





Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9e, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
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

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

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 22,95 EUR; za študente in upokojene 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
 SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledki med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; 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 ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev in opisana z naslednjimi podatki: priimek, začetnica imena prvega avtorja, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. 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.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran **130**

prof. dr. Miha Tomaževič, univ. dipl. inž. grad.

dr. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.

OBNAŠANJE HIŠ YTONG PRI POTRESNI OBTEŽBI: MODELNE PREISKAVE NA POTRESNI MIZI

SEISMIC BEHAVIOUR OF CONFINED AERATED AUTOCLAVED
CONCRETE MASONRY BUILDINGS: A SHAKING TABLE STUDY



stran **147**

mag. Sašo Šantl, univ. dipl. inž. grad.

Gašper Rak, univ. dipl. inž. VKI.

ANALIZA POPLAVNE NEVARNOSTI IN ODOČNEGA REŽIMA – UPORABA RAZLIČNIH TIPOV HIDRAVLICNIH MODELOV

FLOOD HAZARD AND RUN-OFF REGIME ANALYSIS – APPROACH
WITH USE OF DIFFERENT TYPES OF HYDRAULIC MODELS



stran **157**

Mojca Jelančič

Domen Ivanšek

Goran Pregelj

Strokovna ekskurzija – Dubaj 2010



stran **160**

Razpis študijev na UL FGG

Novi diplomanti

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

Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Preiskava modela hiše YTONG na potresni mizi, foto arhiv ZAG

OBNAŠANJE HIŠ YTONG PRI POTRESNI OBTEŽBI: MODELNE PREISKAVE NA POTRESNI MIZI

SEISMIC BEHAVIOUR OF CONFINED AERATED AUTOCLAVED CONCRETE MASONRY BUILDINGS: A SHAKING TABLE STUDY

prof. dr. Miha Tomaževič, univ. dipl. inž. grad.;

miha.tomazevic@zag.si

dr. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.;

matija.gams@zag.si

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 624.042.7.001.5

Povzetek | Raziskali smo obnašanje stanovanjskih stavb iz aeriranega celičnega betona, hiš Ytong, sezidanih v sistemu povezanega zidovja. Na potresni mizi smo preiskali dva modela tri- in en model štirinadstropne stavbe. Modeli so bili izdelani v merilu 1 : 4, vsi so imeli enako florisno zasnovo s simetrično porazdelitvijo zidov vzdolž krajše osi in nesimetrično vzdolž daljše osi. Stropne konstrukcije modela M1 so bile lahki montažni stropi s polnili Ytong, medtem ko so bile stropne konstrukcije trinadstropnega modela M2 in štirinadstropnega modela M3 polne armiranobetonske plošče. V višini stropov so imeli modeli zidne vezi, medtem ko so bile navpične vezi postavljene v vseh vogalih, sečiščih zidov in ob odprtinah. Modele smo opremili z merilniki pomikov in pospeškov, ki smo jih namestili na vogalih in sredini stropov, in jih izpostavili zaporedju potresov s stopnjema povečevano intenziteto. Za krmiljenje potresne mize smo uporabili akcelrogram potresa iz leta 1979 v Črni gori. Model M1 smo preiskali vzporedno na os simetrije, medtem ko smo modela M2 in M3 preiskali z vzbujanjem pravokotno nanjo. Modeli so se obnašali podobno z nastankom strižnega etažnega mehanizma pri mejnem stanju porušitve. Obnašanje modelov je bilo ugodno, saj sta dosežena odpornost in kapaciteta duktilnosti presegla pričakovanja in zahteve za potresno odporne stavbe tudi na območjih z najmočnejšo pričakovano seizmičnostjo. Na podlagi rezultatov preiskav smo analizirali odvisnost med poškodbami in deformacijami ter izvednotili vrednosti parametrov za projektiranje, kot sta duktilnost in faktor obnašanja.

Summary | The seismic behavior of typical residential confined masonry buildings constructed with aerated autoclaved concrete (AAC) blocks has been investigated. Two three- and one four-storey models, constructed at 1 : 4 scale, have been tested by subjecting them to a simulated earthquake ground motion on a simple uni-directional seismic simulator. The floor plan of all models was the same, with symmetric distribution of walls along the shorter axis and slight asymmetry along the longer one. Lightweight prefabricated joists with AAC fillings without concrete topping represented the floor structures in the case of the three-storey model M1, whereas reinforced concrete slabs have been cast in the case of the three-storey model M2 and four-storey model M3. Bond beams have been provided at all floor levels and tie columns have been installed at all corners, wall intersections and along openings. The models have been instrumented with accelerometers and displacement transducers, placed in the middle and at the corners of the floor

slabs at each floor level, and subjected to a series of excitations with increased intensity of motion in each successive test run. The acceleration record of the Montenegro earthquake of 1979 with peak ground acceleration of 0,43 g has been used to drive the simulator. Whereas models M2 and M3 have been tested by subjecting them to seismic motion orthogonal to the axis of symmetry, model M1 has been tested in the direction parallel to it. In all cases, typical shear type behaviour has been observed, with diagonally oriented cracks in the walls in the first storey determining the failure mechanism. All models exhibited good seismic behaviour, with resistance and energy dissipation capacity exceeding the expected values. On the basis of test results, the correlation between the damage and storey drift at characteristic limit states has been analysed and the values of typical design parameters, such as displacement capacity and structural behaviour factor, have been evaluated.

1 • UVOD

Aerirani celični beton, porobeton, izdeluje pri nas pod originalno blagovno znamko Ytong podjetje Xella porobeton SI v Kisovcu pri Zagorju. Tržno ime materiala, ki ga je izumil švedski arhitekt Axel Eriksson, je sestavljeno iz prve črke imena kraja Yxhult na Švedskem, kjer so porobeton leta 1929 začeli izdelovati, in zadnjega dela švedske besede za beton, betong. Porobeton je lahek gradbeni material, ki ima zelo dobre toplotno in zvočno izolativne lastnosti in veliko požarno odpornost. Kljub temu da je tlačna trdnost zidovja iz porobetona manjša od trdnosti opečnega zidovja, je dovolj visoka, da omogoča gradnjo tudi večnadstropnih stavb. Ker ima material majhno maso, med potresom v stavbah iz porobetona nastanejo manjše potresne sile kot v podobno velikih stavbah iz opeke. Kot so pokazali nedavni primeri v Grčiji (Atene, 1999) in pri nas (Bovec, 2004 – slika 1), je obnašanje stavb iz porobetona med močnimi potresi kljub nizki tlačni trdnosti ustrezno.

