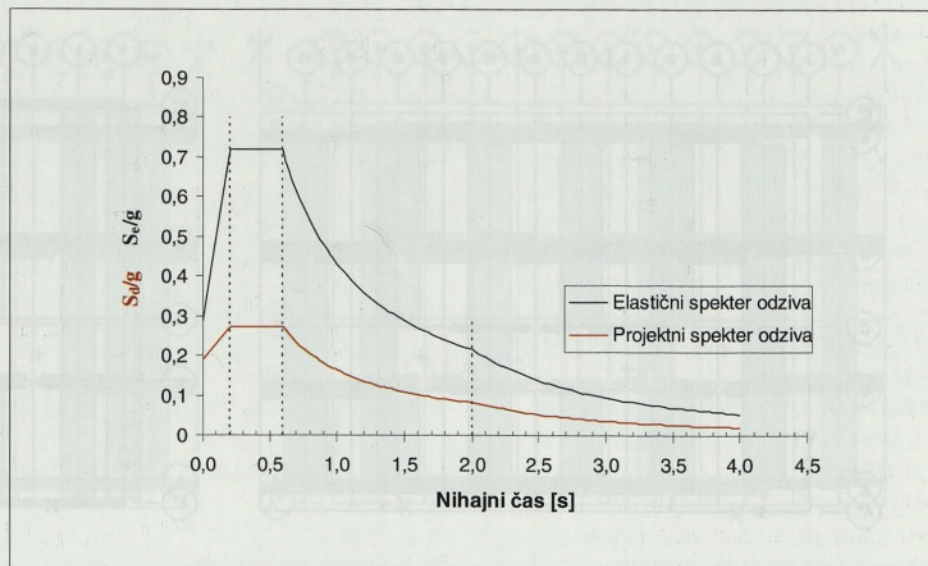
nadstropjem. Druga posebnost je zožitev stavbe na prehodu iz višjih etaž v pritličje. Stavba se zoži po dolžini in širini. Ta posebnost je rešena s prostorskimi konzolami, ki so izvedene na vrhu zunanjih stebrov v pritličju.

Za celotno konstrukcijo je uporabljen beton, ki ustreza C25/30, izjema so stebri do vključno II. nadstropja višjih etaž oziroma 3. nadstropja malih etaž, ki ustrezajo betonu C30/37.

Poleg lastne teže konstrukcije, ki jo sestavljajo stebri, nosilci, jedra in plošče, upoštevamo še stalno obtežbo, ki jo predstavljajo teža tlakov, zaključnih slojev, predelnih sten ter fasadnih elementov, in za katero predpostavimo, da je enakomerno zvezno porazdeljena po tlorisu stavbe. Za koristno obtežbo smo glede na kategorijo uporabe obravnavanega objekta (C2) predpostavili vrednost  $4,0 \text{ kN/m}^2$  (SIST EN 1991-1-1, preglednica 6.2). Pri določanju projektnega potresnega vpliva smo upoštevali v celotnem iznosu vse mase, ki so povezane s težnostnimi silami. Mase, ki izhajajo iz spremenljivega vpliva, smo zmanjšali s faktorjem  $\psi_{Ei}$  (EC8-1, 3.2.4(2)). Faktor  $\psi_{Ei}$  je določen s produktom  $\psi_{2i}$  (SIST EN 1990, preglednica A.1.1) in koeficientom  $\psi$  (EC8-1, preglednica 4.2). V vrhnji etaži tako upoštevamo 60 % mase, ki izhaja iz spremenljivega vpliva, v ostalih etažah pa le 30 %.

Stavba se nahaja v Ljubljani. Ocenili smo, da tla ustrezajo tlem tipa C (EC8-1, preglednica 3.1). Kasneje je študija vpliva tal pokazala, da je bolj korektno opredeliti tla kot tla tipa E. Dejstvo pa je, da so vrednosti v elastičnem spektru od nihajnega časa  $T = 0,6$  naprej praktično enake za oba tipa tal (vrednosti za tip C so večje za 1 %), zato opredelitev tal v obravnavanem primeru praktično nima vpliva na rezultate. Za projektni pospešek tal za Ljubljano odčitamo iz karte, ki je sestavni

del EC8-1, vrednost  $a_g = 0,25g$ . Elastični spekter odziva, s katerim je predstavljeno potresno gibanje na obravnavanih tleh na površini, je prikazan na sliki 3. Omenjena slika prikazuje tudi projektni spekter pospeškov (rdeča črta), ki ga bomo uporabili za potresno analizo, saj je v njem s faktorjem obnašanja  $q (q = 2,64)$  zajeta sposobnost konstrukcijskega sistema, da sipa energijo v nelinearnem območju.



Slika 3 • Elastični in projektni ( $q = 2,64$ ) spekter pospeškov



### 3 • MODELIRANJE

Za analizo je zaželen čim bolj enostaven matematični model konstrukcije, ki pa zajame vse bistvene lastnosti konstrukcije in ustreza zahtevam evrokoda 8. Za račun smo uporabili dva programa, ETABS (CSI, 2002) in EAVEK (Fajfar, 1987).

#### 3.1 Matematični modeli za račun po EC8

Modeli za račun po EC8 so predvideni za simulacijo obnašanja konstrukcije pri močnih potresnih obremenitvah, pri katerih se pričakujejo določene poškodbe konstrukcije.

##### 3.1.1 Osnovni matematični model ET-OM

Osnovni model ET-OM, ki smo ga modelirali v programu ETABS, predstavlja razmeroma kompliciran prostorski okvir, sestavljen iz jeder, stebrov in prečk. Vsak element, vključno z jedri, je v vsaki etaži modeliran z enim samim linijskim elementom. Zaradi velikega razpona med stebri v prečni smeri pri prenosu obtežbe v tej smeri ne sodeluje celotna širina stropa. Zato smo določili nadomestne »T« nosilce, ki povezujejo stebre v prečni smeri. Pri tem smo uporabili določila EC2-1-1 (poglavje 5.3.2.1, Določitev efektivne širine pasnic). Posebnost pri modeliranju so predstavljale prostorske konzole, ki skrbijo za prenos sil iz prvega nadstropja v pritličje. Modelirali smo jih kot stebre s spremenljivim prerezom in togimi odseki. V modelu smo upoštevali razpokanost prerezov.

Ker nismo naredili analize razpokanih elementov, smo za elastično upogibno in strižno togost v skladu z EC8 upoštevali polovično vrednost ustrezne togosti nerazpokanih elementov (EC8-1, 4.3.1(7)). Toge odseke v vozliščih smo zanemarili, razen v že prej omenjenih stebrih s spremenljivim prerezom. Predpostavili smo, da so plošče neskončno toge v svoji ravnini in absolutno podajne izven svoje ravnine. Mase in masne vztrajnostne momente smo koncentrirali na nivojih vseh etaž, tudi v tistih, v katerih stropne plošče ne potekajo po celotni tlorisni površini. Mase so tako koncentrirane na desetih višinskih nivojih. Osnovni model ET-OM je prikazan na slikah 4 in 5.

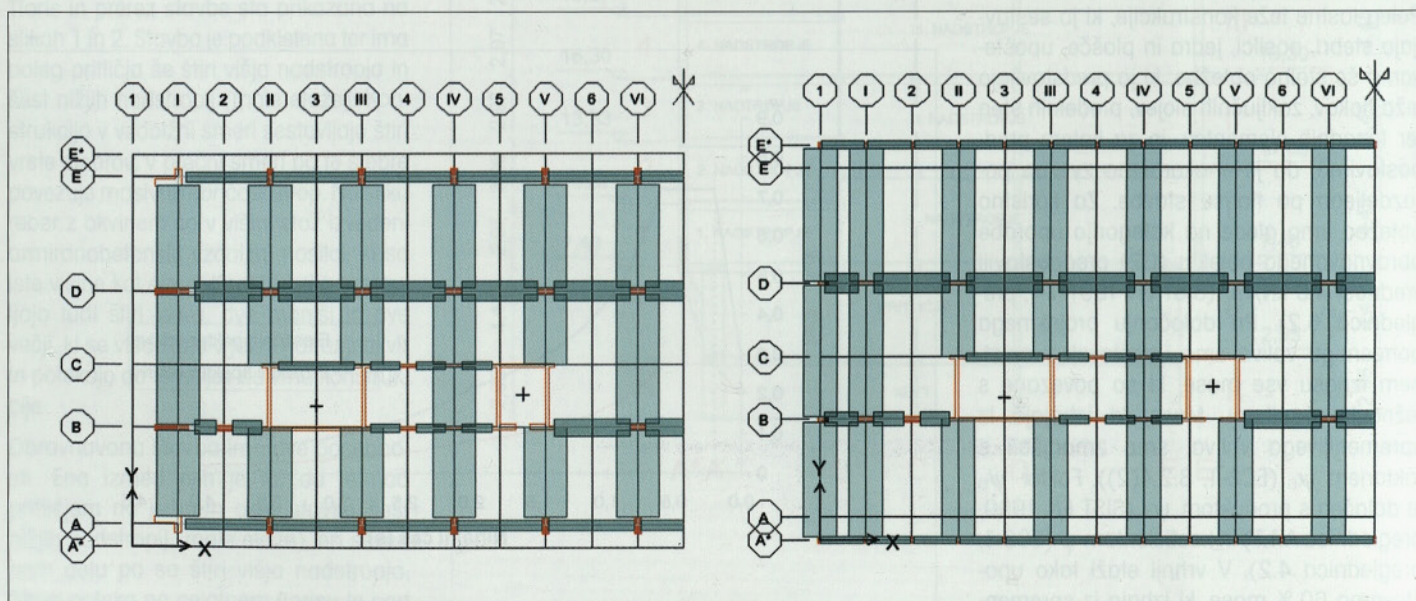
##### 3.1.2 Poenostavitev osnovnega modela: Model ET-4M

Potresna obtežba se v bistvu razdeli na posamezne nosilne elemente konstrukcije v razmerju togosti. Elementi z majhno togostjo prevzamejo le majhen del celotne obtežbe, zato v globalu ne naredimo velike napake, če jih ne upoštevamo v modelu in s tem poenostavimo analizo. EC8 tako predvideva možnost vpeljave sekundarnih elementov (EC8-1, 4.2.2). Sekundarni elementi so definirani kot manj pomembni elementi konstrukcije, ki ne tvorijo nosilnega sistema stavbe za prenos vodoravne akcije. Po EC8 togost vseh sekun-

darnih potresnih elementov ne sme preseči 15 % togosti vseh primarnih potresnih elementov. Pri tem pojem »togost« ni jasno definiran. Ena od možnih definicij togosti je razmerje med izbrano komponento celotne prečne sile ob vpetju konstrukcije v temeljna tla in pomikom na vrhu. Pri tem se prečna sila in pomik na vrhu določita na podlagi statičnega obtežnega primera s privzeto obliko sil po višini etaž (npr. trikotna oblika). Tako določeno togost za model z izločenimi sekundarnimi elementi primerjamo s togostjo za osnovni model za obe glavne smeri konstrukcije.

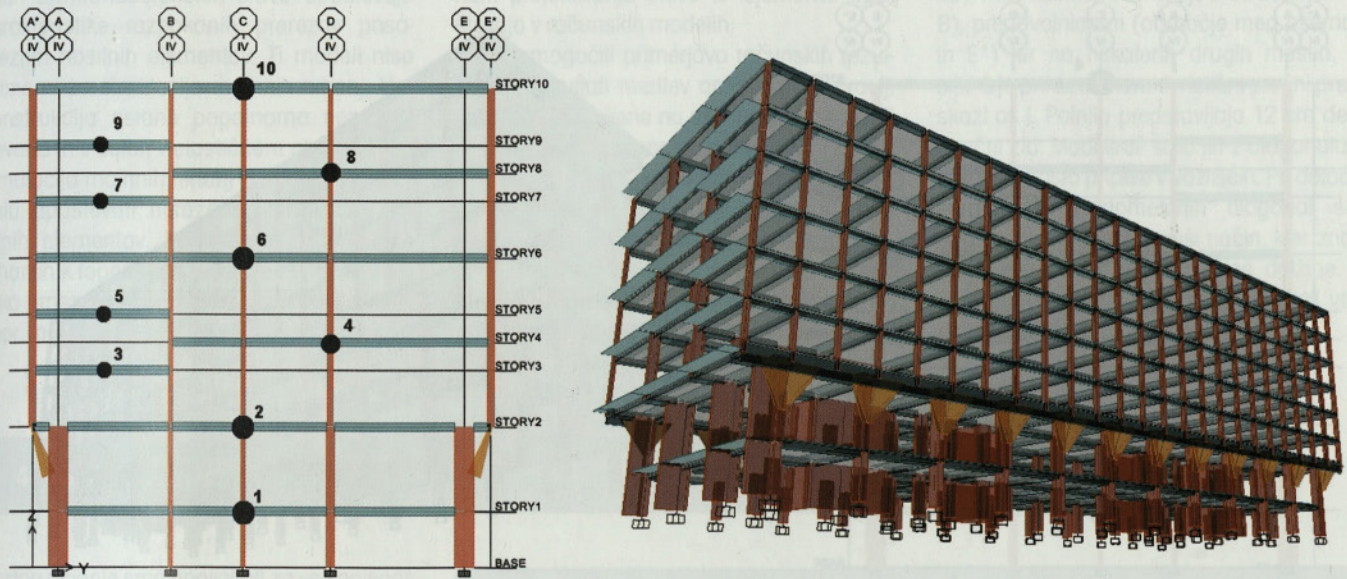
Opisani postopek smo uporabili v naši študiji in iskali model, pri katerem bi izločili čim več elementov, vendar pri tem v nobeni od obeh glavnih smeri ne bi zmanjšali togosti na manj kot 85 % togosti osnovnega modela (ET-OM), ki zajema vse bistvene elemente konstrukcije. Po korakih smo ugotavljali vpliv posameznih poenostavitev na spremembo togosti začetnega modela. Najenostavnejši model prostorskega okvira, ki še ustreza pogoju o togosti sekundarnih elementov po EC8, smo označili z ET-4M (sliki 6 in 7). Model ET-4M je bil uporabljen za analizo stavbe po EC8.

Upoštevali smo poenostavitve, kot sledijo. Iz osnovnega modela smo odstranili vse stebre in nosilce, ki ležijo v osi C, razen tistih, ki sodelujejo tudi pri drugih okvirih (npr. stebri na presečišču osi C in IV sodelujejo pri okviru v osi IV, zato ga ne smemo odstraniti). Odstranili smo prečne nosilce v oseh II, III, V ter VII, X, XI. Razlika med osnovnim in enostavnejšim modelom je tudi ta, da ima celotna konstrukcija



Slika 4 • Matematični model ET-OM. Tloris pritličja (levo) ter III. nadstropja (desno)





Slika 5 • Matematični model ET-OM. Prerez IV (levo) ter 3D pogled (desno). S črnimi krogi so predstavljene koncentrirane mase na desetih višinskih nivojih

pri modelu ET-4M enako tlorisno površino po višini (nismo upoštevali tlorisne razširitve v višjih etažah) ter da so mase in masni vztrajnostni momenti koncentrirani na nivojih etaž, pri katerih je stropna konstrukcija na enaki višini po celem tlorisu (strop nad kletjo, nad pritličjem ter nad II. in IV. nadstropjem). Te mase smo določili tako, da smo mase vmesnih etaž razdelili na nivoje etaž, katerih strop poteka po celem tlorisu. Masa, ki je koncentrirana na nivoju drugega nadstropja, pred-

stavlja vsoto mas iz nivoja druge in tretje male etaže ter polovično maso iz nivoja prvega in tretjega nadstropja.

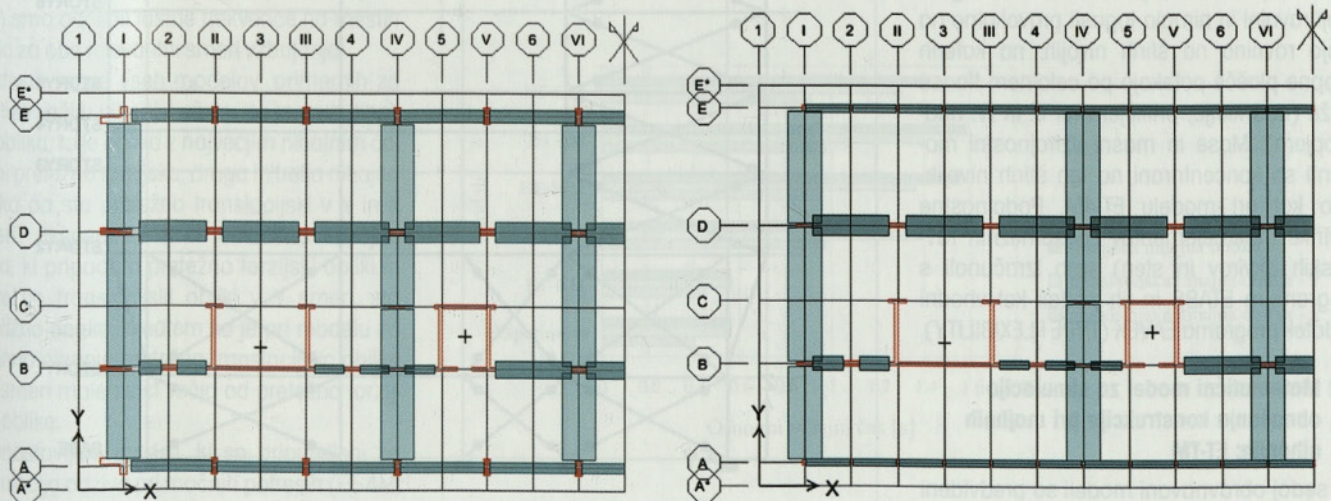
### 3.1.3 Matematični model za primerjalne analize: ET-10M

Ker so bile v modelu ET-4M mase in masni vztrajnostni momenti koncentrirani na nivojih etaž, katerih stropne plošče potekajo po celot-

nem tlorisu, smo za primerjavo izdelali model ET-10M, za katerega veljajo vse lastnosti modela ET-4M, le da so pri njem mase in masni vztrajnostni momenti koncentrirani na nivojih vseh desetih etaž.

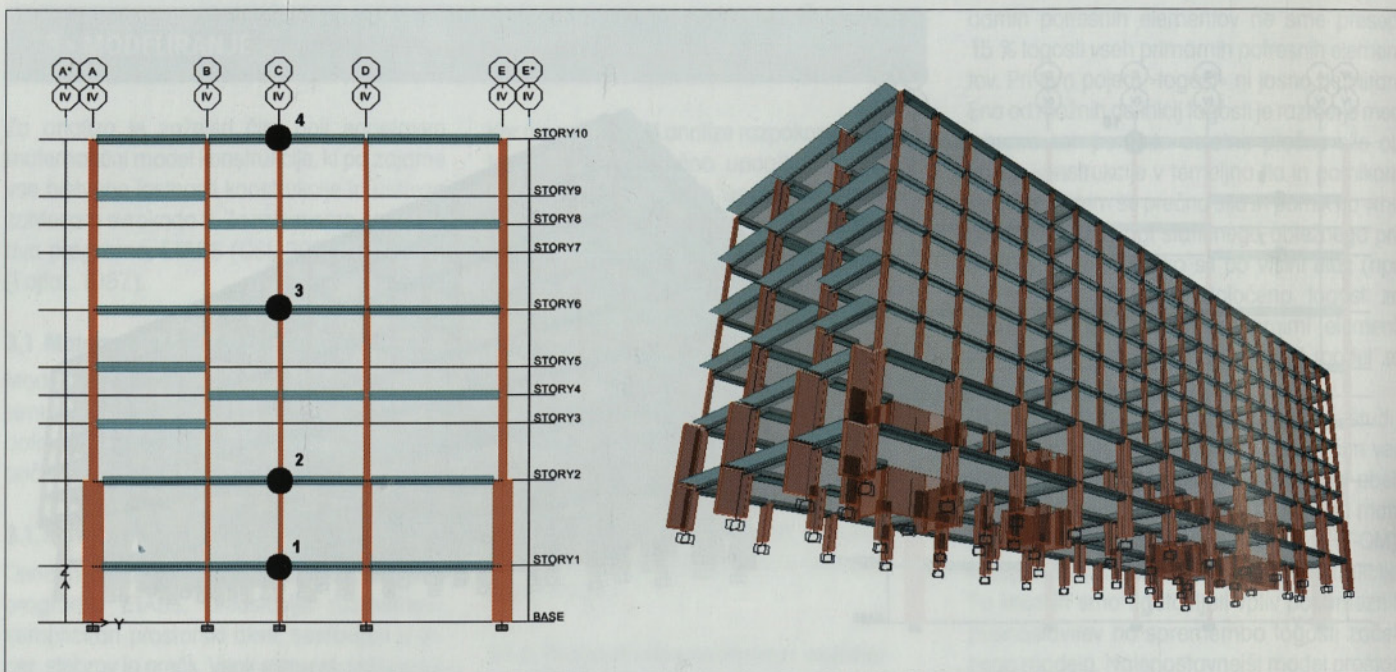
### 3.1.4 Matematični model za primerjalne analize: EA-4M

Za primerjalne analize smo uporabili tudi program EAVEK, ki se je dolga leta uporabljal v



Slika 6 • Matematični model ET-4M. Tloris pritličja (levo) ter III. nadstropja (desno)



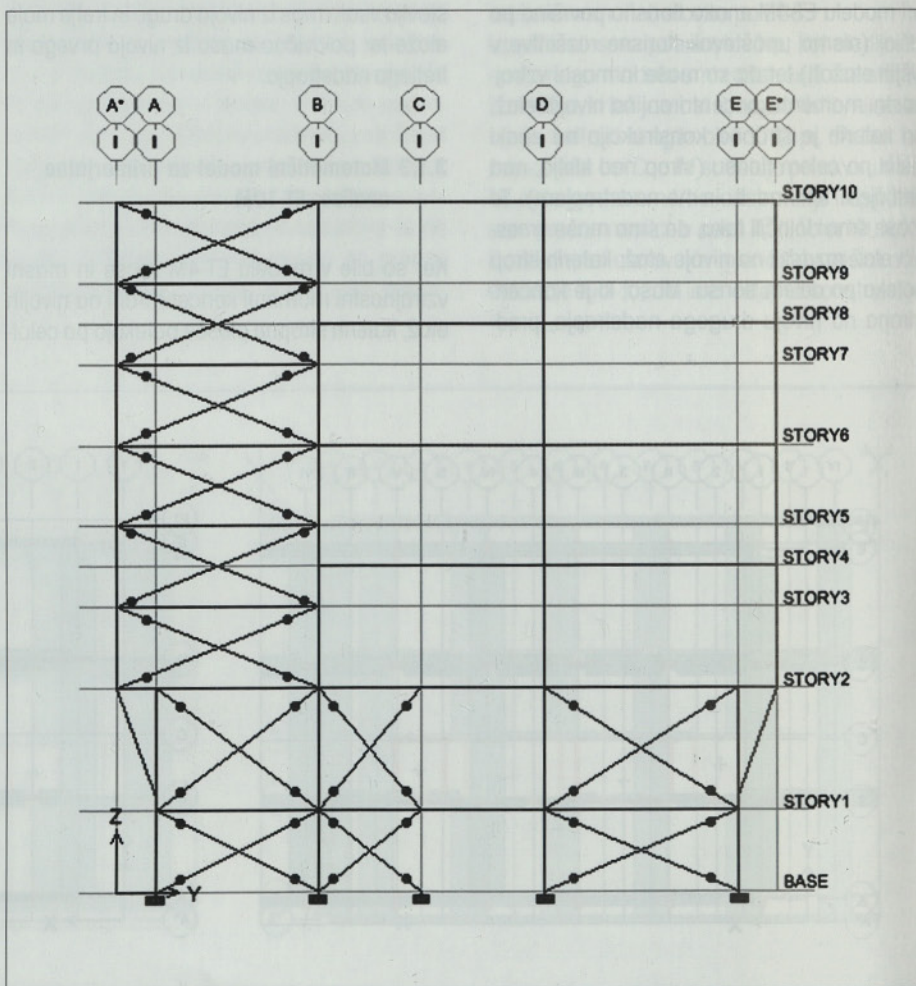


Slika 7 • Matematični model ET-4M. Prerez IV (levo) ter 3D pogled (desno). S črnimi krogi so predstavljene koncentrirane mase na štirih višinskih nivojih

projektantski praksi. Program EAVEK uporablja psevdotridimenzionalen model namesto pravega tridimenzionalnega modela. Model EA-4M je sestavljen iz štirih neodvisnih ravninskih okvirov, ki so nosilni v X smeri (OK-A, OK-B, OK-D in OK-E), šestih neodvisnih ravninskih okvirov, ki so nosilni v Y smeri (OK-I, OK-IV, OK-VI, OK-VII, OK-IX, OK-XII) ter štirih jeder, od katerih je vsako razbito na tri ravninske makroelemente z upogibno nosilnostjo v X in Y smeri in s torzijsko nosilnostjo. Okvirji so označeni po oseh, skozi katere potekajo, npr. OK-I je prečni okvir v osi I (slika 6). Okvirji in jedra so povezani s ploščami, ki so toge v svoji ravnini in nimajo togosti pravokotno na svojo ravnino na štirih nivojih, na katerih stropne plošče potekajo po celotnem florisu etaže (nad kletjo, pritličjem ter II. in IV. nadstropjem). Mase in masni vztrajnostni momenti so koncentrirani na teh štirih nivojih, tako kot pri modelu ET-4M. Podajnostne matrice makroelementov (posameznih ravninskih okvirov in sten) smo izračunali s programom ETABS in jih podali kot vhodni podatek programa EAVEK (TYPE FLEXIBILITY).

### 3.2 Matematični model za simulacijo obnašanja konstrukcije pri majhnih nihanjih: ET-TM

Do sedaj obravnavani modeli so predvideni za simulacijo obnašanja konstrukcije pri močnih potresnih obremenitvah, pri katerih se pričakujejo določene poškodbe konstruk-



Slika 8 • Matematični model ET-TM: prerez I



cije. Zaradi tega EC8 zahteva, da se v modelih armiranobetonskih stavb upoštevajo karakteristike razpokanih prerezov posameznih nosilnih elementov. Ti modeli niso primerni za simulacijo majhnih nihanj, kjer konstrukcija ostane popolnoma nepoškodovana in v celoti v elastičnem območju. Za simulacijo majhnih nihanj je potrebno v modelu upoštevati nerazpokane prereze nosilnih elementov. Poleg tega pri majhnih nihanjih k togosti konstrukcije prispevajo vsi tako imenovani nekonstrukcijski elementi (npr. predelne in polnilne stene, parapeti,

fasadne obloge), ki se pri potresnoodpornem projektiranju stavb le izjemoma upoštevajo v računskih modelih. Da bi omogočili primerjavo računskih rezultatov z rezultati meritev ambientnih vibracij, ki so bile opravljene na stavbi, smo pripravili dodatni model, ki smo ga poimenovali ET-TM. Izhajali smo iz osnovnega modela (ET-OM), pri čemer smo upoštevali nerazpokane prereze in dodali najpomembnejše nekonstrukcijske elemente, in sicer polnila med stebri v obeh vodoravnih smereh. V vzdolžni smeri so polnila med stebri v oseh A\*, B in D, v prečni

smeri pa na fasadnem delu stavbe (os 1 in 13), med kabineti (območje med osema A\* in B), predavalnicami (območje med osema D in E\*) ter na nekaterih drugih mestih. Na sliki 8 je prikazan karakteristični prečni prerez skozi os 1. Polnila predstavljajo 12 cm debel opečni zid. Modelirali smo jih z diagonalami, ki so členkasto pripete v vozliščih. Pri določitvi karakteristik nadomestnih diagonal smo upoštevali najenostavnejši način, kjer znaša širina diagonale četrtno njene dolžine. Za elastični modul opeke smo upoštevali vrednosti 5000 MPa (Tomažević, 1987).

## 4 • ANALIZA

Lastno nihanje smo analizirali za vse opisane modele konstrukcije, medtem ko smo kompletno analizo po EC8 izvedli samo za model ET-4M. Pri tem smo upoštevali več različnih postopkov, ki jih omogoča EC8. V tem prispevku so prikazani samo najpomembnejši rezultati in komentarji. Bolj obširni podatki in rezultati so zbrani v razvojnoraziskovalni nalogi (Fajfar, 2005).

### 4.1 Analiza lastnega nihanja

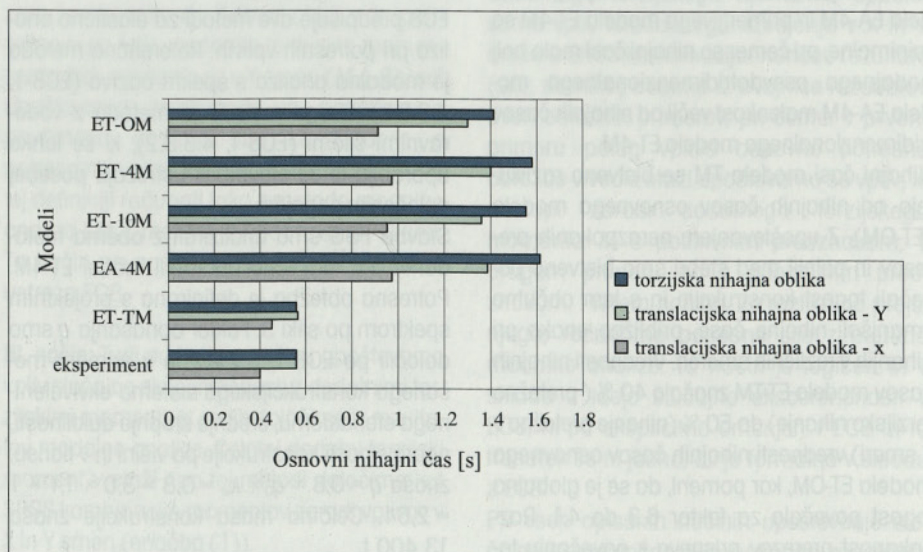
Analizo lastnega nihanja smo opravili za vse modele, opisane v poglavju 3. V preglednici 1 so prikazane vrednosti nihajnih časov za prve tri nihajne oblike in 3 pripadajoče efektivne mase, ki dajejo informacijo o smeri nihanja. Delni rezultati meritev ambientnih vibracij v notranjosti in v vogalu stavbe so prikazani na sliki 9. Iz amplitudnih spektrov (»Power spectra«) smo odčitali lastne frekvence na mestih konic za obe relevantni smeri vzbujanja.

Efektivne mase vseh modelov, primernih za analizo večjih nihanj, kažejo, da je prva nihajna oblika, to je oblika z največjim nihajnim časom, pretežno torzijska, druga in tretja nihajna oblika pa sta pretežno translacijski v Y in X smeri. Eksperimentalno določena nihajna časa, ki pripadata pretežno torzijski obliki in pretežno translacijski obliki v Y smeri, sta približno enaka, medtem ko je pri modelu za majhna nihanja pretežno translacijska oblika v Y smeri malenkost večja od pretežno torzijske oblike.

Poenostavljeni modeli, ki so pripravljene za simulacijo odziva pri močnih potresih (ET-4M, ET-10M, EA-4M), dajo zaradi manjše togosti (predvsem zaradi upoštevanja sekundarnih elementov) nekoliko večje vrednosti nihajnih

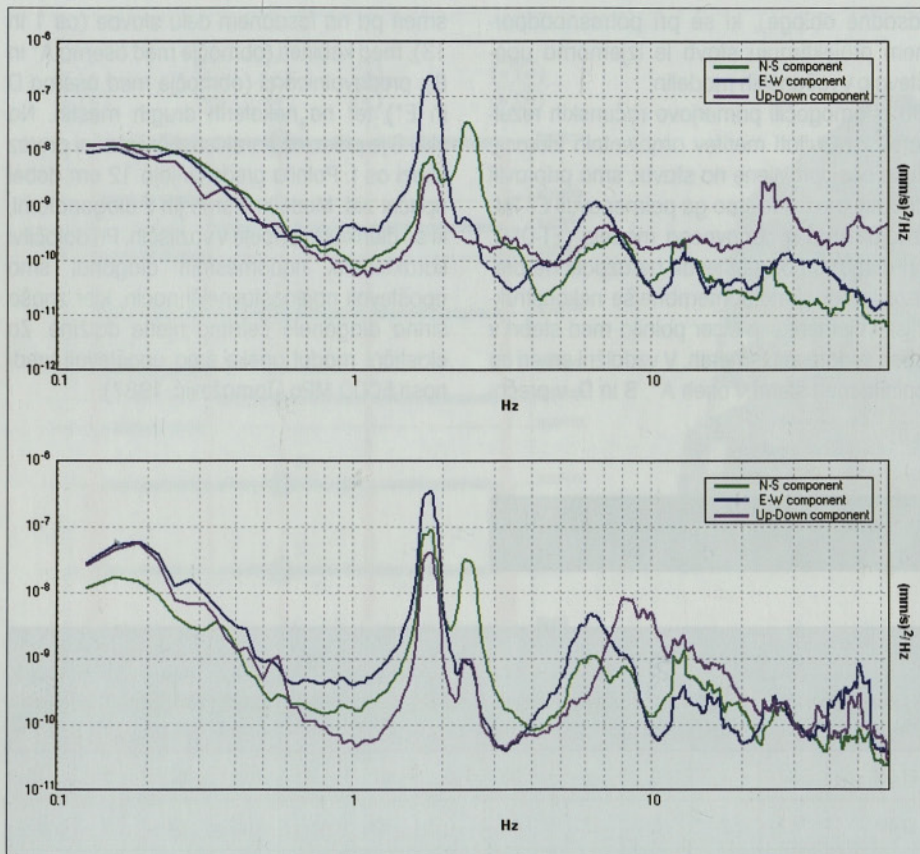
Matematični model	Pretežno torzijsko nihanje				Pretežno nihanje v Y-smeri				Pretežno nihanje v X-smeri			
	Nihajni čas (s)	$M_{eff,UX}$ (%)	$M_{eff,UY}$ (%)	Prevl. smer	Nihajni čas (s)	$M_{eff,UX}$ (%)	$M_{eff,UY}$ (%)	Prevl. smer	Nihajni čas (s)	$M_{eff,UX}$ (%)	$M_{eff,UY}$ (%)	Prevl. smer
ET-OM	1,41	1	0	Z	1,30	0	67	Y	0,91	67	0	X
ET-4M	1,58	2	0	Z	1,40	0	63	Y	0,97	64	0	X
ET-10M	1,55	1	0	Z	1,36	0	66	Y	0,95	68	0	X
EA-4M	1,61	2	0	Z	1,39	0	62	Y	0,97	63	0	X
ET-TM	0,56	1	3	Z	0,57	0	69	Y	0,45	73	0	X
eksperiment	0,56	-	-	Z	0,56	-	-	Y	0,40	-	-	X

Preglednica 1 • Nihajni časi in pripadajoče efektivne mase za prve tri nihajne oblike za različne modele



Slika 9 • Osnovni nihajni čas osnovnih nihajnih oblik (pretežno torzijsko in translacijsko translacijsko nihanje v smereh X in Y) za različne modele





Slika 10 • Rezultati meritev (amplitudni spektri – Power spectra) ambientnih vibracij v notranjosti (zgoraj) in v vogalu (spodaj) stavbe v II. nadstropju

časov kot osnovni model. Medsebojna primerjava poenostavljenih modelov pokaže, da so nihajni časi modela ET-4M nekoliko večji od nihajnih časov modela ET-10M, kar je posledica načina koncentriranja mas po etažah. Razlike med nihajnimi časi najenostavnejšega modela EA-4M in primerljivega modela ET-4M so minimalne, pri čemer so nihajni časi malo bolj podajnega psevdotridimenzionalnega modela EA-4M malenkost večji od nihajnih časov tridimenzionalnega modela ET-4M.