Kljub temu da so v zadnjih desetletjih opravljene raziskave že dale številne podatke, kako se pri potresni obtežbi obnašajo opečne zidane konstrukcije, so podatki o obnašanju konstrukcij iz porobetona še vedno zelo pomanjkljivi. Vemo, kako se elementi iz porobetona obnašajo pri tlačnih obremenitvah. Raziskave v tujini ((Potresnoodporno projektiranje, 2004), (Tanner, 2004), (Jäger, 2009)) so že dale nekaj podatkov tudi o tem, kako se obnašajo zidovi iz porobetonskih zidakov pri ciklični strižni obtežbi. Razpoložljivi podatki kažejo, da se zaradi homogenosti materiala razmerja med mehanskimi lastnostmi zidovja pri tlaku in kombinaciji tlaka in striga razlikujejo od podobnih razmerij pri zidovju iz opečnih zidakov. Zelo malo informacij pa je



Slika 1 • Hiša v Bovcu, sezidana iz porobetona v sistemu Ytong, je potres leta 2004 prestala brez poškodb (foto: Uroš Klemen)

na razpolago o dinamičnem odzivu konstrukcij iz porobetona na potres ter o porušnih mehanizmi, ki določajo kapaciteto nosilnosti in duktilnosti tovrstnih konstrukcij pri potresni obtežbi in so odvisni prav od razmerij med tlačno in strižno trdnostjo materiala in odpornostjo zidovja.

Brez tovrstnih podatkov ne moremo zanesljivo računsko ponazoriti odziva stavb iz porobetona na močne potrese, niti ne moremo zanesljivo preveriti njihove potresne odpornosti. Ker brez poprejšnjega eksperimentalnega preverjanja težko predvidimo nastanek

poškodb in mehanizme porušitve, so ocene varnosti konstrukcij na podlagi podatkov, ki so dobljeni s statičnimi preiskavami zidov, lahko nezanesljive. Zato se je podjetje Xella porobeton SI odločilo, da financira raziskave obnašanja hiš, grajenih v sistemu Ytong, pri potresni obtežbi in na podlagi rezultatov preiskav morda predlaga tudi nekatere izboljšave sistema.

Zaradi omejenih zmogljivosti preizkuševalnih naprav, ki jih imamo na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG), smo se, kot že večkrat, tudi to pot odločili, da bomo na potresni mizi preiskali

modele tipičnih stavb, hiš Ytong, izdelanih v merilu 1 : 4. Izbrano modelno merilo je bilo dovolj veliko, da je omogočilo do podrobnosti modelirati konstrukcijske detajle, značilne za sistem Ytong, in s tem ponazoriti mehanizme obnašanja, ki jih lahko pričakujemo na prototipnih stavbah. Razmeroma majhna teža materiala je omogočila, da so bili preiskani modeli po dimenzijah največji, kar smo jih preiskali doslej. V tem prispevku bomo opisali preiskave in analizirali njihove rezultate. Predstavili bomo tudi sklepe, ki veljajo za prototipne konstrukcije.

2 • PROGRAM IN OPIS PREISKAV

2.1 Opis prototipnih stavb in metode preiskav

Prototipne stavbe, katerih modele smo preiskali, se med seboj razlikujejo le po tipu stropnih konstrukcij in številu etaž. Vse imajo enake tlorisne dimenzije in enako porazdelitev zidov v tlorisu. Tlorisna površina zidovja v x-smeri je 5,8 %, v y-smeri pa 8,3 % bruto tlorisne površine prototipne stavbe. Sezidali smo tri modele, pri čemer sta prototipa modelov M1 in M2 predstavljala stavbo s 4 etažami (P + 2 + mansarda). Razlikovala sta se le po tipu stropnih plošč, ki so pri modelu M1 montažne (t. i. beli strop), pri modelu M2 pa monolitne križem armirane armiranobetonske plošče. T. i. beli strop je montažni strop, ki je sestavljen iz armiranobetonskih nosilcev in montažnih porobetonskih polnil brez tlačne plošče. Prototip modela M3 je stavba, ki ima eno etažo več (P + 3 + mansarda), stropne konstrukcije pa so kot pri modelu M2 monolitne armiranobetonske plošče. Nad mansardo imajo vse prototipne stavbe enako leseno ostrešje in kritino iz opečnih strešnikov.

Potresna miza na ZAG je premajhna, da bi lahko na njej preiskali model celotne prototipne stavbe. Čeprav smo z dimenzijami modelov izkoristili velikost mize, modeli predstavljajo le del prototipa, vendar z vsemi bistvenimi značilnostmi. Zaradi poenostavitve zidanja so bili v nasprotju s prakso enako debeli obodni in notranji zidovi modelov, ravno tako smo pri modelih izpustili stopnišča. Kljub temu so bili modeli zasnovani tako, da so geometrijska neskladja s tipskim prototipom le malo vplivala na njihovo obnašanje. Tako se npr. delež zidov, ki je definiran kot razmerje med površino prereza zidov in bruto tlorisno površino stavbe, v primeru, ko so vsi zidovi

enako debeli, le za približno 0,5 % razlikuje od deleža v primeru, ko bi bili obodni zidovi debeli 30 cm, notranji pa 20 cm.