Nihajni časi modela TM se bistveno razlikujejo od nihajnih časov osnovnega modela (ET-OM). Z upoštevanjem nerazpokanih prerezov in polnili med stebri smo bistveno povečali togost konstrukcije in s tem občutno zmanjšali nihajne čase, približno enako pri nihanjih v različnih smereh. Vrednosti nihajnih časov modela ET-TM znašajo 40 % (pretežno torzijsko nihanje) do 50 % (nihanje pretežno v X smeri) vrednosti nihajnih časov osnovnega modela ET-OM, kar pomeni, da se je globalna togost povečala za faktor 6,3 do 4,1. Razpokanost prerezov prispeva k povečanju togosti za faktor 2, preostalo povečanje togosti pa prispeva polnila.

V primeru stavbe FGG smo se z modelom, ki je vključeval polnila med stebri nerazpokane konstrukcije, zelo dobro približali rezultatom ambientnih vibracij.

#### 4.2 Analiza po EC8

EC8 predpisuje dve metodi za elastično analizo pri potresnih vplivih. Referenčna metoda je modalna analiza s spektri odziva (EC8-1, 4.3.3.3). Druga metoda je metoda z vodoravnimi silami (EC8-1, 4.3.3.2), ki se lahko uporablja le za stavbe, ki ustrezajo posebej določenim pogojem.

Stavbo FGG smo analizirali z obema metodama. Pri tem smo uporabili model ET-4M. Potresna obtežba je definirana s projektnim spektrom po sliki 3. Faktor obnašanja  $q$  smo določili po EC8-1, 5.2.2.2 in v primeru mešanega konstrukcijskega sistema ekvivalentnega stenastemu, srednje stopnje duktilnosti, nepravilnosti konstrukcije po višini in v florisu, znaša  $q = 0,8 \times q_0 \times k_w = 0,8 \times 3,0 \times 1,1 \times 1 = 2,64$ . Celotna masa konstrukcije znaša 13 400 t.

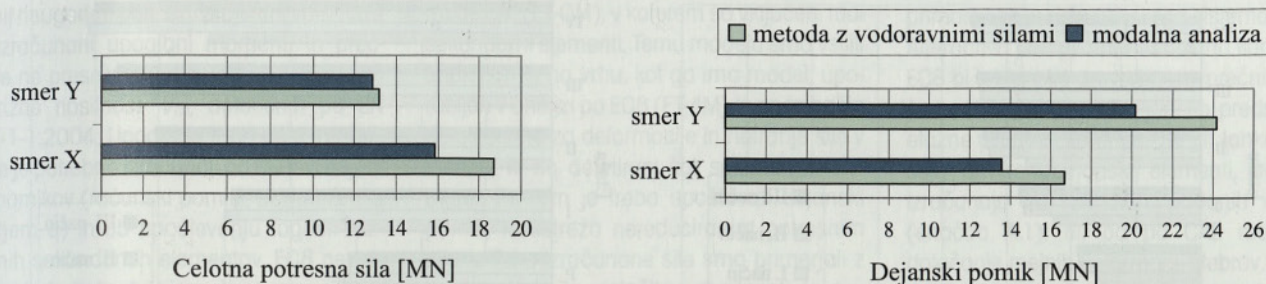
Pri modalni analizi smo analizirali prostorski model. Vpliv več nihajnih oblik smo upošte-

vali s popolno kvadratno kombinacijo (CQC) (EC8-1,4.3.3.3.2). Vodoravni komponenti potresnega vpliva (smer X in smer Y) smo kombinirali s SRSS kombinacijo (EC8-1, 4.3.3.5.1). Celotna prečna sila, določena z modalno analizo s spektri odziva, znaša 16,0 MN za smer X oziroma 12,9 MN za smer Y. Ti vrednosti predstavljata 12,2 % (smer X) oziroma 9,8 % (smer Y) celotne teže konstrukcije. Dejanski pomik (računski pomik pomnožen s faktorjem  $q$ , EC8-1, 4.3.4) v masnem središču na vrhu konstrukcije znaša 13,6 cm za smer X ter 20,2 cm za smer Y.

Čeprav konstrukcija ne ustreza kriterijem za uporabo metode z vodoravnimi silami (konstrukcija je namreč nepravilna po višini in florisu (EC8-1,4.2.3)), smo to metodo preizkusili za primerjavo nekaterih rezultatov. Pri tej metodi uporabljamo ravninsko analizo, ločeno v smereh X in Y. Osnovni nihajni čas smo za vsako smer izračunali s pomočjo Rayleighjeve metode (enačba 11.14 v (Fajfar, 1984)), pri čemer smo predpostavili trikotno razporeditev vodoravnih sil po etažah. Dobili smo vrednosti 0,98 s za X smer in 1,39 s za Y smer. Te vrednosti se zelo dobro ujemajo s »točnimi« vrednostmi, ki so prikazane v preglednici 2. Celotno potresno silo smo za obe smeri izračunali kot produkt celotne mase konstrukcije, faktorja  $\lambda$  ter ordinate v projektnem spektru pri osnovnem nihajnem času za obravnavano smer (EC8-1, enačba 4.5). S faktorjem  $\lambda = 0,85$  se upošteva dejstvo, da je pri večetažnih stavbah efektivna masa za osnovno nihajno obliko manjša od celotne mase stavbe. Celotna prečna sila znaša 18,7 MN za smer X oziroma 13,2 MN za smer Y. Ti vrednosti predstavljata 14,2 % (smer X) oziroma 10 % (smer Y) celotne teže konstrukcije. Celotno prečno silo v X in Y smeri smo razporedili po etažah v razmerju produkta mase etaže in osnovne nihajne oblike (EC8-1, enačba 4.10). Dejanski pomik v masnem središču na vrhu konstrukcije znaša 16,7 cm za smer X ter 24,2 cm za smer Y.

Primerjava celotnih potresnih sil v X in Y smeri, določenih z obema metodama, je prikazana na sliki 10. Pri metodi z vodoravnimi silami dobimo nekoliko večje vrednosti celotne potresne sile v obeh smereh. Razlika v Y smeri znaša 2 %, v X smeri pa 14 %. Nekoliko večja razlika se pojavi pri primerjavi pomikov na vrhu stavbe. Pri metodi z vodoravnimi silami dobimo v smeri Y za 16 %, v smeri X pa za 19 % večje vrednosti.





Slika 11 • Celotna potresna sila in dejanski pomik na vrhu konstrukcije v X in Y smeri za dve metodi analize (10 MN predstavlja 7,6 % celotne teže konstrukcije, 10 cm pa 0,4 % celotne višine konstrukcije)

### 4.3 Slučajna ekscentričnost

Zaradi negotovosti, povezanih s položajem mas in s prostorskim spreminjanjem potresnega gibanja, predpisuje EC8 obvezno upoštevanje vpliva slučajne ekscentričnosti. Ta določila so v standardu precej nejasno definirana. Nejasnosti nismo uspeli povsem razčistiti tudi po posvetovanju s prof. Fardisom, ki je vodil delo pri pripravi EC8. Pri modalni analizi prostorske konstrukcije obstajajo najmanj trije možni načini upoštevanja slučajne ekscentričnosti, ki smo jih uporabili v naši analizi.

**I. način:** V vsaki etaži premaknemo maso iz masnega središča za  $\pm 5\%$  ustrezne tlorske dimenzije. V primeru, ko konstrukcijo obravnavamo prostorsko z modalno analizo s spektri odziva, je takšno obravnavanje vpliva slučajne ekscentričnosti možno, vendar običajno nepraktično, saj standardni programi še nimajo možnosti upoštevanja različne mase pri različnih obtežnih primerih. Zaradi tega moramo imeti za eno konstrukcijo štiri matematične modele, vsakega z različno porazdelitvijo mas, ki so za vsak matematični model prestavljene v različni kvadrant. To pomeni dodatno delo za določanje ovojnic notranjih statičnih količin in pomikov. Ta način formalno ustreza EC8.

**II. način:** Drugi način za določitev vpliva slučajne ekscentričnosti, ki se lahko uporablja na prostorskem modelu v primeru modalne analize s spektri odziva, je upoštevanje vpliva dodatnega torzijskega momenta pri potresni obtežni kombinaciji. Celotni vpliv zaradi statične obtežbe s torzijskimi momenti se določi kot ovojnica zaradi statičnih obtežnih primerov s torzijskim momentom okrog navpične osi v masnem središču

vsake etaže. En obtežni primer je sestavljen iz dodatnih torzijskih momentov ( $M_{oi}$ ) po etažah, pri čemer imajo vsi isti predznak ter izhajajo iz istega vpliva (sile v X smeri ali sile v Y smeri). Torzijski moment v etaži  $i$  ( $M_{oi}$ ) je odvisen od smeri obtežbe zaradi vzbujanja v X ali Y smeri in od predznaka vzbujanja. Določi se kot produkt ekscentričnosti  $e_{oi}$  in horizontalne sile  $F_{oi}$ . Ekscentričnost  $e_{oi}$  je enaka  $0,05L_i$  ( $L_i$  je največja tlorska dimenzija pravokotno na smer obtežbe),  $F_{oi}$  pa je horizontalna sila v etaži  $i$  za smer  $a$ , **določena z metodo z vodoravnimi silami**. Zaradi vpliva slučajne torzije po opisanem postopku dobimo dva različna statična obtežna primera s torzijskimi momenti. V prvem primeru poleg vpliva osnovne potresne obtežbe (brez upoštevanja slučajne ekscentričnosti) v vsaki etaži upoštevamo še vpliv dodatnih torzijskih momentov zaradi potresnih sil v X smeri ( $M_{xi}$ ), v drugem primeru pa vpliv dodatnih torzijskih momentov zaradi potresnih sil v Y smeri ( $M_{yi}$ ). Zaradi upoštevanja pozitivnega in negativnega predznaka dobimo štiri kombinacije s potresnimi vplivi. Potresne sile moramo po tej definiciji računati tako z metodo modalne analize kot z metodo z vodoravnimi silami. Ta način po našem razumevanju formalno ustreza EC8.

**III. način:** Tudi pri tretjem načinu upoštevamo vpliv slučajne ekscentričnosti z dodatnimi torzijskimi momenti, ki pa jih določimo iz rezultatov modalne analize. Celotni dodatni torzijski moment v etaži  $i$  po tej metodi določimo kot SRSS kombinacijo momentov zaradi vplivov v X in Y smeri (enačba (1)).

$$M_i = \sqrt{M_{xi}^2 + M_{yi}^2} \quad (1)$$

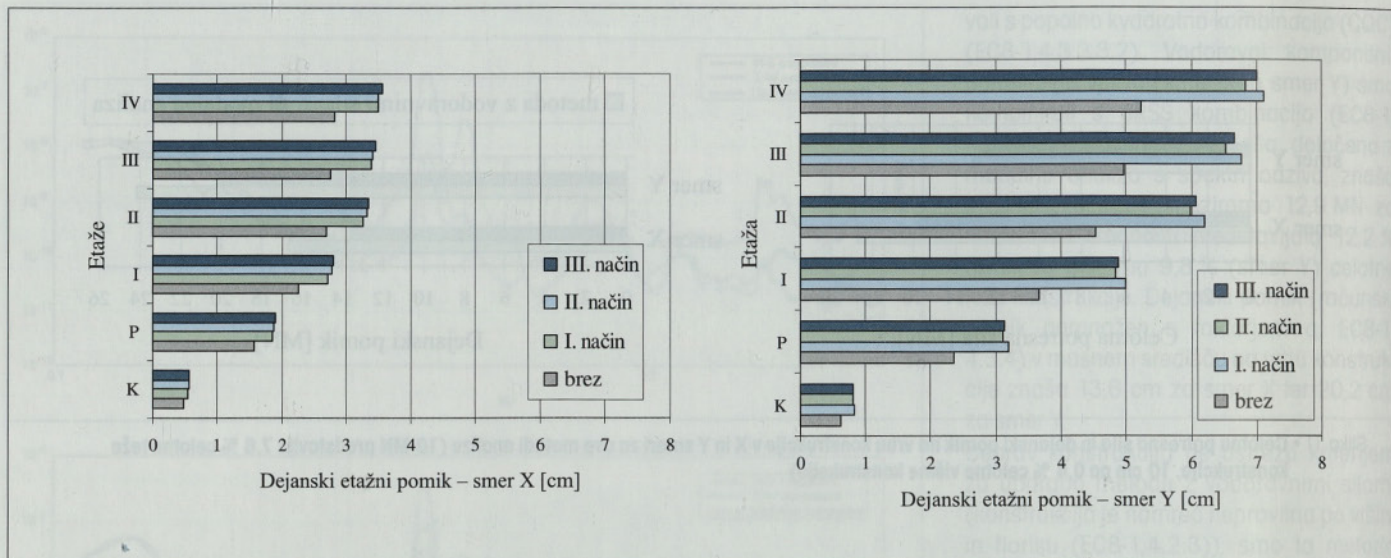
$M_{xi}$  in  $M_{yi}$  sta torzijska momenta v  $i$ -ti etaži zaradi potresnih sil v X in Y smeri, določena na enak način kot pri II. načinu, le da izhajata iz potresnih sil po etažah, **določenih z modalno analizo**. Dovolj natančno je, če potresne sile določimo kot razliko prečnih sil po etažah, ki so posledica potresnega vpliva (enačba (2)).

$$F_{ai} = V_{ai} - V_{a(i-1)} \quad (2)$$

$V_{oi}$  je prečna sila etaže  $i$  v smeri  $a$ ,  $V_{a(i-1)}$  pa prečna sila etaže  $(i-1)$  v smeri  $a$ . Bolj točno bi bilo, če bi potresne sile določili s kombinacijo potresnih sil, ki so posledica različnih nihajnih oblik, vendar računalniški programi potresnih sil običajno ne izpisujejo. Pri določitvi potresne sile, ki se uporablja za račun dodatnega torzijskega momenta, upoštevamo vpliv istočasnega vzbujanja v X in Y smeri s SRSS kombinacijo. Končne rezultate (sile, pomike) dobimo iz ovojnice rezultatov dveh obtežnih primerov, pri čemer v prvem primeru poleg vpliva osnovne potresne obtežbe v vsaki etaži upoštevamo še vpliv, ki nastopi zaradi dodatnega torzijskega momenta  $M_i$  s pozitivnim predznakom, v drugem primeru pa z negativnim predznakom. Pri tem načinu, za razliko od prejšnjega, računamo potresne sile z metodo modalne analize. Ta način je logičen in v skladu z idejo slučajne ekscentričnosti v EC8, ni pa eksplicitno omenjen v EC8 in ta trenutek še ni jasno, ali je formalno v skladu z EC8.

Pri vseh opisanih načinih upoštevanje slučajne ekscentričnosti je potrebno zagotoviti, da so v modelu upoštevane »toge« med-etažne plošče.





Slika 12 • Zamiki vogalne točke v smeri X (levo) in smeri Y (desno) brez upoštevanja in z upoštevanjem vpliva slučajne ekscentričnosti

Slučajno ekscentričnost smo obravnavali na modelu ET-4M, ki je bil pripravljen za analizo po EC8 (poglavje 3.1.3). Ker ima slučajna ekscentričnost največji vpliv na vogalih tlorisa, bomo prikazali njen vpliv na zamike vogala stavbe na sečišču osi E in I (slika 6). Na sliki 11 so prikazani zamiki v vogalni točki, izračunani z modalno analizo s spektri odziva brez upoštevanja in z upoštevanjem vpliva slučajne ekscentričnosti na vse tri omenjene načine. Pri prvem načinu obravnavanja slučajne ekscentričnosti moramo obravnavati štiri modele (prestavitev mase iz nazivne lege v štiri kvadrante), zato dobimo štiri skupine rezultatov. Zamiki, prikazani na sliki 11, izhajajo iz ovojnice rezultatov teh štirih modelov. Pri primerjavi rezultatov na sliki 11 kaže občuten vpliv slučajne torzije na zamike v vogalu stavbe, še posebej v smeri Y. Povečanja znašajo do 24 % v X smeri in do 36 % v Y smeri. Rezultati, dobljeni z različnimi načini upoštevanja slučajne ekscentričnosti, se pri stavbi FGG zelo dobro ujemajo.