Tlorisne dimenzije idealizirane prototipne stavbe, katere modele smo preiskali na potresni mizi, so 6,85/8,75 m, medtem ko je svetla etažna višina 2,50 m. Prototipi so grajeni v sistemu povezanega zidovja z navpičnimi in vodoravnimi zidnimi vezmi. Prototipa modelov M1 in M2 imata navpične vezi na vseh vogalih, na vseh stikih zidov, na vseh prostih robovih zidov, na obeh straneh odprtin s površino več kot 1,5 m² in povesod, kjer bi bila sicer razdalja med vezmi več od 5 m. Vezi so vzdolžno armirane s 4 Ø 14 mm, prečni preizvezi pa je okrogel s premerom 16 mm. Prototip modela M3 ima enako postavitev, vendar imajo navpične vezi, ki so nekoliko močnejše armirane (4 Ø 16 mm), manjši prečni preizvezi (okrogel s premerom 10 cm). Vodoravne vezi, armirane s 4 Ø 12 mm, so v stropnih ploščah nad vsemi zidovi in so pri stavbi z belim stropom, ki jo predstavlja model M1, zabetonirane v posebej za to prirejenih elementih oblike črke U. Posebnost gradnje po sistemu Ytong v primerjavi s klasično gradnjo z opečnimi

zidaki je tudi v tem, da so parapeti armirani: v drugi in tretji vrsti zidakov, šteto od odprte navzdol, je vložena po ena palica Ø 8, ki na vsaki strani parapeta sega še 50 cm v zid. Meja plastičnosti uporabljenega jekla za zidne vezi in parapete je 400 MPa (jeklo S400), trdnostni razred betona pa je C25/30.

Dimenzije zidakov iz porobetona so 62,5/25,0/30,0 cm (dolžina/višina/debelina), izdelujejo pa se v treh trdnostnih razredih – 2, 4 in 6 MPa. Mehanske lastnosti zidakov posameznega trdnostnega razreda in zidovja, ki se zida s posebnim gradbenim lepilom, so povzete po priročniku Potresnoodporno projektiranje nosilnih zidanih konstrukcij Ytong in po podatkih na uradnih spletnih straneh proizvajalca (www.xella.si). Zbrane so v preglednici 1.

Če analiziramo lastnosti prototipnega materiala na podlagi obstoječih podatkov, navedenih v preglednici 1, lahko ugotovimo, da se natezna trdnost zidovja, ki je parameter, ki določa obnašanje nearmiranega zidovja pri potresni obtežbi, z naraščajočo tlačno trdnostjo zidakov oziroma zidovja le malo spreminja. Če je tlačna trdnost zidovja trdnostnega razreda 6 za faktor 5,35/2,14 = 2,50 večja od tlačne trdnosti zidovja razreda 2, je natezna trdnost, dobljena z diagonalno tlačno preiskavo, ob tem večja le za 18 %.

Trdnostni razred	Gostota (kg/m ³)	$f_{b,p}$ (MPa)	$f_{c,p}$ (MPa)	$f_{td,p}$ (MPa)	E_p (MPa)	G_p (MPa)
2	440	2,5	2,14	0,22	1200	480
4	500	5,0	3,92*	0,24*	2200*	880*
6	660	7,5	5,35	0,26	3000	1200

* interpolirane vrednosti

Preglednica 1 • Mehanske lastnosti zidovja iz porobetona (Potresnoodporno projektiranje, 2004; www.xella.si)

Oznake v preglednici pomenijo (indeks P je za prototipne vrednosti):

- $f_{b,P}$ – nominalno tlačno trdnost bloka,
- $f_{c,P}$ – povprečno tlačno trdnost zidovja,
- $f_{td,P}$ – povprečno natezno trdnost zidovja z lepilom v vodoravnih in navpičnih re-gah, dobljeno z diagonalno tlačno pre-iskavo,
- E_P – modul elastičnosti,
- G_P – strižni modul.

Ko na modelih raziskujemo dinamično obnašanje konstrukcije v nelinearnem področju, moramo izpolniti dva temeljna pogoja:

- porazdelitev mas in togosti po višini mo-dela mora biti podobna porazdelitvi v pro-totipni konstrukciji (podobnost dinamičnega obnašanja);
- razmerje med delovno napetostjo in trdnost-jo materiala v zidovih modela mora biti čim podobnejše razmerju v zidovih prototipne stavbe (podobnost porušnih mehanizmov pri potresni obtežbi).

Če sta izpolnjena oba pogoja, bosta dinamični odziv in mehanizem obnašanja (porušni mehanizem) modela in prototipa enaka oziroma podobna v tolikšni meri, da lahko vrednosti parametrov, ki smo jih opazovali na modelu, v skladu z zakoni modelne podobnosti pretvo-rimo na vrednosti, ki jih lahko pričakujemo v podobnih obtežbenih pogojih na prototipni konstrukciji. Če na modelu izmerimo splošno fizikalno veličino, q_M , med njo in pripadajočo veličino na prototipu, q_P , obstoji korelacija ((Langhaar, 1951), (Harris in Sabnis, 1999)):

$$q_P = q_M S_q, \quad (1)$$

kjer je S_q faktor merila za dano fizikalno veličino. Od tega, kako se bomo lotili izdelave modela, bodo odvisne tudi odvisnosti med fizikalnimi veličinami, izmerjenimi na modelu, in pripadajočimi veličinami na prototipu. Fak-torji merila za nekatere osnovne fizikalne veličine, ki opisujejo dinamično obnašanje konstrukcije v splošnih pogojih modelne po-dobnosti, so navedeni v preglednici 2.

Odvisnosti se poenostavijo, če usperno izde-lati popoln model, pri katerem mehanske lastnosti materialov zmanjšamo v geometrij-skem merilu, nekatere druge lastnosti pa ohranimo nespremenjene. Ko smo s predhod-nimi raziskavami ugotavljali možnosti, se je izkazalo, da naloga, izdelati porobeton, ki bi v celoti ustrezal pravilom za popolno modelno podobnost, ni preprosta, saj se z zmanjšanjem trdnosti avtoklaviranega celičnega betona močno podaljšuje čas, v katerem material pridobi trdnost. Zato smo kljub temu, da smo preiskavo zasnovali kot preiskavo popolnega modela, uporabili material, katerega lastnosti so se po večkratnih poskusih šele približale ciljnim vrednostim.

2.2 Modelni materiali

2.2.1 Zidaki in zidovje

Zidaki in drugi sestavni elementi, potrebni za zidanje po sistemu Ytong, so bili izdelali v tovarni v Kisovcu, v laboratoriju ZAG pa s posebnim orodjem po potrebi prilagojeni dejanskim razmeram na modelu. Zidaki in drugi elementi so bili med seboj lepljeni z gradbenim lepilom, ki ga nismo posebej modelirali. Dimenzije zidakov v modelnem merilu so bile 15,6/6,3/7,5 cm (dolžina/višina/širina). Tlačno trdnost zidakov smo določili na kockah dimenzij 6,3/6,3/6,3 cm, izrezanih iz zidakov, tlačno trdnost in modul elastičnosti zidovja pa na zidovih dimen-zij 46,9/68,8/7,5 cm (dolžina/višina/širina), sezidanih v modelnem merilu. Natezno trd-nost zidovja smo določili na dva načina: z

diagonalnim tlačnim preizkusom vzorcev di-menzij 37,5/37,5/7,5 cm ($f_{td,M}$) in s ciklično strižno preiskavo modelnih zidov ($f_{ts,M}$). V preglednici 3 primerjamo s preiskavami ugotovljene mehanske lastnosti modelnih zidakov in zidovja z vrednostmi za prototipno zidovje, sezidano iz porobetonskih zidakov trdnostnega razreda 4.

Če primerjamo vrednosti tlačne in natezne trd-nosti prototipa in modelov, lahko ugotovimo, da smo tlačno trdnost zidakov modelirali razmeroma dobro, medtem ko trdnostne last-nosti zidovja niso bile zmanjšane v enaki meri. Če kot odločilen parameter privzamemo natezno trdnost, določeno z diagonalno tlačno preiskavo, bi lahko celo sklepali, da je ostala enaka kot pri prototipnem zidovju.

2.2.2 Beton in armatura

Recepture betona smo prilagodili posamezni vrsti elementov. Vsi betoni so vsebovali ce-ment Saloniť Anhovo z oznako 42,5 – osnov-ni, mešanice za posamezne elemente in dosežene tlačne trdnosti pa so bile:

- za beton v navpičnih vezeh: 1,4 kg cementa, 14 kg agregata frakcije 0–2 mm, 0,2 kg kamene moke Calplex 0,15 in 1,1 litra vode. Tlačna trdnost, določena na prizmah, je bila 7,8 MPa pri modelu M1, 9,0 MPa pri modelu M2 in 10,4 MPa pri modelu M3;
- za beton v belem stropu: na 4 kg agregata frakcije 0–2 mm smo dodali 1 kg cementa in 2 kg kamene moke Calplex 0,15 ter 1,25 litra vode in 0,02 litra plastifikatorja Zeta. Tlačna trdnost betona, določena na priz-mah, je bila 15,6 MPa;
- za beton v armiranobetonskih ploščah: volumensko razmerje med cementom in agregatom frakcije 0–2 mm je bilo 1 : 4, vodocementni faktor pa 0,45. Tlačna trd-nost betona, določena na prizmah, je bila 16,4 MPa pri modelu M2 in 27,4 MPa pri modelu M3.

Ker razpoložljivih materialov, ki bi ustrezali modeliranim lastnostim armaturnega jekla, ni na trgu, smo za armaturo zidnih vezi in stropov

Fizikalna veličina	Odvisnost
Dolžina (l)	$S_L = l_P / l_M$
Trdnost (f)	$S_f = f_P / f_M$
Deformacija (ϵ)	$S_\epsilon = \epsilon_P / \epsilon_M$
Sp. teža (γ)	$S_\gamma = \gamma_P / \gamma_M$
Pomik (d)	$S_d = S_L$
Sila (F)	$S_F = S_L^2 S_f$
Čas (t)	$S_t = S_L (S_\epsilon S_\gamma / S_f)^{0.5}$
Frekvenca (ω)	$S_\omega = 1 / S_t$
Hitrost (v)	$S_v = (S_\epsilon S_f / S_\gamma)^{0.5}$
Pospešek (a)	$S_a = S_f / (S_L S_\gamma)$

Preglednica 2 • Faktorji meril pri splošni modelni podobnosti

Gostota γ_M (kg/m ³)	γ_P / γ_M	$f_{b,M}$ (MPa)	$f_{b,P} / f_{b,M}$	$f_{c,M}$ (MPa)	$f_{c,P} / f_{c,M}$	$f_{td,M}$ (MPa)	$f_{td,P} / f_{td,M}$	$f_{ts,M}$ (MPa)	$f_{ts,P} / f_{ts,M}^*$
496	1,0	1,59	3,14	1,49	2,63	0,25	0,96	0,15	1,60

* Ker ni podatkov za prototipno zidovje, natezno trdnost, dobljeno s ciklično strižno preiskavo modelnih zidov, $f_{ts,M}$, primerjamo z natezno trdnostjo prototipnega zidovja, dobljeno z diagonalno tlačno preiskavo, $f_{td,P}$.

Preglednica 3 • Mehanske lastnosti modelnih materialov in primerjava s prototipnimi vrednostmi za porobeton trdnostnega razreda 4 (indeks M je za modelne vrednosti)

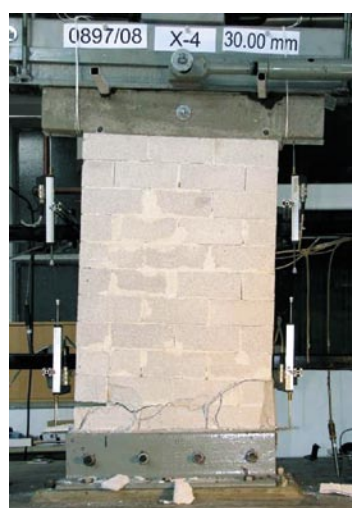
uporabili kar običajno armaturno jeklo, s tem da smo prerez palic zmanjšali z merilom sil, $S_F = 16$. Prerez armature navpičnih zidnih vezi modelov M1 in M2 smo tako pomanjšali na $1 \text{ } \varnothing 4,2 \text{ mm}$ (pri meji plastičnosti 220 MPa), prerez armature navpičnih vezi modela M3 na $1 \text{ } \varnothing 3,8 \text{ mm}$ (pri meji plastičnosti 480 MPa), armaturo vodoravnih vezi na $1 \text{ } \varnothing 3,5 \text{ mm}$ in armaturo v parapetu na $1 \text{ } \varnothing 1,1 \text{ mm}$ (pri meji plastičnosti 210 MPa).