Pri metodi z vodoravnimi silami je možen poenostavljen način upoštevanja slučajne ekscentričnosti s faktorjem  $\delta$  (EC8-1, 4.3.3.2.4(1)). Ker smo analizo izvajali na ravninskem modelu, je povečanje pomikov zaradi vpliva torzije enako  $1 + 1.2x/L_e$ , pri čemer je  $x$  tlorisna oddaljenost obravnavane točke od centra mase,  $L_e$  pa razdalja med dvema skrajnima elementoma (v našem primeru tlorisna dimenzija stavbe). Če je masno središče približno v središču tlorisa, znaša amplifikacija za pomike na robu tlorisa zaradi vpliva torzije 60 %.

#### 4.4 Nekaj kontrol

**Teorija 2. reda:** Preveriti je potrebno, ali je potrebno upoštevati teorijo drugega reda (EC8-1, 4.4.2.2(2)). Ta kontrola je bila narejena na modelu ET-4M. Celotno težnostno silo ( $P_{tot}$ ) smo določili iz mase pri računu potresnega vpliva. Dejanske zamike v vogalu stavbe ( $d_i$ ) ter etažne prečne sile ( $V_{tot}$ ) smo določili z modalno analizo s spektri odziva, slučajno torzijo pa smo upoštevali z dodatnim torzijskim momentom (III. način). Koeficient občutljivosti  $q$  smo izračunali po enačbi 4.28 (EC8-1) za vsako smer učinka posebej ter glede na etaže, v katerih plošče potekajo po celotnem tlorisu, ker so v modelu ET-4M mase koncentrirane edino v teh etažah. V tem primeru je etažna višina ( $h$ ) kar razdalja med nivoji, na katerih so koncentrirane mase (2,95 m, 4,45 m, 8,9 m, 8,9 m, slika 1), dejanski »zamik« pa predstavlja vsoto zamikov med nivoji, na katerih so koncentrirane mase. Koeficient občutljivosti za »zgornjo etažo« (etaža III + IV oziroma 4, 5 in 6, slika 1) v smeri Y je  $\theta_i = (P_{tot} d_i) / (V_{tot} h) = (33164 \text{ kN} \times 13,63 \text{ cm}) / (6678 \text{ kN} \times 890 \text{ cm}) = 0,08$ . Izkaže se, da upoštevanje teorije drugega reda ni bilo potrebno, saj koeficient občutljivosti v nobeni »etaži« ter v nobeni obravnavani smeri ne preseže vrednosti 0,1.

**Kontrola etažnih pomikov:** Kontrolo mejnega stanja uporabnosti (EC8-1, 4.4.3) smo zaradi različnih etažnih višin preverili v dveh vogalih stavbe, na sečišču osi A in I ter E in I. Uporabili smo dejanske zamike ( $d_i$ ) modela ET-4M, dobljene z modalno analizo s spektri odziva,

slučajna torzija pa je bila upoštevana z dodatnim torzijskim momentom – III. način (najneugodnejši primer – največji zamiki). Za kontrolo pomikov v MSU se dejanske zamike iz projektnega potresnega stanja zmanjša za faktor  $n$ , ki upošteva manjšo povratno dobo potresa, povezano z zahtevo po omejitvi poškodb. Vrednosti  $n$ -ja so podane v Nacionalnem dodatku (upoštevane so priporočene vrednosti v EN 1998-1) in so odvisne od pomembnosti stavbe. V našem primeru (kategorija objekta III, EC8-1, preglednica 4.3) znaša vrednost  $n$ -ja 0,4. Za obravnavano stavbo smo izbrali najstrožji kriterij za omejitev zamikov, ki velja za stavbe, ki imajo na konstrukcijo pritrjene nekonstruktivske elemente iz krhkih materialov. Za takšne stavbe znaša omejitev etažnega pomika 0,5 % etažne višine (EC8-1, 4.4.3.2(1)). Prikazana je kontrola MSU za etažo IV v smeri Y. Zamik za MSU v vogalni točki na sečišču osi E in I določimo po enačbi  $n d_i = 0,4 \times 6,99 = 2,8 \text{ cm}$ , mejni zamik po izbranem kriteriju pa znaša  $0,005h = 0,005 \times 445 = 2,23 \text{ cm}$ . Izkaže se, da dejanski zamiki v Y smeri v višjih etažah pri obeh vogalnih točkah presežejo vrednosti mejnih zamikov. Zaradi tega stavba ne izpolnjuje pogojev mejnega stanja uporabnosti v primeru potresne obtežbe.

**Kontrola sekundarnih elementov:** V skladu z EC8-1, 5.7 je potrebno dokazati, da so sekundarni elementi sposobni prenašati vertikalno obtežbo pri največji deformaciji, ki izhaja iz projektnega potresnega vpliva. Za armiranobetonske sekundarne potresne ele-



mente se po EC8 upošteva, da lahko prenašajo težnostne sile pri pomikih, ki jih povzročajo najbolj neugoden potresni projektni vpliv, če v njih izračunani upogibni momenti in prečne sile ne presežejo upogibne nosilnosti  $M_{Rd}$  in strižne nosilnosti  $V_{Rd}$ , določenih po EN 1992-1-1:2004. Upogibne momente in strižne sile je potrebno izračunati na osnovi dejanskih pomikov (računski pomiki, pomnoženi s faktorjem  $q$ ) in ob upoštevanju togosti razpokanih sekundarnih elementov. EC8 ne navaja metode, kako določimo te obremenitve. Kot sekundarni elementi so praviloma definirani stebri. Določanje notranjih sil stebrov je enostavno, če poznamo pomike in zasuke obeh krajišč stebrov. V vsakem primeru iz rezultatov analize lahko dobimo vodoravne pomike, upogibnih zasukov stebrov pa praviloma iz rezultatov analize modela, v katerih sekundarni elementi niso vključeni, ne moremo dobiti. Zaradi tega je predvidena kon-

trola po EC8 praktično le težko uporabna. V naši analizi smo si pomagali z osnovnim modelom (ET-OM), v katerem so vključeni tudi sekundarni elementi. Temu modelu smo vsilili enak pomik na vrhu, kot ga ima model, uporabljen v analizi po EC8 (ET-4M) in na ta način dobili oceno za deformacije in notranje sile v stebrih, ki so definirani kot sekundarni elementi. Pri tem je treba upoštevati dejanski pomik, ki ustreza nereduciranim potresnim silam. Tako izračunane sile smo primerjali z nosilnostmi. Za določitev nosilnosti je potrebno poznati armaturo. V naših izračunih smo upoštevali dejansko armaturo v stebrih. Predpisana kontrola sekundarnih elementov po EC8 dejansko pomeni, da v teh elementih ne sme priti do plastifikacije, kar je izredno stroga zahteva. To se izkaže tudi v obravnavanem primeru, saj je upogibna in strižna nosilnost sekundarnih elementov v večini primerov precej presežena. Večina od izbranih

sekundarnih elementov ne ustreza zahtevam EC8, torej bi jih morali upoštevati kot elemente primarnega konstrukcijskega sistema. Alternativa predpisanemu načinu kontrole po EC8 bi lahko bila preverba povprečnih rotacij (»chord rotation«), ki dejansko predstavljajo etažne pomike. Vrednosti, ki jih lahko prenesajo armiranobetonski elementi, se lahko izračunajo po formulah, podanih v EC8-3 (enačba A.1), ali pa po CAE metodi za določanje mejnih deformacij stebrov, razviti v IKPIR FGG (Peruš, 2006). Seveda je tudi za ta postopek potrebno poznati armaturo v stebrih. Kontrola, ki smo jo izvedli na ta način, je pokazala, da stebri, definirani kot sekundarni elementi, prenesajo zahtevane pomike, ne da bi prišlo do njihove porušitve. Čeprav je ta postopek smiseln in v skladu z duhom EC8, po pojasnilu, ki smo ga dobili od vodje celotnega EC8 projekta prof. Fardisa, formalno ni v skladu z EC8.

## 5 • SKLEP

V članku so predstavljeni matematično modeliranje in analiza armiranobetonske stavbe FGG po Evrokodu 8. Obravnavali smo različne modele sorazmerno zahtevne konstrukcije. Modeli so večinoma ustrezali določilom EC8, ki temelji predvsem na simulacijah odziva konstrukcije pri močnejših potresih. Potrebno je upoštevati razpokane prereze. Pokazali smo, da nekatere poenostavitve modela, ki olajšajo delo projektanta, malo vplivajo na globalne dinamične karakteristike konstrukcije. Pri ambientnih vibracijah je nihanje zelo majhno, zato je treba izdelati drugačen model, ki predpostavlja nerazpokano konstrukcijo, vključuje pa tudi nekonstrukcijske elemente, kot so polnila. S takšnim modelom, ki je za faktor 4 do 6 bolj tog od modelov za simulacijo odziva med potresi, smo se zelo dobro približali rezultatom ambientnih vibracij.

Oprelitev nekaterih elementov konstrukcije kot sekundarnih potresnih elementov omogoča poenostavitev računskega modela konstrukcije. Zdi pa se, da so določila EC8, ki predpisujejo kontrolo sekundarnih elementov, precej restriktivna in bodo verjetno v praksi predstavljala precejšnjo oviro pri uporabi sekundarnih potresnih elementov. Na enem od modelov smo pokazali velikostni red razlik v globalnih rezultatih pri uporabi dveh metod analize, ki jih predvideva EC8. Opisali in uporabili smo tri možne načine upoštevanja slučajne ekscentričnosti pri prostorski obravnavi konstrukcije z modalno analizo s spektri odziva. Eden od njih (premik težišča) je najbolj naraven, vendar zahteva največ dela. Drugi način je po našem mnenju formalno skladen z določili EC8, vendar ni konsistenten z načinom analize, ki se uporablja v EC8. Tretji način, ki je konsistenten z načinom analize v EC8, ni v celoti skladen z določili EC8 o upošte-

vanju slučajne ekscentričnosti. Za obravnavano stavbo se zamiki, dobljeni z različnimi načini upoštevanja slučajne ekscentričnosti, zelo dobro ujemajo.

Izkaže se, da dejanski zamiki za mejno stanje uporabnosti v Y smeri v višjih etažah presežejo mejne zamike, zato stavba ne zadosti pogojem mejnega stanja uporabnosti. Upoštevanje teorije drugega reda ni bilo potrebno, saj koeficient občutljivosti v nobeni etaži in v nobeni obravnavani smeri ne preseže vrednosti 0,1. Pri kontroli sekundarnih elementov pa rezultati kažejo, da večina od izbranih sekundarnih elementov ne ustreza zahtevam EC8 in bi jih morali upoštevati kot elemente primarnega konstrukcijskega sistema.

Program ETABS se je izkazal kot zelo primeren in enostaven tako za modeliranje kot za določanje sil in pomikov zaradi potresne obtežbe. Tudi program EAVEK v celoti ustreza zahtevam EC8 za potresno analizo, vendar ponuja manj možnosti glede modelov in ne omogoča sodobnih načinov podajanja vhodnih podatkov in prikaza rezultatov.

## 6 • ZAHVALA

Del raziskave je bil opravljen v okviru diplomske naloge prve avtorice pod mentorstvom

obeh soavtorjev in v okviru dveh razvojno-raziskovalnih nalog za ARSO – urad za seiz-

mologijo. Meritve ambientnih vibracij so opravili sodelavci ARSO.



## 7 • LITERATURA

CSI 2002, ETABS, Integrated Building Design Software, Computers & Structures Inc, ZDA, Kalifornija, Berkeley, 2002.

Fajfar, P., Dinamika gradbenih konstrukcij, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 1984.

Fajfar, P., Dolšek, M., Fischinger, M., Peruš, I., Poljanšek, K., Uvajanje standarda EVROKOD 8 v Sloveniji : potresna obtežba, razvojno-raziskovalna naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2004.

Fajfar, P., Dolšek, M., Fischinger, M., Peruš, I., Poljanšek, K., Kreslin, M. Analiza primerov dinamičnega odziva zemljin in konstrukcij med potresi, razvojno-raziskovalna naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2005.

Fajfar, P., EAVEK, Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, 1987.

Peruš, I., Poljanšek, K., Fajfar, P., Flexural deformation capacity of rectangular RC columns determined by the CAE method, v postopku objave v Earthquake Engineering Structural Dynamics, 2006.

Prelog, E.; Novo poslopje FAGG v Ljubljani, Statični račun., št. projekta 301/99, Komuna – projekt Maribor, 1962.

SIST EN 1990:2004 – Evrokod – Osnove projektiranja.

SIST EN 1991-1-1:2004 – Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-1.del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1992-1-1:2005 – Evrokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1998-1:2005 – Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1.del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.

SIST EN 1998-3:2005 – Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 3.del: Ocena in prenova stavb.

Tomažević, M., Zidane zgradbe na potresnih območjih, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 1987.

Slika 11 • Stavba mlina premoga in petrolkoksa



# EKSPERIMENTALNO PODPRTA ANALIZA KOMPOZITNIH SENDVIČASTIH PLOŠČ

## EXPERIMENTALLY BASED ANALYSIS OF COMPOSITE SANDWICH PANELS

**dr. Martin Poljanšek, univ. dipl. inž. grad.,**

Gradbeni inštitut ZRMK, Dimičeva 12, Ljubljana,  
martin.poljansek@gmail.com

**asist. dr. Bruno Dujič, univ. dipl. inž. grad.,**

KPMK, UL-FGG, Jamova 2, Ljubljana,  
bdujic@fgg.uni-lj.si

**izr. prof. dr. Roko Žarnić, univ. dipl. inž. grad.,**

KPMK, UL-FGG, Jamova 2, Ljubljana,  
rzarnic@fgg.uni-lj.si

**Znanstveni članek**

UDK (691.33 + 678.6) : 692 : 620.17

**Povzetek** | Počasi, a zanesljivo se sodobni kompozitni materiali uveljavljajo na področjih, kjer danes prevladujejo tradicionalna gradiva. V prispevku predstavljamo eksperimentalno podprto metodo za določanje odziva sendvičaste plošče, kakršna bo lahko v prihodnosti predstavljala alternativo masivnim stropnim konstrukcijam. Razvoj take plošče je predmet mednarodnega projekta z nazivom SAFEFLOOR, ki je del petega okvirnega programa Evropske skupnosti. Določanje mehanskih lastnosti kompozitov na podlagi eksperimentov je zaradi njihove narave ključnega pomena za verodostojno računsko analizo. Lastnosti kompozitnih materialov se namreč ne povzema po različnih tabelah, kot to velja za klasične materiale (jeklo, beton, les, opeka,...), pač pa je potrebno na podlagi tehnoloških, računskih in drugih zahtev določiti, kakšne lastnosti mora imeti kompozit v posameznih smereh. Na lastnosti kompozitnih materialov pa ne vplivajo samo njihovi gradniki (matrica in vlakna), pač pa v veliki meri tudi procesi njihove proizvodnje in podobno. Zato je lahko vsaka računsko napoved obnašanja kompozita, ki ne temelji na eksperimentalno dobljenih podatkih, ne glede na njeno natančnost in zapletenost, zelo netočna.

**Summary** | Slowly but reliably new materials like composites are pushing forward where traditional materials still dominate. In this paper, experimentally based method for static response of composite sandwich panels is presented. This is a part of the SAFEFLOOR project being a part of the European Fifth Framework Programme. Experimentally acquired mechanical properties are of key importance for any reliable analysis of composite structures. This is because composites are not just materials with a set of properties like steel or concrete, but have to be designed for every specific object to meet design, technological, and other criteria. The properties of composite materials are not only influenced by matrix and fibers, but by numerous factors like processing or environment influence. Therefore, any analysis that is not based on experimentally obtained data may produce very questionable results, no matter how complex it might be.

### 1 • UVOD

V zadnjih dvajsetih letih se tako tehnologija kot tudi uporaba kompozitnih materialov razvijata z veliko nagljo. Široka izbira vlaken in

matric, iz katerih se tvorijo kompoziti, velika potrošnja ter s tem tudi cenovna dostopnost so razširili področja uporabe kompozitov. V

zadnjem času sodobni kompoziti tudi v gradbeništvu predstavljajo alternativo betonu in jeklu, ki sta sicer še vedno največkrat izbrana materiala. Konstrukcije, narejene iz sodobnih kompozitnih materialov, se odlikujejo z majhno maso, saj imajo kompoziti visoko specifično trdnost. Pomembna lastnost kompozitov



je tudi njihova odpornost proti vplivom okolja, ki povzročajo korozijo tradicionalnih gradiv. Njihova slaba stran pa je odpornost proti visokim temperaturam vsaj tistih kompozitov, ki so cenovno ugodnejši. Veliko poslabšanje mehanskih lastnosti pri visoki temperaturi skupaj z značilno vitko zasnovano narekuje uporabo ustreznih zaščitnih ukrepov. Smotno načrtovanje kompozitnih konstrukcij je možno

le ob dobrem poznavanju vseh njihovih lastnosti in možnosti uporabe. Različne vrste matric in vlaken ter široke možnosti kombiniranja omogočajo izdelavo izrednega števila različnih kompozitov. To je precej drugače kot pri jeklu ali betonu, kjer smo omejeni z relativno ozkim naborom mehanskih lastnosti. Anizotropija z vlakni ojačenih kompozitov je tista prednost kompozitov, ki omogoča pri-

lagajanje želenim mehanskim in toplotnim lastnostim, vendar zahteva natančno analizo ter sodelovanje tehnologov in projektantov. Pomen laboratorijskih preiskav v procesu snovanja takih elementov in sklopov je izredno pomemben, saj predstavljajo osnovo za računske modele ter pomemben vir informacij za izboljšanje njihove zasnove in proizvodnih procesov.

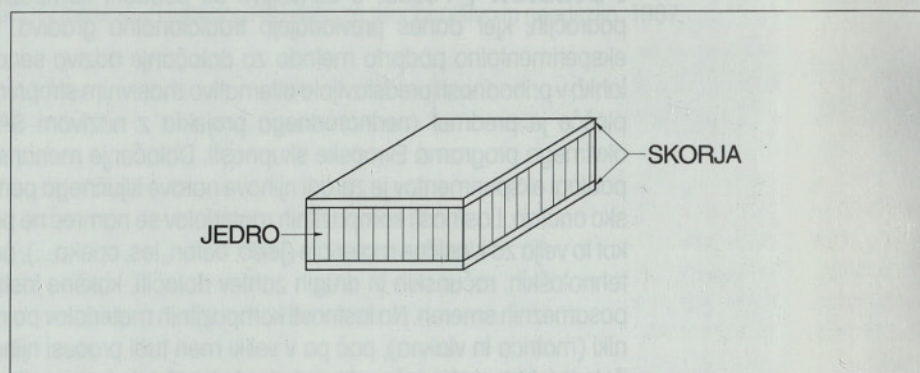
## 2 • SENDVIČASTE KONSTRUKCIJE

Sendvičasta struktura je sestavljena iz zgornje in spodnje skorje ter jedra (slika 1). Skorji sta največkrat iz enakega materiala in enakih debelin (simetrična struktura) in prevzemata obtežbe zunaj ravnine (upogib) in tudi v svoji ravnini (Wiedemann, 1996), (Vinson, 1999). V primeru obtežbe v ravnini kakor tudi pravokotno na ravnino sendvičastega elementa je skorja obremenjena v svoji ravnini. Funkcija jedra je prevzeti strižno obtežbo, podobno kot jo prevzema stojina I nosilca, in držati skorji na svojih mestih. Jedro mora imeti tudi zadostno tlačno trdnost, da lahko prevzame morebitne kontaktne napetosti, ker sta za ta namen skorji zaradi svoje tankosti prešibki. Sendvičaste konstrukcije so posebej pomembne zaradi ugodnega razmerja med upogibno togostjo in lastno težo. Glede tega so praktično vedno boljše od tankih ploskovnih konstrukcij. Zatorej imajo sendviči majhne

upogibne deformacije, večjo odpornost proti nestabilnosti, kot sta izbočitev ali uklon, in višje lastne frekvence.

Študija možnih zasnov za stropne konstrukcije, izdelanih iz sodobnega kompozita (Poljanšek,

2003), je pokazala, da so ravno sendvičaste plošče najprimernejše. To študijo smo skupaj s partnerji izvedli v okviru projekta SAFEFLOOR, ki je del petega okvirnega programa Evropske skupnosti. Glavni cilj tega projekta je zasnovati stropno konstrukcijo iz sodobnih kompozitnih materialov, ki bi v celoti izkoristila njihove prednosti, omejila probleme proizvodnje in montaže ter zagotovila optimalno uporabnost.



Slika 1 • Sendvičasta konstrukcija

## 3 • SKORJA

Izbira kompozita za skorjo je temeljila na računski analizi in presoji cenovne ter tehnološke ugodnosti posameznih materialov. Odločili smo se za steklena vlakna (E – steklo) v epoksidni matrici.

Vlakna E – stekla imajo razmeroma majhno specifično maso ( $2550 \text{ kg/m}^3$ ) in dokaj veliko natezno trdnost ( $1750 \text{ MPa}$ ), vendar je njihov elastični modul precej majhen ( $70 \text{ GPa}$ ). Tako je razmerje med trdnostjo in težo ugodno, razmerje med elastičnim modulom in težo pa dokaj skromno. Vseeno so steklena vlakna cenovno zelo ugodna in so na voljo v veliko različnih oblikah (Barbero,

1998). Problem predstavlja občutljivost vlaken za udarce in s tem za nastale poškodbe ter občutljivost za vlago, saj dolgotrajna izpostavljenost vlagi znižuje njihovo trdnost (Chawla, 1998). Poleg tega so steklena vlakna zelo občutljiva za utrujanje tako pri spremenljivi obtežbi kakor tudi pri dolgotrajni konstantni obtežbi, ki celo povzroča širjenje obstoječih razpok v vlaknih.

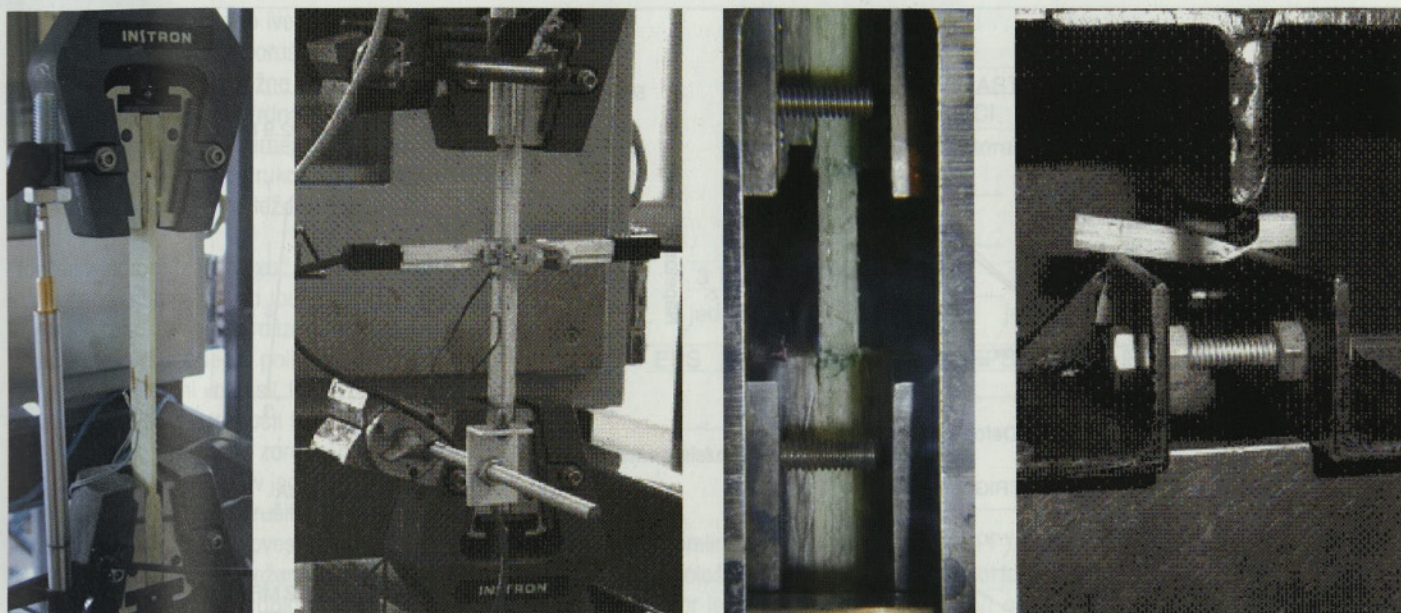
Epoksidna smola je smiselna izbira za matrico pri uporabi steklenih vlaken. Je sicer dražja od poliestrskih smol, vendar je bolj odporna proti vlagi, se malo krči v procesu toplotne obdelave (okoli 3 %) in je sposobna

prenesti višje temperature v času uporabe. Pomembno je tudi, da ta smola dobro omoči ter se odlično sprime s steklenimi vlakni.

Kompozitna skorja iz steklenih vlaken v matrici epoksidne smole je bila izdelana po metodi vakuumske vreče, nega pa je potekala 15 minut pri temperaturi  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  in normalnem tlaku.

Za računsko analizo je bilo potrebno ugotoviti mehanske lastnosti izdelanih kompozitov. Za ta namen so se pripravili ustrezni vzorci v skladu s standardi ASTM (American Society for Testing and Materials) (ASTM, 1995–2002). Vse preiskave so bile opravljene pri sobni temperaturi ( $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) in ponovljene pri  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  v toplotni komori, vendar v nadaljevanju navajamo samo rezultate preiskav pri sobni temperaturi.

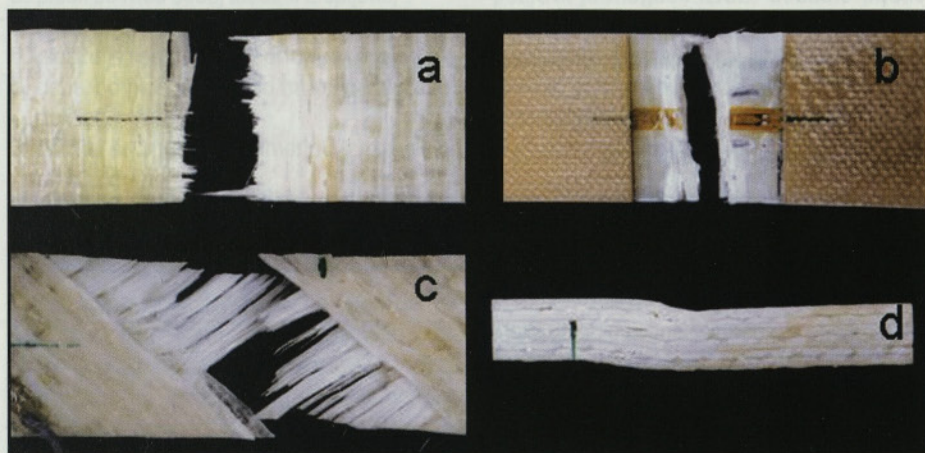




Slika 2 • Fotografije osnovnih preiskav

#### 4 • OSNOVNE PREISKAVE

Med osnovne preiskave štejemo natezno, tlačno ter strižno preiskavo kompozita, ki tvori skorji sendvičastega sklopa (slika 2). Vzorci so bili narejeni po postopku vakuumske vreče iz štirih plasti vlaken (0/90/90/0) za natezno in tlačno preiskavo ter iz štirih plasti (45/-45/-45/45) za strižno preiskavo. Vsi so bili opremljeni s ploščicami za vpenjanje. Tisti za vzdolžno in strižno preiskavo so bili dolgi 250 mm z bazo 140 mm in široki 25 mm. Enako široki so bili vzorci za tlačno preiskavo, a so bili dolgi le 143 mm z bazo 13 mm. Preiskali smo tudi upogibno trdnost kratkega nosilca narejenega iz kompozita. Upogib je bil tritočkovni, razmak med podporami 28 mm, vzorci pa so bili narejeni iz šestih plasti vlaken (0/90/0/0/90/0), široki 6 mm in dolgi 50 mm. Pri vsaki preiskavi je bilo potrebno dobiti vsaj 5 regularnih porušitev, da rezultati ustrezajo kriterijem standardov ASTM. Rezultate preiskav (slika 4, preglednica 1) smo uporabili pri računski analizi sendvičaste plošče s skorjama iz enakega kompozitnega materiala.

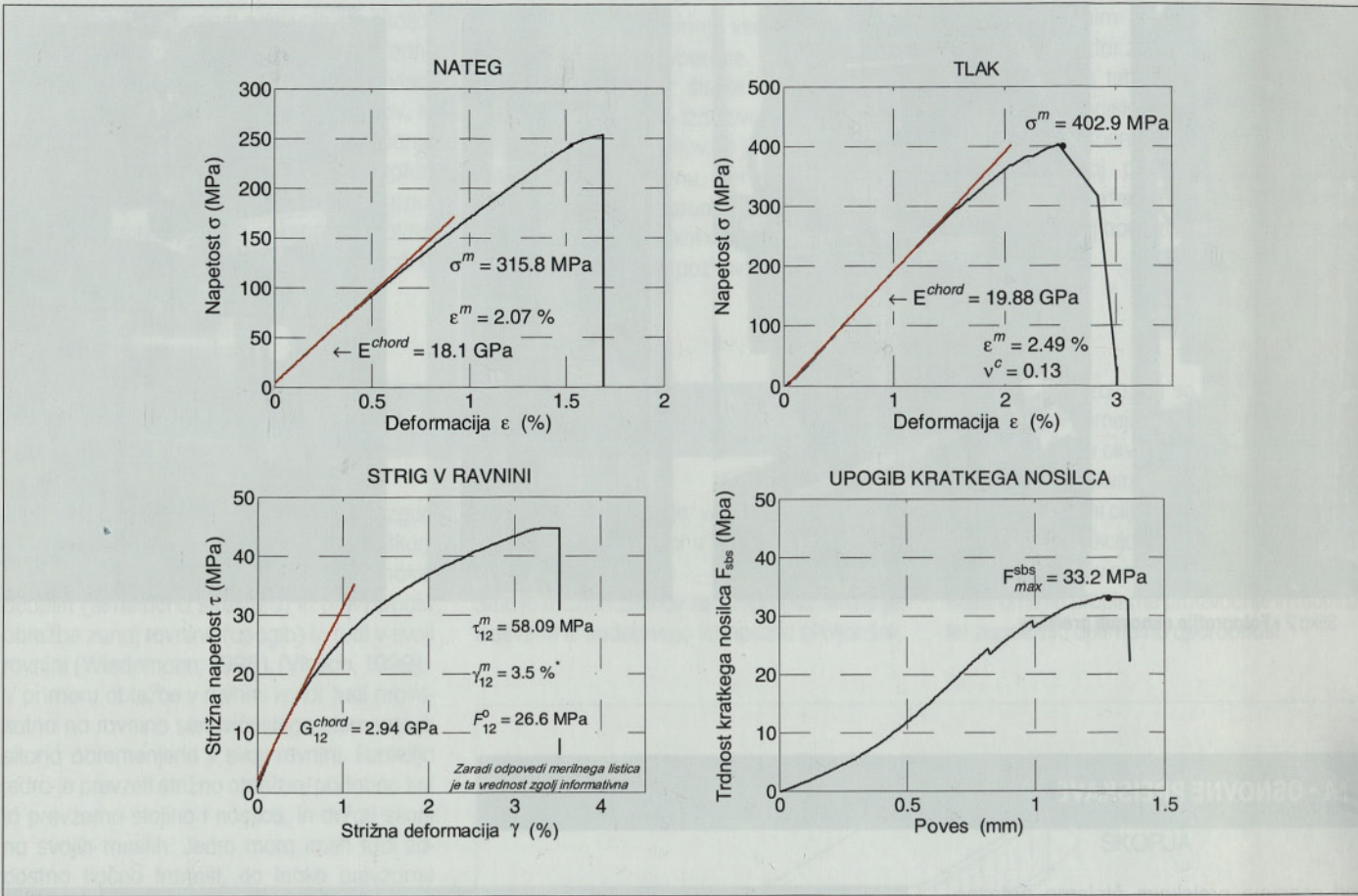


Slika 3 • Značilne oblike porušitev: a natezna, b tlačna, c strižna in d upogibna preiskava

Natezna	$\sigma^m$ (MPa)	$\varepsilon^m$ (%)	$E_{chord}$ (GPa)	
23 °C	322,6	2,06	19,49	
60 °C	300,1	1,83	18,23	
Tlačna	$\sigma^m$ (MPa)	$\varepsilon^m$ (%)	$\nu^c$	$E_{chord}$ (GPa)
23 °C	421,5	2,49	0,16	20,80
60 °C	366,8	1,95	0,11	21,15
Strižna	$\tau_{12}^m$ (MPa)	$G_{chord,12}$ (GPa)	Upogibna	$F_{SDS}$ (MPa)
23 °C	56,5	2,76	23 °C	32,38
60 °C	48,8	2,21	60 °C	25,32

Preglednica 1 • Povprečne vrednosti rezultatov osnovnih preiskav pri 23 °C in 60 °C



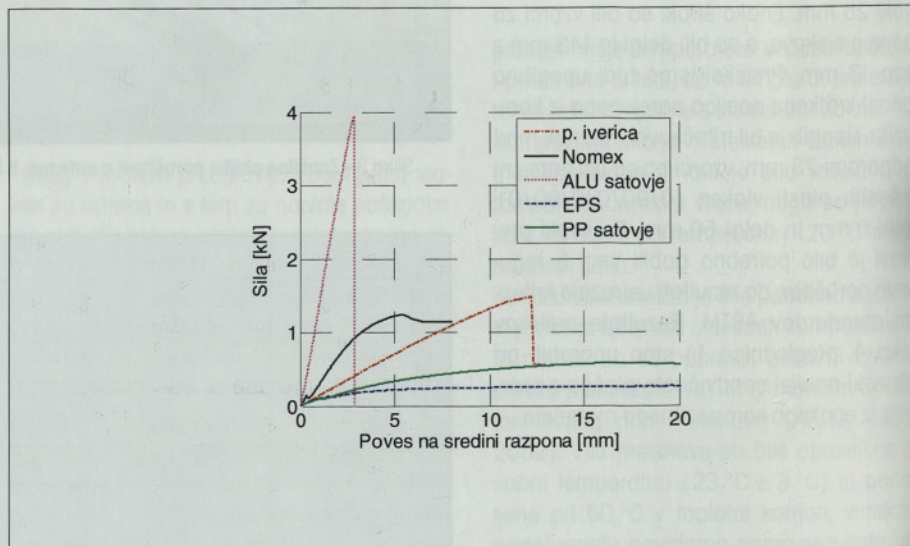


Slika 4 • Značilni diagrami osnovnih preiskav pri sobni temperaturi

## 5 • LINIJSKI SEGMENT PLOŠČE KOT KOMPOZITNI SKLOP – SENDVIČ

Na upogibno obnašanje sendviča poleg skorij močno vpliva tudi jedro. Materiali za jedro imajo različne lastnosti in noben na prvi pogled ne predstavlja logične izbire. Zato smo preizkusili sendviče z več različnimi jedri: satovje iz polipropilena, satovje iz aluminija, satovje iz Nomexa®, perforirano iverico in ekstrudirani polistiren. Vse sendvičaste nosilce smo upogibno preizkusili v skladu s standardom ASTM C 393 – 94. Izvedli smo tako tritočkovni (3T) kot tudi štiritočkovni (4T) upogib pri sobni temperaturi.