2.2.3 Ciklične strižne preiskave modelnih zidov

Da bi raziskali vpliv navpičnih vezi na obnašanje zidov pri ciklični potresni obežbi, smo pri konstantni tlačni sili (predobremenitvi) s ciklično vodoravno obežbo v ravnini zidov preiskali 4 zidove, sezidane brez vezi, in 6 zidov z

Oznaka	komentar	porušitev	H_{max} (kN)	$H_{n,rač}$ (kN)	$H_{nconf,rač}$ (kN)	$H_{s,rač}$ (kN)
X-1	vezi kot M1	strižna	5,18	2,62	4,37	5,93
X-2	brez vezi	upogibna	3,19	2,62	–	5,93
X-3	brez vezi	upogibna	3,15	2,62	–	5,93
X-4	brez vezi	upogibna	3,26	2,62	–	5,93
X-5	brez vezi	upogibna	3,34	2,62	–	5,93
X-6	vezi kot M1	strižna	5,00	2,62	4,37	5,93
X-7	vezi kot M3	strižna	5,79	3,21	6,96	6,01
X-8	vezi kot M3	strižna	6,47	3,12	6,88	5,85
X-9	vezi kot M3	strižna	6,61	3,12	6,88	5,85
X-10	vezi kot M3	strižna	6,32	3,12	6,88	5,85

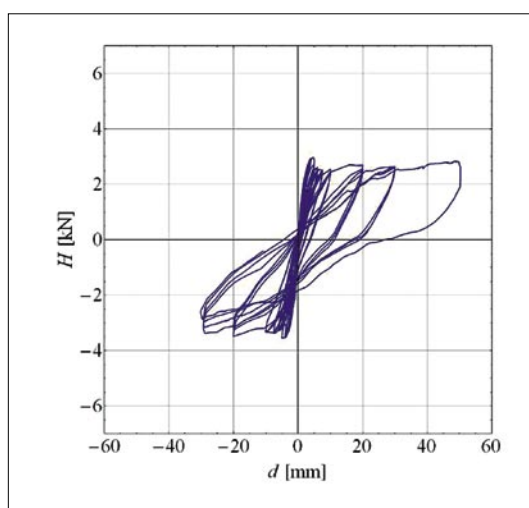
Preglednica 4 • Porušni mehanizmi in odpornost modelnih zidov



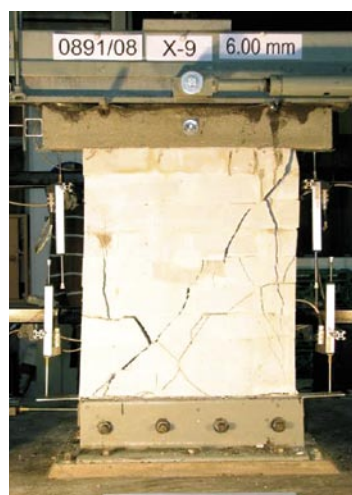
a)

Slika 2 • a) Upogibni porušni mehanizem

b): Histerezne zanke, dobljene s preiskavo modelnega zidu brez navpičnih vezi



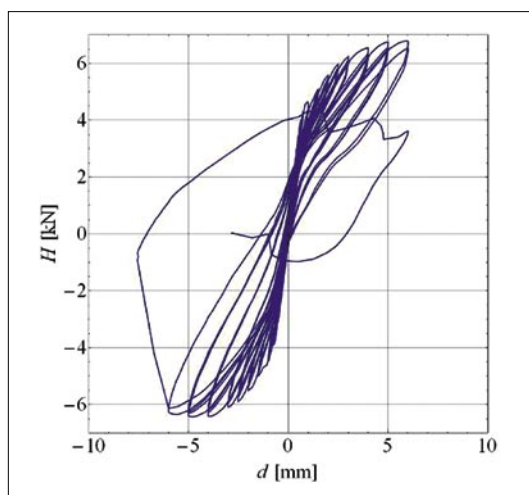
b)



a)

Slika 3 • a) Strižni porušni mehanizem

b): b) Histerezne zanke, dobljene s preiskavo modelnega zidu z navpičnimi vezmi



b)

navpičnimi vezmi ob robovih. Pri dveh zidovih so bile navpične vezi izdelane enako kot pri modelu M1, pri štirih pa kot pri modelu M3. Preiskave, ki smo jih izvedli pri konstantni predobremenitvi v velikosti 20 % tlačne trdnosti zidovja, so pokazale, da so se, v nasprotju s pričakovanjem, nepovezani zidovi porušili upogibno (slika 2), medtem ko je bila porušitev pri zidovih z navpičnimi vezmi strižna, z nastankom diagonalno usmerjenih razpok (slika 3). Izmerjene vrednosti porušne vodoravne sile (odpornost zidov, H_{max}) so obenem z opisom porušnega mehanizma podane v preglednici 4.

Pri dani geometriji zidov ter vpetostnih in obežbenih pogojih bi pri opečnem zidovju pričakovali strižno porušitev. Pri zidovih iz porobetona pa je majhna tlačna trdnost pri enakih pogojih razlog za nastanek upogibne porušitve. Kot kažejo rezultati, navedeni v preglednici 4, je upogibna odpornost zidov bistveno manjša od strižne, zaradi sukanja zgornjega dela zidu po porušni ravnini pa so pomiki zidu na vrhu bistveno večji kot pri strižni porušitvi (slika 2). Navpične zidne vezi toliko povečajo upogibno odpornost kritičnega prereza zidu, ki jo določa tlačna trdnost zidovja, da postane odločilna strižna porušitev, ki jo določa natezna trdnost zidovja. Ker betonski prerez in armatura navpičnih vezi ne vplivata toliko na povečanje strižne odpornosti kot na povečanje upogibne odpornosti, se zidovi z navpičnimi vezmi porušijo strižno, pri čemer nastanejo značilne diagonalne razpoke, ki prestrižejo tudi beton vezi (slika 3).