Iz eksperimentalno dobljenih vrednosti odziva pri upogibu smo ugotovili, da ima sendvič z aluminijastim satovjem zelo veliko togost in nosilnost v primerjavi z ostalimi preizkušanci. Porušitev je bila izmed vseh vzorce daleč najbolj krhka, saj se je porušila tlačno obremenjena skorja na zgornji strani nosilca.



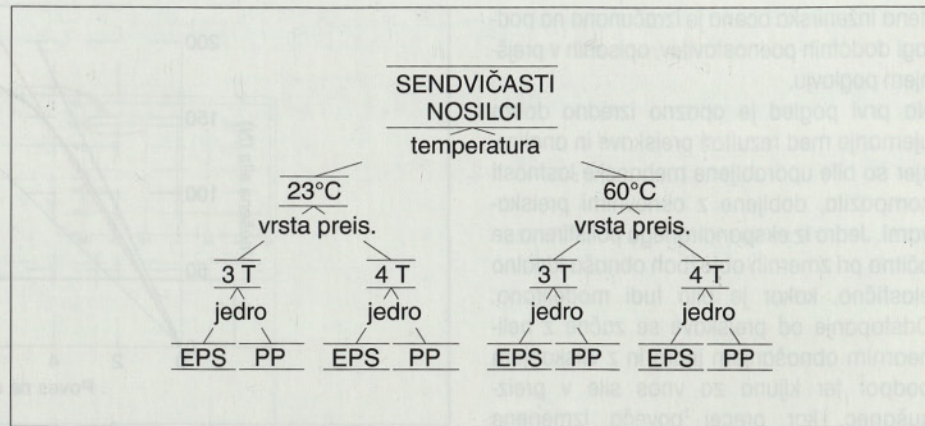
Slika 5 • Vpliv različnih jedr



Tudi sendvič z oslabiljeno iverico je dosegel visoko nosilnost in krhko porušitev, vendar je v tem primeru prišlo do strižne porušitve jedra zaradi nizke razplastne trdnosti perforirane iverice. Brez oslabilte iverne jedra bi dosegli višjo nosilnost konstrukcijskega sklopa, a bi s tem povečali lastno težo ivernega materiala.

Nosilec z jedrom iz Nomexa® je dosegel zelo visoko nosilnost glede na lastno težo jedra, vendar je cena takega jedra izredno visoka.

Jedro iz ekstrudiranega polistirena je zelo občutljivo za lokalni vnos sil, kar je posledica izredno nizke tlačne trdnosti takšnega jedra. Do porušitve je prišlo zaradi preseženih lokalnih tlačnih napetosti v jedru, kar je imelo za posledico lokalno porušitev v skorji. Po lokalni porušitvi so se povesi nosilca povečevali, že tako nizko dosežena nosilnost pa predvsem zaradi deformiranja oziroma lokalnega mečkanja jedra ni bistveno upadla.



Slika 6 • Shema preiskav sendvičastih nosilcev

Glede na rezultate preliminarnih preiskav ter ob upoštevanju tehnoloških in finančnih kriterijev smo skrčili izbor jeter na ekspanzirani polipropilen (EPS) in satovje iz polipropilena

(PP). Preiskave so zajele tako tritočkovni (3T) kot tudi štiritočkovni (4T) upogib nosilcev tako pri sobni, kot tudi pri povišani temperaturi (slika 6).

## 6 • ANALIZA Z METODO KONČNIH ELEMENTOV

Nosilce smo analizirali z metodo končnih elementov, upoštevajoč teorijo plastovitih plošč, ki izhaja iz računskega modela ortotropnega materiala za posamezni sloj. Najprej se določijo konstitucijske zveze med notranjimi silami in deformacijami za kompozitni element, potem se te zveze uporabijo skupaj s kinematičnimi in ravnotežnimi enačbami za analizo poljubnih konstrukcij (Jones, 1999). Osnovne predpostavke te teorije so:

1. v vsaki plasti vlada ravninsko napetostno stanje,
2. normalne napetosti med plastmi se zanemarijo,

3. plasti so med seboj idealno zlepljene,
4. plasti imajo konstantno debelino,
5. plošča je sestavljena iz ortotropnih plasti,
6. debelina plošče je veliko manjša kot njena dolžina in širina,
7. pomiki so majhni v primerjavi z debelino plošče in
8. prerez ostane po deformiranju raven in pravokoten na osrednjo ravnino.

Pri obravnavanih sendvičastih prerezih je najslabše izpolnjena 8. predpostavka, saj je jedro prereza bistveno debelejšo in ima precej manjši elastični modul od ostalih

plasti prereza. Konstrukcija, ki jo bomo analizirali, je simetrična sendvičasta plošča oziroma nosilec glede na osrednjo ravnino. Zaradi simetrije in ob vpeljavi dodatnih predpostavk je mogoče izraze dodatno poenostaviti. Tako dobljeni izrazi so koristni za inženirsko oceno, ki jo prikažemo v diagramih v nadaljevanju. Za ta namen predpostavimo:

- prerez je simetričen in materiali so izotropni,
- elastični modul jedra je precej manjši od elastičnega modula skorje,
- skorja sendvičastih konstrukcij je zelo tanka v primerjavi z debelino sendviča,
- jedro ne prispeva k upogibni togosti (to je primer jedra iz ekspandiranega polistirena, kakršnega smo preizkušali).

## 7 • PRIMERJAVA EKSPERIMENTALNIH IN RAČUNSKIH REZULTATOV

Analizirali smo sendvičaste nosilce, pri katerih sta bili uporabljeni jedra iz ekspandiranega polistirena (EPS) in satovje polipropilena (PP). V prvem primeru smo jedro lahko obravnavali izotropno, v drugem pa smo podali vrednosti elastičnih modulov v posameznih smereh. Mehanske lastnosti jeder smo v obeh primerih povzeli po deklaraciji proizvajalcev.

Analizo smo izvedli z računalniškim programom *LISA* (Linear Static Analysis System) (LISA, 2006). V analizi smo uporabili mehanske lastnosti, izračunane teoretično na podlagi podatkov o vlaknih in matrici, ter mehanske lastnosti, dobljene iz osnovnih preiskav vzorcev skorje.

Čeprav smo opravili analize za vse obravnavane primere (slika 6), navajamo le rezul-

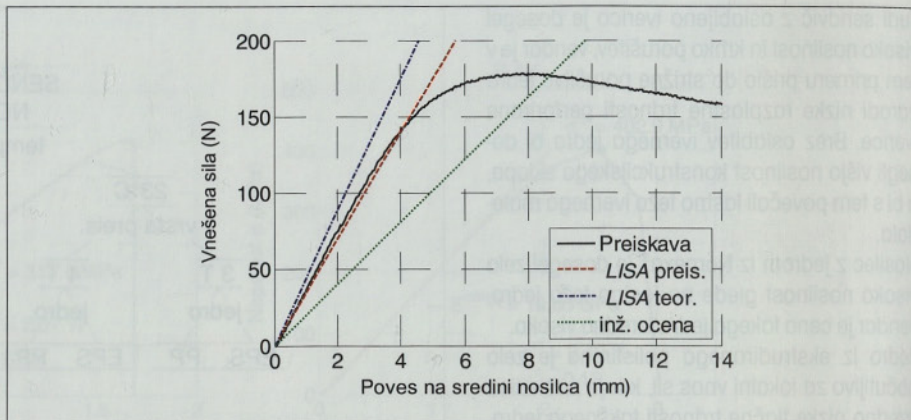
tate za tritočkovno obremenjene sendvičaste nosilce z jedrom iz ekspandiranega polistirena pri sobni temperaturi.

Na sliki 7 so prikazani rezultati analiz in laboratorijskih preiskav. Polna črta opisuje odziv vzorca pri preiskavi, črtkana črta rezultate analize s programom *LISA*, kjer so bile mehanske lastnosti kompozitnih skorij določene na podlagi osnovnih preiskav. Oznaka »*LISA* teor.« pomeni, da so bile v analizi po metodi končnih elementov upoštevane mehanske lastnosti kompozita, kakršne teoretično izhajajo iz lastnosti vlaken in matrice. Nave-



dena inženirska ocena je izračunana na podlagi dodatnih poenostavitev, opisanih v prejšnjem poglavju.

Na prvi pogled je opazno izredno dobro ujemanje med rezultati preiskave in analize, kjer so bile uporabljene mehanske lastnosti kompozita, dobljene z osnovnimi preiskavami. Jedro iz ekspaniranega polistirena se očitno pri zmernih obtežbah obnaša idealno elastično, kakor je bilo tudi modelirano. Odstopanje od preiskave se začne z nelinearnim obnašanjem jedra in z vtiskanjem podpor ter kljuna za vnos sile v preizkušane, kar precej poveča izmerjene pomike.



Slika 7 • Primerjava rezultatov (Temp.: 23 °C; vrsta preis.: 3 T; jedro: EPS)

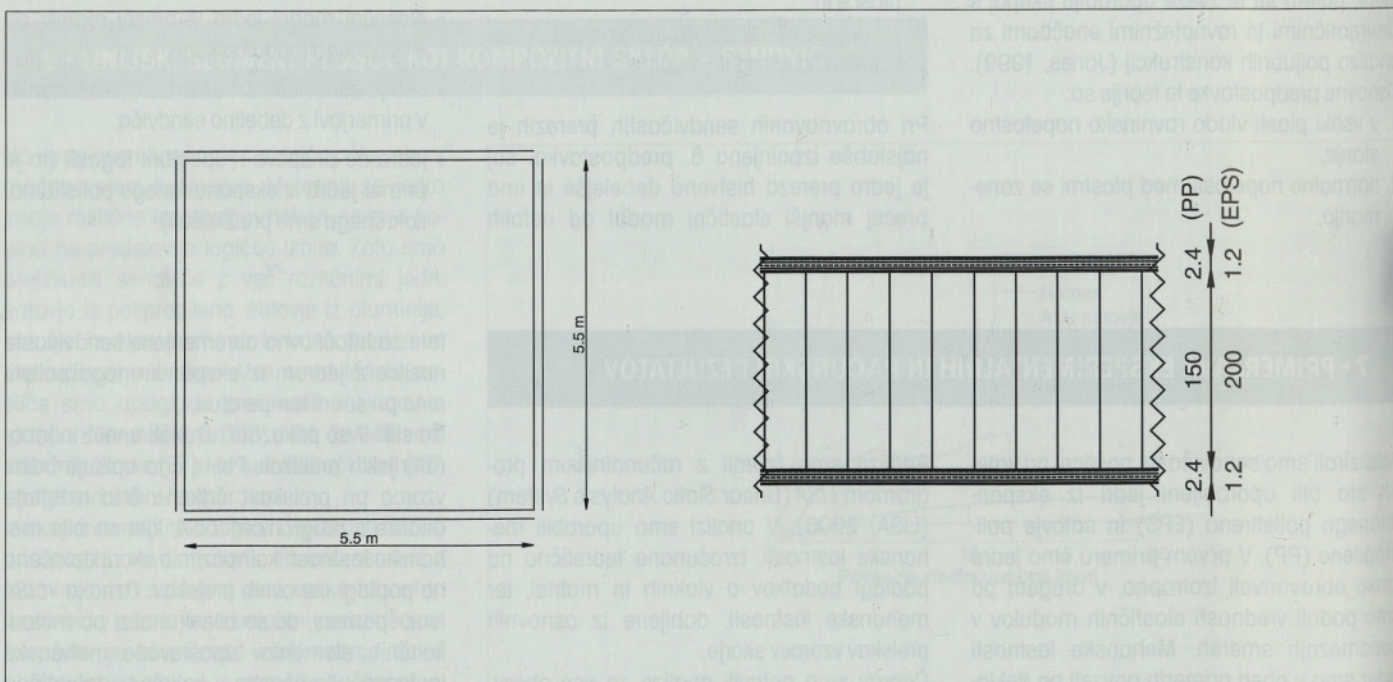
## 8 • RAČUNSKA NAPOVED UPOGIBNEGA OBNAŠANJA SENDVIČASTE PLOŠČE

Eksperimentalna in računska analiza sendvičastih nosilcev je potrdila nujnost izvedbe laboratorijskih preiskav pri analizi kompozitnih konstrukcij, zato smo pri analizi kompozitne plošče uporabili mehanske lastnosti kompozitnih skorij, dobljenih z eksperimentalnimi preiskavami. Analizirali smo upogibno obnašanje sendvičaste plošče, kakršna bo uporabljena v večetažni stanovanjski

konstrukciji (slika 8). Analizo smo izvedli za oba tipa jader (EPS debeline 200 mm in PP 150 mm).

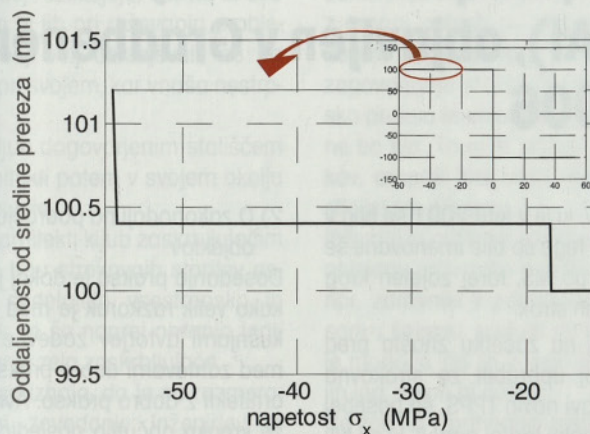
V primeru uporabe jedra iz polipropilena v obliki satovja je lahko njegova višina največ 150 mm, zato so za skorjo potrebni štirje sloji (0/90/90/0) enosmernih vlaken. Pri 200 mm debelem jedru iz ekspaniranega polistirena zadostujeta dva sloja preprega

(0/90), polproizvoda za izdelavo skorje. Na sliki 9 je prikazan potek napetosti v zgornji skorji sendvičaste plošče na robu. Primerjava izračunanih napetosti in rezultatov osnovnih preiskav pokaže, da mejno stanje nosilnosti še zdaleč ni doseženo, vendar je pri obeh zasnovah kritično mejno stanje uporabnosti. Poves plošče z uporabo jedra iz ekspaniranega polistirena višine 200 mm znaša na sredini 14,7 mm, plošče z jedrom iz polipropilenskega satovja višine 150 mm pa 13,5 mm. To je manj od dovoljenih 15,7 mm, kar je 1/350 razpona plošče.



Slika 8 • Tloris in prerez plošče z debelinami posameznih slojev pri jedru iz PP in EPS



Slika 9 • Napetosti  $\sigma_x$  v zgornji skorji na robu

## 9 • SKLEP

Obnašanje sodobnih kompozitnih materialov je mogoče napovedati teoretično, vendar se dejanskemu odzivu precej bolj približamo z analizo, kjer se upošteva dejanske eksperimentalno pridobljene mehanske lastnosti. Zato smo v laboratoriju Katedre za preskušanje materialov in konstrukcij opravili vrsto osnovnih preiskav, da bi dobili mehanske lastnosti kompozita, ki bo tvoril skorjo sendvičaste konstrukcije. Elastične lastnosti kompozita smo določili z natezno, tlačno in strižno preiskavo.

Na podlagi rezultatov osnovnih preiskav smo po metodi končnih elementov in na podlagi teorije plastovitih prereзов napovedali upogibno obnašanje sendvičastih nosilcev, ki smo jih kasneje tudi preizkusili v laboratoriju. Eksperimentalni rezultati se zelo dobro ujemajo z napovedanimi vrednostmi v elastičnem območju. Ker je bila analiza elastična, se odstopanja pokažejo, ko postane obnašanje jedra neelastično. To dokazuje smiselnost in nujnost izvedbe laboratorijskih preiskav, saj so modeli za

določanje lastnosti kompozitov na podlagi lastnosti vlaken in matrice premalo natančni.

Dobro ujemanje računske analize z rezultati nam omogoča napoved upogibnega odziva sendvičastih plošč, kakršne se bodo uporabljale v konstrukcijah. Analizirali smo ploščo z jedrom iz ekspandiranega polistirena in polipropilenskega satovja. Za obe vrsti jeder smo določili potrebno število plasti preprega, v katerem potekajo vlakna v smeri  $0^\circ$  (1200 g/km) in  $90^\circ$  (1200 g/km), ter debelino jedra, ki je omejena tudi s ponudbo na trgu. V obeh primerih je mejno stanje uporabnosti (pomiki) odločilno za dimenzioniranje.

## 10 • LITERATURA

- American Society for Testing and Materials, ASTM D 3039, ASTM D 3410, ASTM D 3518, ASTM D 2344, ASTM C 393–94.
- Barbero, E. J., Introduction to Composite Materials Design, Taylor & Francis, 1998.
- Chawla, K. K., Composite Materials, Springer – Verlag, 1998.
- Jones, R. M., Mechanics of Composite Materials, Taylor & Francis, 1999.
- LISA, www.lisa-fet.com, 2006.
- Poljanšek, M., Eksperimentalno podprta analiza obnašanja »sandwich« plošč, magistrska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, 2003.
- Vinson, J. R., The behavior of sandwich structures of isotropic and composite materials, Technomic Publishing Co., 1999.
- Wiedemann, J., Leichtbau 1: Elemente, Springer Verlag, 1996.
- Wiedemann, J., Leichtbau 2: Konstruktion, Springer Verlag, 1996.



# Pripombe na članek: Nemški predpis o honorarjih za storitve arhitektov ter inženirjev (HOAI), objavljen v Gradbenem vestniku, letnik 55, marec 2006

Članek opisuje bistvene značilnosti HOAI in pod točko 3 še posebej podrobno nemški postopek načrtovanja in izvedbe komunalnih naprav za odvod ter čiščenje odpadnih voda. Strokovnemu delu članka ni kaj oporekati. Hudo pa me je zbudila navedba pod točko 5 POST SCRIPTUM, kjer je avtor napisal, da je bil po oddaji svojega članka opozorjen na obstoj Tarifnih pogojev projektantskih storitev (TPPS), ki jih je sprejela Skupščina IZS 19. 10. 2005 (kasneje še skupščina ZAPS) in ob tem celo izrazil upanje, da naj bi TPPS še dolgo čakali na potrditev s strani vlade RS. IZS je Tarifne pogoje projektantskih storitev objavila tudi na zgoščenki decembra 2005 skupno z računalniškimi programom za izračun projektantskih storitev-honorarjev in računalniškimi pripomočkom za pripravo strukture investicijskih stroškov.

Avtor članka je namreč član IZS in je enako kot drugi člani že v decembru 2005 prejel navedeno zgoščenko s slovenskimi TPPS, ki so v bistvu prevod HOAI. Poleg tega so bili TPPS v prvi verziji dosegljivi tudi na spletni strani IZS že več kot eno leto, pa jih avtor ni opazil. Zato je članek dober primer vprašljivega odnosa in ravnanja pooblaščenega inženirja do te pereče problematike v domačem okolju. HOAI navaja kot primer, kako naj bi bile strokovne storitve regulirane v slovenskem okolju, vsebinsko skoraj enak izdelek – TPPS – pa za isto okolje odklanja.

Ker je odnos do ureditve in regulacije projektantskih storitev mačehovski tako s strani oblasti kot tudi samih pooblaščenih inženirjev in arhitektov, bomo v nadaljevanju navedli nekatere značilne težave, ki jih je imela projektna skupina pri pripravi TPPS in tudi nekatera dejstva, ki so pomembna za nadaljnje delo vseh pri uveljavljanju TPPS.

## 1) O nastajanju TPPS:

Projektno skupino za tarifne pogoje projektantskih storitev (krajše PSTP) je imenoval UO IZS in je pričela delovati v začetku leta 2001. Ožjo skupino sestavljajo predstavniki, ki so jih imenovali UO matičnih sekcij IZS,

tudi MS arhitektov, ki je v letu 2001 še bila v sestavi IZS. Poleg tega so bile imenovane še delovne skupine po MS, torej zajeten krog strokovnjakov vseh strok.

PSTP se je takoj na začetku znašla pred težko dilemo, kaj uporabiti za strokovno podlago pri pripravi novih TPPS, še posebej zato, ker se Minimalni tarifni pogoji, ki so bili objavljeni v letu 1999, kljub svoji kakovosti niso ustrezno uveljavili. Z upoštevanjem dejstva, da se je približeval sprejem Slovenije v EU in tudi na močno prigovarjanje arhitektov se je IZS, v kateri je bila takrat še MS arhitektov, odločila, da se kot strokovna podlaga za pripravo TPPS uporabi HOAI.

Naslednja težava je bila, kako se prilagajati ZGO-1 in ZUreP-1, ki sta takrat šele nastajala, saj sta bila v prvi verziji sprejeta 19. 12. 2002 in potem večkrat spremenjena, podzakonski akti pa še precej kasneje, npr. Pravilnik o projektni in tehnično dokumentaciji šele 3. 7. 2004.

PSTP je vse to z velikimi napori nekako uspela urejati in tako imamo danes na voljo v bistvu prevod HOAI z vgrajenimi specifičnostmi ZGO-1 in ZUreP ter njihovih podzakonskih aktov in še več. Pripravljena so že gradiva, ki so sedaj še v preverjanju, kmalu pa bodo objavljena na spletni strani IZS, in sicer:

- Obravnava in razčlenitev investicijskih stroškov stavb po DIN 276 – izdaja 1993 (Standard DIN 276 namreč predstavlja sistemsko razčlenitev investicijskih stroškov od začetnih priprav vse do predaje objekta v uporabo. Po tem standardu imajo investicijski stroški sistemske finančne postavke, kar omogoča njihovo preglednost, primerljivost, sprotno kontrolo in po potrebi ukrepanje. Zelo pomembno je tudi to, da omogoča sistematično zbiranje in urejanje statističnih podatkov zgrajenih stavb. Smiselno pa se ta standard lahko uporablja tudi pri inženirskih objektih).
- Primerjava novejšega DIN 276 – izdaja 1993 in DIN 276 – izdaja 1981, na katerega se navezuje HOAI,
- EXCEL program za izračun investicijskih stroškov po DIN 276.

## 2) O zakonodaji na področju graditve objektov:

Dosedanja praksa je dokaj jasno pokazala, kako velik razkorak je med vedenjem in izkušnjami avtorjev zadevne zakonodaje in med zahtevami dobre prakse ali inženirji in arhitekti z dobro prakso. Avtorji zakonodaje že krepko občutijo posledice na svoji koži, ker so nekdanjo, dokaj uporabljivo zakonodajo s področja graditve objektov praktično zavrgli in napisali novo, namesto da bi prvotno dograjevali in izboljševali. Kot je znano, se zopet pripravljajo temeljite spremembe ZJN, ZGO in ZUreP, pa čeprav se je od prvega sprejema že nekajkrat spremenila. Če bo zakonodajalec vztrajal pri sedanjih praksi priprave zakonov, lahko pričakujemo še dolgo in mučno razpravljanje, preden bo ta postala primerna za praktično uporabo.

Kot je že avtor strokovnega članka poudaril, ima HOAI zakonsko podlago. Pa ne samo to. HOAI se navezuje še na celo vrsto druge zakonodaje, kar kot celota izčrpno opredeljuje ta del investicijskega procesa v nemškem okolju. V slovenskem okolju pa so TPPS sicer pripravljene na podlagi 110. člena ZGO-1, vendar sedaj pristojno ministrstvo zavlačuje njihovo obravnavo in potrditev. Zadeve so se zapletle še toliko bolj, ker se zopet pripravljajo že omenjene spremembe ali celo nova zakonodaja, da ne govorimo o manjkajočih podzakonskih aktih in navezavi na ustrezno ostalo zakonodajo. Iz tega vidika TPPS seveda še niso enakovredni HOAI in ne bodo, vse dokler ne bo ustrezno urejena zadevna slovenska zakonodaja. Seveda je vse to krepko občutila projektna skupina za tarifne pogoje, ki je pri pripravi novih TPPS lahko sledila le taki zakonodaji, kakršna je nastajala in bila sprejeta v DZ RS.

## 3) O poklicni naravnosti inženirjev in arhitektov:

PSTP je pri dosedanjem delu ugotavljala:
 

- da marsikateri inženirji in arhitekti znajo hitro naštet, kaj vse je narobe in prav tako hitro odpovedo, ko naj bi navedli, kako bi bilo dobro in prav, kar ni tvorno sodelovanje,



- da se posamezna mnenja inženirjev in arhitektov precej razlikujejo, kar ne bi bilo nič narobe, če bi jih pri reševanju problemov med seboj bolj usklajevali, ne pa vztrajali vsak pri svojem, kar vnaša nestrpnost,
  - da pogosto kljub dogovorjenim stališčem inženirji in arhitekti potem v svojem okolju nastopajo po svoje,
  - da inženirji in arhitekti kljub zaskrbljujočim razmeram na trgu strokovnih storitev nekako še ne sodelujejo vsestransko in tvorno, ampak se še naprej ohranja individualizem, kar je zelo zaskrbljujoče.
- Že iz navedenega izhaja, da je na razmeroma nizki ravni zavedanje inženirjev in arhitektov, da so za regulacijo strokovnih

storitev v veliki meri odgovorni prav oni sami. Brez celovitega tvornega sodelovanja z organi oblasti pri pripravi predlogov zakonov, podzakonskih aktov ter odločnega zagovarjanja stališč, ki jih narekuje dejanska praksa in stvarni trg strokovnih storitev, ne bo šlo. To ni le naloga državnih uradnikov, ampak tudi vseh udeležencev v investicijskem procesu.

Inženirji in arhitekti so na področju izgradnje objektov prav tako potrebni in nujni, kot so npr. zdravniki v zdravstvu, učitelji in profesorji v šolstvu, sodniki na sodiščih itd. Kako je mogoče, da jih v uradnih nastopih, medijih ipd. sploh ni čutiti?

Če želimo v prihodnje resnično urediti in regulirati zaskrbljujoče razmere na trgu stro-

kovnih storitev in postati korektni ter odločni sogovorniki pri pripravi zadevne zakonodaje, bomo morali biti kritični v prvi vrsti do sebe, nato pa tudi do drugih ter z dejanji dokazati svoja ravnanja.

Vsem inženirjem v imenu PSTP želim korektno uporabo TPPS in pripadajočih računalniških programov, čeprav so razmere dokaj nenaklonjene in vas hkrati prosim, da jih na podlagi vaših konstruktivnih izkušenj in pobud dograjujemo.

**Franc Pečovnik, univ. dipl. inž. str.  
Gavce 20A, 3327 Šmartno ob Paki  
Vodja Projektne skupine za tarifne pogoje  
IZS**

## Odgovor avtorja na pripombe g. Franca Pečovnika, univ. dipl. inž. str. na članek: Nemški predpis o honorarjih za storitve arhitektov ter inženirjev (HOAI)

Uvodoma želim izraziti razočaranje zaradi skromnega odziva slovenskih arhitektov in inženirjev na to, za njih življenjsko pomembno temo. Nezainteresiranost, otopelost, nekritično ter stoično prenašanje omalovaževanja ter nezadostnega honoriranja njihovega strokovnega dela ob istočasnem utapljanju stroke v vse obsežnejši poplavi formalnih ter birokratskih predpisov in zahtev pomeni izgubo njihove vere v strokovno znanje in izkušnje kakor tudi izgubo perspektive in upanja, da se bo končno tudi pri nas ponovno pričelo ceniti strokovno znanje in praktične izkušnje ter končno pričelo omejevati nesmiselno razmetavanje finančnih sredstev za nepravilno in slabo delujoče naprave.

Čeprav g. Pečovnik v pripombah *strokovnemu delu članka* priznava neoporečnost, v nadaljevanju moj članek takoj ožigosa kot *dober primer vprašljivega odnosa in ravnanja pooblaščenega inženirja do te pereče problematike v domačem okolju*, saj HOAI navajam kot posnemanja vreden primer honoriranja strokovnih storitev in temu nasprotno odklanjam po njegovem »vsebinsko skoraj enak izdelek – TPPS«. Za povrhu se mi (v družbi z oblastjo ter ostalimi pooblaščenimi inženirji in arhitekti) pripisuje tudi mače-

*hovski odnos (?!?) do ureditve in regulacije projektantskih storitev.*

Kar se tiče očitka o moji »zapoznili reakciji« najprej naslednje. Članek o HOAI sem poslal uredništvu Gradbenega vestnika novembra 2005, torej še pred prejemom zgoščenke s TPPS. Pri naraščajoči poplavi vseh mogočih neuskkljenih in medsebojno nasprotujočih, pomanjkljivo in površno izdelanih slovenskih zakonov, pravilnikov, predpisov itd. mi (kot večini mojih kolegov) zmanjkuje časa in volje za njihov študij, kaj šele za različne verzije osnutkov na spletnih straneh. Zato se zahvaljujem g. prof. dr. Janezu Duhovniku, ker me je v zvezi z mojim člankom opozoril na osnutek TPPS. Na podlagi prebranega osnutka TPPS sem članku nato dodal »post scriptum«.

Kot vodja posameznih strokovnih oddelkov ter kasneje tudi projektantskega biroja v Nemčiji sem se med svojim skoraj štiridesetletnim strokovnim delovanjem (poleg projektiranja ter nadzora gradbišč) skoraj vsakotredensko ukvarjal tudi z izračuni honorarjev na podlagi HOAI.

Nerazumljivo mi je, kako sem lahko prestal vsa ta desetletja svojega zelo uspešnega strokovnega delovanja, ne da bi pogrešal vse dandanes v Sloveniji nujno potrebne

neštete formularje, obrazce, potrdila, napotke, zahteve, predpise, navodila itd. itd.. Morda zato, ker so Nemci zaupali moji strokovni izobrazbi (diplomi na FAGG v Ljubljani) in so mi omogočili, da sem se smel prvenstveno ukvarjati s strokovnim delom ter na podlagi strokovnega znanja in praktičnih izkušenj poiskati za investitorje tehnično ter ekonomsko optimalne rešitve? Znatno manj številni nemški državni uradniki so se svojčas ukvarjali pretežno z nadzorom strokovnega dela in si zaradi prezaposlenosti (in takratne majhne zmogljivosti računalnikov) niso izmišljali vsemogočih zahtev, obrazcev, poročil, statistik itd. ter na tak način dokazovali upravičenost svojega številčnega obstoja oziroma niso prelagali svojega birokratskega dela na tuja ramena. Pri nalaganju na tuja (brezplačna, molčeča) ramena se namreč teža bremena vedno hitro ter hudo podceni.

HOAI ni zgolj gola zbirka števil ter tabel, temveč njena uporaba temelji na ustrezni »strokovni filozofiji«, ki sem jo skušal opisati. Od nastanka leta 1871 je namreč prvenstveni namen HOAI ravno preprečitev nesmiselnega in dragega tekmovanja cen ponudnikov. **Tekmovanje cen je namreč mogoče le takrat,**



ko povpraševalec določene dejavnosti ali storitve prejme ponudbe večjega števila ponudnikov, ki jih lahko cenovno medsebojno primerja. Taka primerjava cen pa pri umskih dejavnostih in storitvah ni mogoča, saj v tem primeru ne gre za »robo«, temveč za individualno ustvarjalno storitev ali dejavnost, ki je vedno vezana na posamezni primer. Projektant lahko usmeri vse svoje umske sposobnosti v kreiranje optimalnih rešitev za želje investitorja le, če spremlja in sodeluje v celotnem postopku izvedbe naprave in če je finančno neodvisen, kar pomeni, da so njegove storitve ter dejavnosti zadovoljivo honorirane in se mu tako omogoči gospodarska osnova za njegovo delovanje.

Nemški investitor si lahko direktno izbere projektanta, ki mu zaupa, saj je višina honorarja ista za vse projektante. Projektant z obsežnejšim strokovnim znanjem ter izkušnjami pa bo nagradil investitorja s tehnološko ter strokovno optimalno napravo, torej z nižjimi skupnimi investicijskimi ter obratovalnimi stroški.