Tudi računska ocena ((Turnšek, 1971), (Tomaževič, 2009)) z upoštevanjem enačb za račun upogibne odpornosti navadnega zidu:

$$H_{fl,rač} = \frac{\sigma_o t l^2}{2} \left(1 - \frac{\sigma_o}{0,85 f_c} \right) / \alpha h, \quad (2)$$

oziroma povezanega zidu

$$H_{flconf,rač} = \left\{ \frac{\sigma_o t l^2}{2} \left(1 - \frac{\sigma_o}{0,85 f_c} \right) + A_v f_{y,z} \right\} / \alpha h, \quad (3)$$

ter strižne odpornosti navadnega zidu:

$$H_{s,rač} = A_w \frac{f_t}{b} \sqrt{\frac{\sigma_o}{f_t} + 1}, \quad (4)$$

kaže, da je tako (preglednica 4). V enačbah pomeni:

$H_{fl,rač}$ – računsko upogibno odpornost navadnega zidu,

$H_{flconf,rač}$ – računsko upogibno odpornost zidu z navpičnimi vezmi,

$H_{s,rač}$ – računsko strižno odpornost navadnega zidu,

l – dolžino, h – višino, in t – debelino zidu,

σ_o – povprečno tlačno napetost v vodoravnem prerezu zidu,

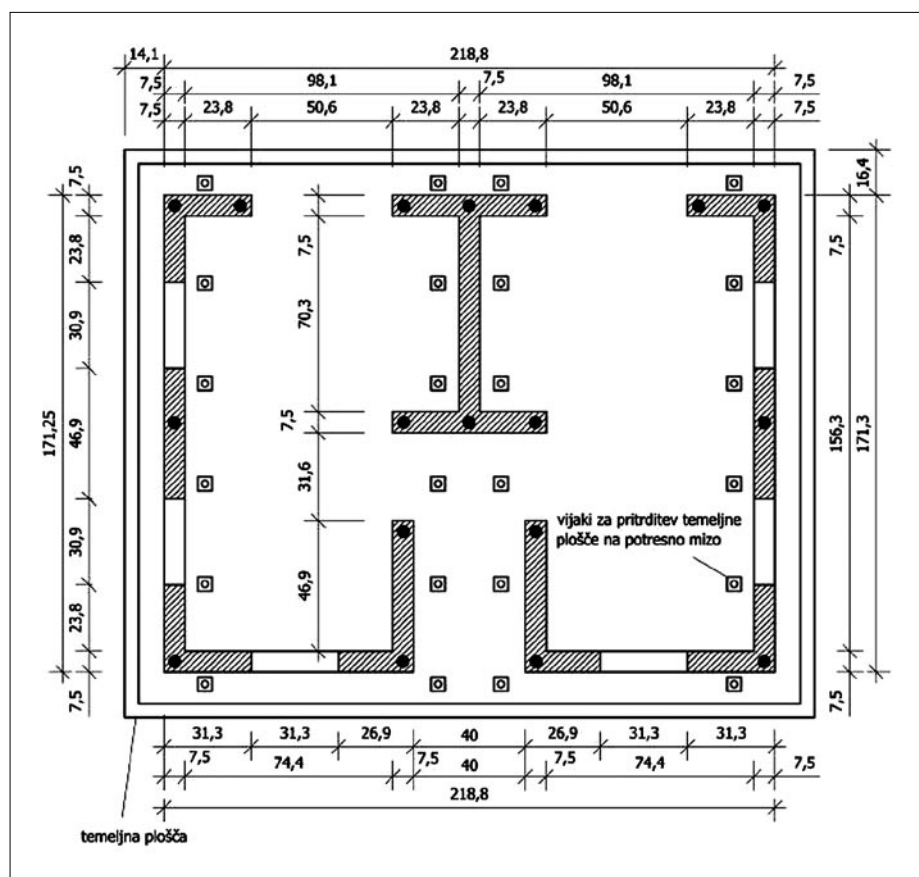
A_v – površino prereza armature zidne vezi,

A_w – površino prereza zidu,

f_y – mejo plastičnosti armature,

z – statična višina prereza,

α – koeficient, ki določa lego infleksijske točke.



Slika 4 • Tloris modelov in porazdelitev navpičnih zidnih vezi

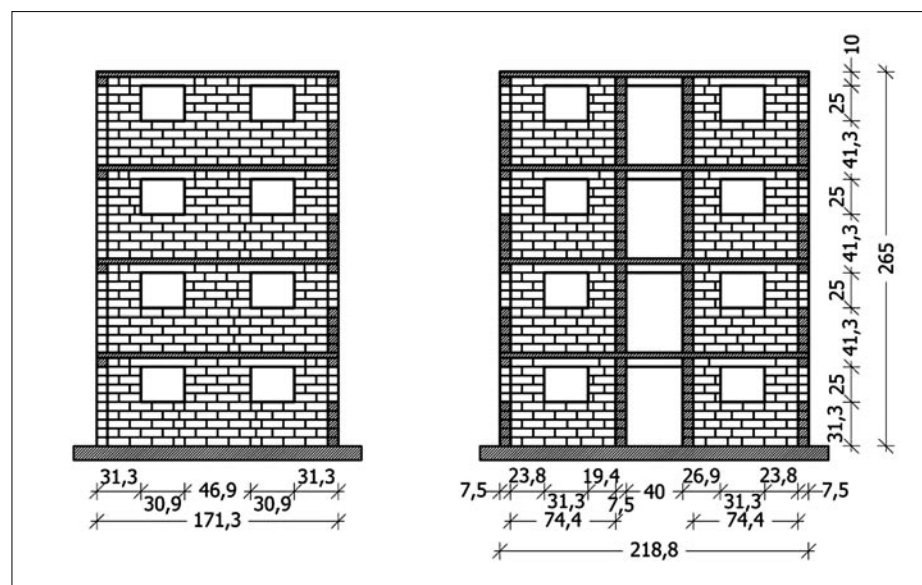
Preiskave modelnih zidov so torej pokazale, da zaradi razmerij med tlačno in natežno trdnostjo pri zidanih stavbah iz porobetona igrajo pri potresni obežbi ključno vlogo navpične vezi. Čeprav se po določilih evrokodov doprinos

navpičnih vezi k odpornosti zidov računsko ne sme upoštevati, preiskave kažejo, da ni tako. Navpične vezi ne prispevajo bistveno k strižni odpornosti zidov, vendar v primeru zidov iz porobetona z nizko tlačno trdnostjo toliko povečajo upogibno odpornost, da se spremeni porušni mehanizem.

2.2 Izdelava modelov in priprava na preiskavo

Tlorisne dimenzije vseh modelov so bile 1,71 x 2,19 m, etažna višina 0,675 m, ravno tako je bila enaka tudi debelina zidov (7,5 cm). Z upoštevanjem stropnih konstrukcij je bila višina modela M1 2,03 m, višina modela M2 1,99 m, višina modela M3 pa 2,65 m. Tloris modelov prikazuje slika 4, tipična prereza modela M3 in način polaganja zidakov slika 5, model M3 med gradnjo pa slika 6.

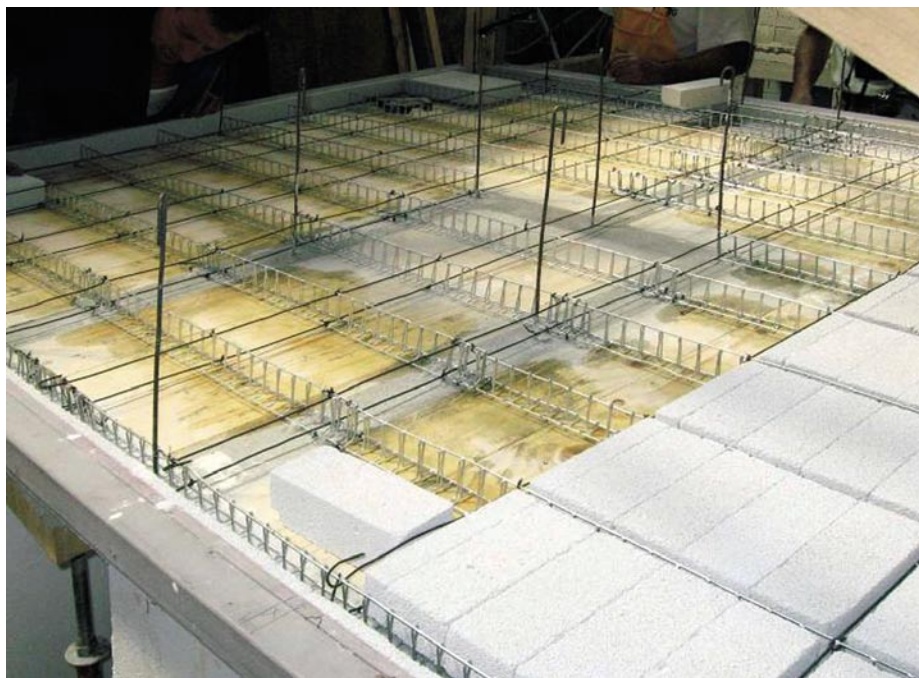
Stropne konstrukcije modela M1 so bile montažne, sestavljene iz navzdol obrnjenih armiranobetonskih nosilcev T, med katere so položena polnila iz porobetona (slika 7). Na vsaka štiri polnila je plošča povezana s prečnikom, ki ima pravokotni prerez in je nekoliko šibkeje armiran kot nosilci T. Nosilni elementi belega stropa niso povezani med se-



Slika 5 • Tipična prereza modela M3 in način polaganja zidakov



Slika 6 • Model M3 med gradnjo



Slika 7 • Beli strop: postavljanje porobetonskih polnil med armaturo nosilcev T

boj s tlačno ploščo, temveč samo premazani z 1–2 mm debelim, tankim slojem izravnalne mase iz zidnega lepila. Med gradnjo modela smo zaradi tehnoloških težav prerez nosilcev T nekoliko povečali, in ker smo jih betonirali na mestu, za zalivanje uporabili kakovostnejši beton, kot ga predpisuje modelno merilo. Močnejša, kot predpisuje modelno merilo, je bila zaradi težav pri vgradnji tudi armatura.

Vodoravne zidne vezi v belem stropu so položene v dveh višinah. Najprej se v zadnji šari etaže položijo nad notranje zidove, za kar se pri gradnji po sistemu Ytong uporabijo predhodno pripravljene elementi U. Nad obodnimi zidovi se vezi polagajo v prostor med polnili in zunanjim robom objekta v višini same stropne konstrukcije (slika 8).

Stropne konstrukcije v modelih M2 in M3 so armiranobetonske križem armirane plošče. Spodaj in zgoraj so armirane z armaturnimi mrežami, po obodu pa je rob plošče dodatno armiran s t. i. robnimi stremenji U. Modele so sezidali zidarji-inštruktorji podjetja Xella porobeton SI. Sezidani so bili na temeljnih ploščah z vgrajenimi elementi za prenos z laboratorijskim žerjavom in luknjami za vstavitev vijakov, s katerimi so bile temeljne plošče po prenosu modelov z mesta gradnje pritrjene na premično jekleno ploščad potresne mize.