V Nemčiji je zato zakonsko predpisana pravilna uporaba HOAI. HOAI je enakovreden, uravnotežen, medsebojno zaupni pogodbeni odnos med delodajalcem ter delojemalcem. Vsako odstopanje ali zloraba HOAI je kršitev zakonodaje, ki se striktno ter strogo kaznuje. Nasprotno pa TPPS teh osnovnih načel in predpogojev uporabe HOAI sploh ne vsebuje! Pod krinko HOAI skuša TPPS perfidno zamenjati ta osnovna načela in predpogoje uporabe ter za vsako ceno **obdržati javno razpisovanje umskih storitev in dejavnosti**, ki se je in se v vedno večji meri izkazuje za skrajno potratno, da ne rečem bedasto. Pri nas bo uradno tako še nadalje projektiral najcenejši ponudnik, ne glede na njegovo strokovno sposobnost ter izkušnje kakor tudi ne glede na običajno znatno višje končne skupne stroške. **Torej** (razen nekaj spremenjenih števil) **TPPS praktično ne pomeni nikakršnega izboljšanja sedanjega stanja**. Strokovno ozaveščeni investitor bo kot dober gospodar zato še nadalje obsojen na ustrezno

iskanje zakonskih lukenj ter goljufanje! (Javna tajna je, da je pretežni del javnih razpisov tako ali tako manipuliran.)

Trditev avtorja pripomb, da je »**TPPS vsebinsko skoraj enak izdelek kakor HOAI**« je zato hudo zmotna in zavajajoča. Prav velika razlika v uporabi med HOAI ter TPPS ter ta namenska zloraba HOAI je vzrok za moj brezmejni optimizem, da ministrstvo morda le ne bo potrdilo predlaganih TPPS, saj bodo taki TPPS hudo škodovali naši stroki.

Na očitke o mojem mačehovskem odnosu do ureditve in regulacije projektantskih storitev ne bom odgovoril, saj ga ne razumem.

Opažam, da se je naša zakonodaja (z izgovarjanjem na Bruselj) že zdavnaj »osamosvojila« in se ne glede na potrebe stroke vse bolj zapira v trdnjavo, ki jo vedno hitreje obdaja in zelo uspešno dograjuje z vedno širšim labirintom formalnih zahtev in opremlja z vsemi mogočimi, vedno višjimi birokratskimi utrdami. Stroka (z redkim občasnim previdnim, rahlim mirranjem) lakajsko pomaga izgrajevati labirint ter utrdbe, pri čemer skuša sem ter tja neopazno »popiliti« le neznosne konice diletantskih odločitev. Strokovno / politični farsni predpisa in priročnika o izdelavi projektne dokumentacije se s TPPS tako torej v kratkem obeta ustrezno nadaljevanje!

Mnenja sem, da je vzrok v pripombah pod točko 3) (»o poklicni naravnosti inženirjev in arhitektov«) opisanega stanja nemotiviranost inženirjev in arhitektov, ki jih IZS ne zna ali ne želi vključiti v njihovo delo. Popuščanje ter le občasno zelo mlačno upiranje IZS strokovno škodljivim in v praksi zelo razsipnim političnim direktivam povzroča namreč naraščanje nezaupanja in otopelosti članstva, ki sicer še plačuje članarino, vendar zaradi občutka opeharjenosti vse pogosteje razmišlja o (pre)majhni pridobljeni protivrednosti oziroma (ne)koristnosti te investicije.

Na splošno se pri nas strokovna kritika še vedno razume kot osebni napad, zato se praviloma kritike (z oznako ogrožanja miru ter vnašanja nemira) ustrezno demotivira, utiša in če tudi to ne zaleže, demagoško oblati ter

izolira. Strah pred strokovno kritiko narašča v obratnem sorazmerju s pomanjkanjem dejanskega strokovnega znanja in izkušenj. Pri tem se običajno spregleda, da je kritika lahko tudi želja po izboljšanju razmer! Koliko časa si bomo Slovenci namesto sodelovanja lahko še privoščili rastoče nezaupanje ter dvignjene grajske dvizne mostove?

Projektne skupini za tarifne pogoje IZS z g. Pečovnikom na čelu nikakor ne odrekam obilice vloženega truda in dela. Prav nasprotno! Škoda le, da se bo vse to delo izjalovilo, saj je naša oblast še vedno prepričana, da mora dialog s stroko potekati le po enosmerni ulici, stroka pa se na žalost temu krotko podreja.

Naj razliko med HOAI ter TPPS na kratko povzamem z naslednjo prisposodo. TPPS je nemški ovčar, ki so mu predhodno populili zobe, prerezali glasilke ter ga kastrirali. Res, da dosedanji slovenski mešanec ne grize, ne laja ter ga tudi psičke preveč ne zanimajo, vendar, ali naj ga zamenjamo samo zato, da se bomo lahko hvalili, da smo si nabavili nemškega čuvaja?

Ne utvarjam si, da bo moje bevskanje spremenilo smer karavane. Mogoče pa bi skupni, močni lajež le povzročil določen odklon v pravilnejšo smer?

Dandanes v Sloveniji vse pogosteje uporabljeni izrek se glasi: »Pametnejši odneha!« Ne morem si kaj, da, kakor vedno, temu ne odvrnem s citatom gospe Marie von Ebner-Eschenbach: **»Pametnejši odneha! Kakšna žalostna resnica, ki je temelj prevlade neumnosti!«**

Na koncu se želim opravičiti še g. Pečovniku, saj sem njegove pripombe hvaležno izrabil tudi kot iztočnico za kritične misli, ki niso bile naslovljene zgolj nanj.

**Franc Maleiner univ. dipl. inž. kom.  
Sojerjeva 43, 1000 Ljubljana  
E-mail: franc.maleiner@siol.net  
GMS: (040) 244666**



# OBVESTILO IN VABILO DIPLOMANTOM FAKULTETE ZA GRADBENIŠTVO UNIVERZE V LJUBLJANI

Vse diplomante Fakultete za gradbeništvo Univerze v Ljubljani, ki v skladu z dogovorom med ZDGITS in FGG po opravljeni diplomski, magisteriji ali doktoratu eno leto brezplačno prejemajo Gradbeni vestnik (12 zvezkov), vabimo, da po tem obdobju postanejo njegovi redni naročniki s plačilom vsakokratne letne naročnine, ki sedaj znaša 5500 SIT.

Vse diplomante FGG, ki želijo Gradbeni vestnik prejemati naprej kot redni naročniki, prosimo, da takoj po prejemu 12. zvezka o tem obvestijo Uredništvo Gradbenega vestnika na naslov: **Gradbeni vestnik, Karlovška 3, 1000 Ljubljana, telefon/fax: (01) 422-46-22; e-mail: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)**. Če uredništvo tega obvestila ne bo prejelo, bo štelo, da se pre-

jemnik ni odločil za redno naročilo in ga bo črtalo iz evidence.

Ker so nekateri diplomanti po diplomski spremenili naslov stalnega bivališča, ki so ga imeli kot študenti, in na katerega pošiljamo revijo, pošta pa nam jo vrača, prosimo vse diplomante, ki revije niso prejeli, naj nam posredujejo novi naslov bivališča.

**Uredništvo Gradbenega vestnika**

## VABILO ZA OBJAVO OGLASOV

### Spošтовani bralci Gradbenega vestnika!

GRADBENI VESTNIK je strokovno-znanstvena revija, s katero predstavljamo slovenski in tuji strokovni javnosti dosežke z vseh področij gradbeništva. Revija je tudi člansko glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije ter Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije. Revija izhaja mesečno v nakladi 3100 izvodov. Med naročniki je tudi 52 naslovov iz tujine, z nekaterimi tujimi naslovi pa si revijo izmenjujemo.

V Gradbenem vestniku lahko objavite oglase na različnih mestih, v različnih velikostih in po različnih cenah:

Ovitek: zadnja stran 1/1	200.000,00 SIT
Notranja stran 1/1	150.000,00 SIT
Notranja stran 2/3	130.000,00 SIT
Notranja stran 1/2	100.000,00 SIT
Notranja stran 1/3	75.000,00 SIT
Notranja stran 1/4	40.000,00 SIT

V cenah ni upoštevan 20 % DDV.

Za prvo ponovitev objave oglasa upoštevamo 20 % popust, za drugo ponovitev 40 %.

Oglas lahko pripravite v:

- rastrskih formatih JPEG, TIFF, EPS
- formatu CDR (ver 8.0 ali manj), pri čemer je potrebno vse črke spremeniti v krivulje.

Vsebine je mogoče poslati z redno pošto na naslov: GRADBENI VESTNIK, Karlovška 3, 1000 Ljubljana ali po e-pošti na naslov [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)

Z Vašim sodelovanjem boste omogočili, da revija še naprej nemoteno in redno izhaja.

**ZDGITS – izdajateljica  
GRADBENEGA VESTNIKA**



## PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2006

Mesec	SEMINAR	IZPIT	
		Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
September	18.–21.		
Oktober			Ustni: 25.
November		Ustni: 14.	

**A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:**

Pripravljalne seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska 3, 1000 Ljubljana;**

Telefon/fax: (01) 422-46-22; e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. Odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
2. Odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
3. Odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov – predavanje za kandidate, ki morajo opraviti dopolnilni strokovni izpit s tega področja. Predavanje se izvaja v okviru rednih seminarjev.
5. Splošni del programa

(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS – MSG:  
<http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«, pod naslovom »Gradiva«!)

K seminarju vabimo tudi kandidate drugih inženirskih strok, ki se lahko pridružijo predavanjem iz splošnega dela programa (5.).

**Cena** za udeležence **seminarja** po izpitnih programih 1.,2. in 3. točke znaša 147.000,00 SIT z DDV, za 5. splošni del programa 105.000,00 SIT z DDV, za predavanje in literaturo pod 4. točko pa 21.000,00 SIT z DDV.

Kotizacijo za seminar je potrebno nakazati ob prijavi!

Seminar ni obvezen, zato je izvedba seminarja odvisna od števila prijav (najmanj 20).

Udeleženca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženec...). Prijavo v obliki dopisa je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje **15 dni pred pričetkom** seminarja in zraven poslati kopijo dokazila o plačilu kotizacije.

Prijava mora vsebovati: priimek, ime, poklic (zadnja pridobljena izobrazba), izpitni program (1./2./3./4./5. - Glej zgoraj!), naslov udeleženca ter natančni naslov in ID DDV številko plačnika. Poslovni račun ZDGITS je 02017-0015398955; ID DDV številka 79748767.

**B. STROKOVNI IZPITI**

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si> (kjer se nahajajo vse informacije o strokovnih izpiti, izpitni programi in prijavnimi obrazci!) in po telefonu (01) 547-33-15 vsak delavnik od 9.00 do 12.00 ure.



# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Anton Koprivnikar**, Sistem javnih financ na lokalni ravni, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

**Danijel Vončina**, Kontrola zagotavljanja kakovosti med gradnjo poslovno-stanovanjskega objekta, mentor doc. dr. Jana Šelih

**Matjaž Horvat**, Hidravlična analiza kanalizacijskega zbiralnika A6 v Ljubljani, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan

**Primož Glavica**, Analiza asfaltnih zmesi na mestnih cestah, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor Slovenko Henigman, univ. dipl. inž. grad.

**Peter Frece**, Potek izvajanja zemeljskih del pri gradnji ceste, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor asist. dr. Peter Lipar

**Marko Turel**, Določitev karakteristične tlačne trdnosti samožgoščevalnega in vibriranega betona, mentor izr. prof. dr. Goran Turk, somentor doc. dr. Violeta Bokan Bosiljkov

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Marko Ekart**, Uporaba koncepta vitke proizvodnje v gradbeništvu, mentor doc. dr. Jana Šelih

**Jure Korla**, Optimizacija dimenzij blokov masivnega betona hidrotehničnih objektov, mentor doc. dr. Igor Planinc, somentor dr. Jakob Šušteršič

**Marko Markoja**, Dimenzioniranje zidanih konstrukcij po evropskem standardu EN 1996-1-1, mentor izr. prof. dr. Franc Saje

**Mojca Markovič**, Mejna nosilnost AB prečnih prerezov pri dvojno ekscentrični osni obremenitvi, mentor doc. dr. Igor Planinc, somentor doc. dr. Sebastjan Bratina

**Miha Šantavec**, Uporaba mobilnih terenskih kamer na gradbišču, mentor prof. dr. Žiga Turk, somentor asist. dr. Tomo Cerovšek

**Matija Jesenko**, Projektiranje potresno odporne stanovanjsko-poslovne stavbe v Mariboru po standardu EC 8, mentor prof. dr. Matej Fischinger, somentor Srečko Balič, univ. dipl. inž. grad.

**Vasja Černac**, Projektiranje AB sten po EC 8, mentor prof. dr. Matej Fischinger

## UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

**Polona Repnik**, Urejanje mokrišč z namenom izboljšanja kvalitete vode – primer zadrževalnik visokih voda Podutik, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor prof. dr. Mihael Jožef Toman

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Daniel Cedula**, Notranja presoja kontrole proizvodnje gramoznic Babinci in Krapje, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj

**Robert Ivanuša**, Sovprežni cestni most razpona 65 m, s konstantnim in spremenljivim prečnim prerezom glavnega vzdolžnega nosilca, mentor pred. Boris Visočnik, univ. dipl. inž. grad., somentorja izr. prof. dr. Stojan Kravanja in izr. prof. dr. Miroslav Premrov

**Irena Kerner**, Projekt organizacije gradbišča, mentor pred. Meta Zajc Pogorelnik, univ. dipl. inž. grad.

**Karmen Lehner**, Jeklene konstrukcije in moderna arhitektura v visokogradnji, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja

**Janez Leopold**, Vpliv požara na obnašanje kovinskih konstrukcij, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja

**Alojz Preglau**, Sanacija in zaščita betonskih površin jezovnih pregrad na Dravi na primeru hidroelektrarne Ožbalt, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor pred. Samo Lubej, univ. dipl. inž. grad.

**Franc Prelog**, EC 2 – Dimenzioniranje konstrukcijskih elementov na primeru objektov, mentor pred. Benedikt Boršič, univ. dipl. inž. grad.

**Vojko Titan**, Vplivi na mostove po DIN – Fachbericht 101, mentor pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad., somentor pred. Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.

Rubriko ureja • **Jan Kristjan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.



# KOLENDAR PRIREDITEV

**4.7. - 7.7.2006**

**Infrastructure Facilities Asia 2006**  
Singapur  
www.infrastructure-asia.com  
enquiry@hqinterfama.com

**11.7. - 13.7.2006**

**Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels**  
Portorož, Slovenija  
www.bhrgroup.com/confsite/av06home.htm  
bastle@bhrgroup.com

**28.7.2006**

**4th International Engineering & Construction Conference**  
Los Angeles, Kalifornija, ZDA  
www.asce.org  
thancuff@lacds.org

**3.8. - 5.8.2006**

**10th EASEC Conference on Structural Engineering and Construction**  
Bangkok, Tajska  
www.easec10.net

**4.8. - 6.8.2006**

**International Conference on Physical Modelling in Geotechnics 2006**  
Hong Kong, Hong Kong  
www.icpmg2006.ust.hk/onlineSubmission.htm  
stse@ust.hk

**6.8. - 10.8.2006**

**WCTE 2006 World Conference on Timber**  
Portland, Oregon, ZDA  
www.alexschreyer.de/eng/w\_conf.htm  
jamie.legoe@oregonstate.edu

**14.8. - 16.8.2006**

**ASCE Operating Reservoirs in Changing Conditions**  
Sacramento, California, ZDA  
www.asce.org/conferences/om06/abstract.cfm

**14.8. - 17.8.2006**

**STESSA 2006 Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas**  
Yokohama, Japonska  
www.serc.tiftech.ac.jp/stessa2006/  
wada@serc.tiftech.ac.jp

**23.8. - 25.8.2006**

**7th International Conference on Short & Medium Span Bridges**  
Montreal, Kanada  
www.bridgeconference2006.com

**29.8. - 1.9.2006**

**12th European Conference on Composite Materials**  
Biarritz, Francija  
www.paginas.fe.up.pt/ECCM12/  
eccm12@lcts.u-bordeaux1.fr

**6.9. - 8.9.2006**

**6st European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering**  
Graz, Avstrija  
www.numge06.tugraz.at  
numge06@tugraz.at

**6.9. - 10.9.2006**

**10th IAEG Congress Engineering geology for tomorrow's cities**  
Nottingham, Anglija  
www.iaeg2006.com  
contact@iaeg2006.com

**13.9. - 15.9.2006**

**IABSE Symposium on Responding to Tomorrow's Challenges in Structural Engineering**  
Budimpešta, Madžarska  
www.iabse.hu  
iabse@asszisztencia.hu

**25.9. - 30.9.2006**

**7th International Symposium on Environmental Geochemistry**  
Peking, Kitajska  
www.iseg2006.com/welcome.htm  
iseg2006@vip.skleg.cn

**15.11. - 17.11.2006**

**8th International Symposium on Tunnel Construction and Underground Structures (8. mednarodno posvetovanje o gradnji predorov in podzemnih prostorov)**  
Ljubljana, Slovenija  
www.drustvo-dpgk.si  
leon.kostiov@tinet.net

**11.6. - 13.6.2007**

**International Conference: Sustainable Construction Materials and Technologies**  
Coventry, Anglija  
www.uwm.edu/dept/cbu/coventry.html

**4.9. - 6.9.2007**

**7th International Congress: Construction's Sustainable Option**  
Dundee, Škotska  
www.ctucongress.co.uk

**19.9. - 21.9.2007**

**IABSE Symposium International Association for Bridge and Structural Engineering**  
Weimar, Nemčija  
www.iabse2007.de

Rubriko ureja • **Jan Kristjan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: **msg@izs.si**