Pred preiskavo na potresni mizi smo na stropne konstrukcije modelov pritrdili dodatno maso, s katero smo nadomestili razliko med lastno maso (težo) modelov in maso (težo)

kvazi stalne in koristne obtežbe. Pri tem smo upoštevali maso, ki se upošteva pri določanju potresnih sil po evrokodih (Evrokod 8, 2005):

$$W = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{E,i} Q_{k,i} \quad (5)$$

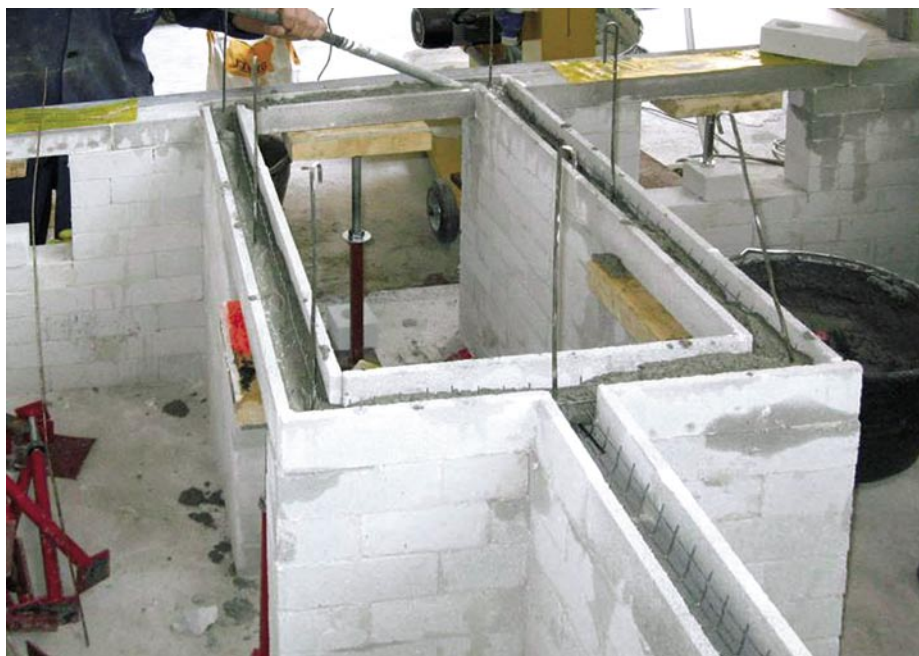
kjer je:

W – teža stavbe nad obravnavanim prerezom,

$\psi_{E,i}$ – koeficient za kombinacijo spremenljivega vpliva i ,

ϕ – faktor, odvisen od vrste spremenljivega vpliva in zasedenosti etaže.

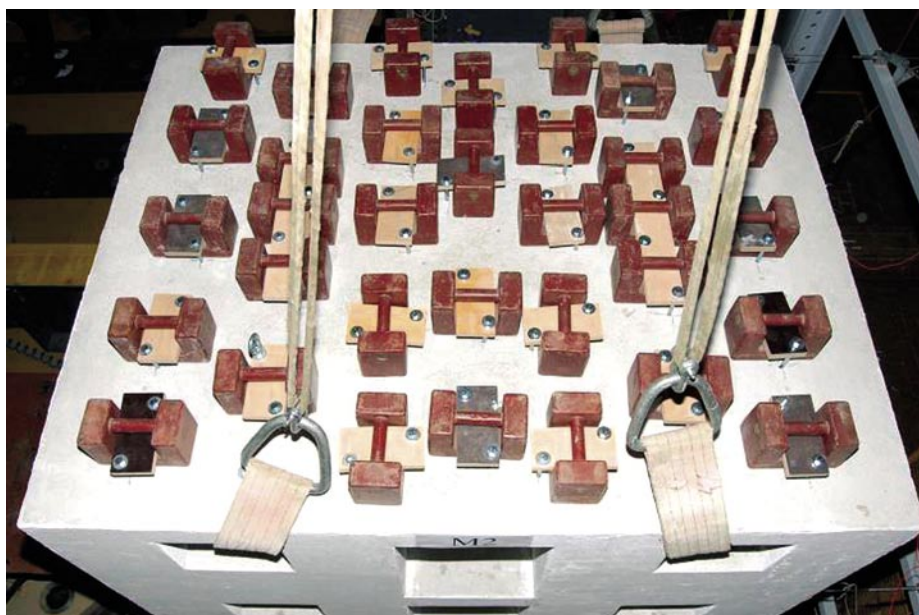
Na stropne konstrukcije modela M1, ki smo ga najprej preiskali, smo pritrdili po 210 kg, s tem da smo na zgornjo stropno konstrukcijo pritrdili 330 kg za ponazoritev mase strešne



Slika 8 • Beli strop: betoniranje vodoravnih zidnih vezi in preklad

konstrukcije. Dodatna masa je predstavljala izravnalni estrih in pod ($1,50 \text{ kN/m}^2$) ter delež koristne obtežbe ($p = 2,00 \text{ kN/m}^2$), ki se po določenih evrokodov upošteva v potresni situaciji ($\psi_{E,i} p = \varphi \psi_2 p = 0,5 \times 0,3 \times 2,00 = 0,30 \text{ kN/m}^2$). Na zgornji strop smo dodali maso, ki je predstavljala vpliv strešne konstrukcije ($1,25 \text{ kN/m}^2$).

Dejanska masa uteži na modelu M1 se je nekoliko razlikovala od mase, ki bi jo potrebovali na podlagi računske analize. Med preiskavo pa se je pokazalo, da modela M1 niti pri največji potresni obremenitvi, ki jo je zmožna simulirati potresna miza, ni bilo mogoče resneje poškodovati. Zato smo nanj pritrdili dodatno maso: namesto 210 kg smo na vsako stropno konstrukcijo pritrdili po 560 kg (na zgornji strop 680 kg). Model smo preimenovali v model M1a in preiskavo ponovili. Enako porazdelitev mas smo uporabili tudi med preiskavo modelov M2 in M3. Uteži, pritrjene na zgornjo ploščo modela M2, prikazuje slika 9. Z upoštevanjem projektnega stanja na prototipni konstrukciji in dejanskega stanja na modelih, pri katerih smo na stropne plošče pritrdili dodatno maso, smo ocenili razmerja med povprečnimi tlačnimi napetostmi in tlačnimi trdnostmi zidovja. Izračunana razmerja so med seboj primerjana v preglednici 5. Čeprav smo z dodatnimi masami spremenili dinamične lastnosti modelov, kar seveda vpliva na preslikavo rezultatov na prototip, se napetostno stanje v zidovih, ki pogojuje porušni mehanizem, bolj ujema s stanjem v prototipih.



Slika 9 • Dodatna masa, pritrjena na zgornjo ploščo modela M2

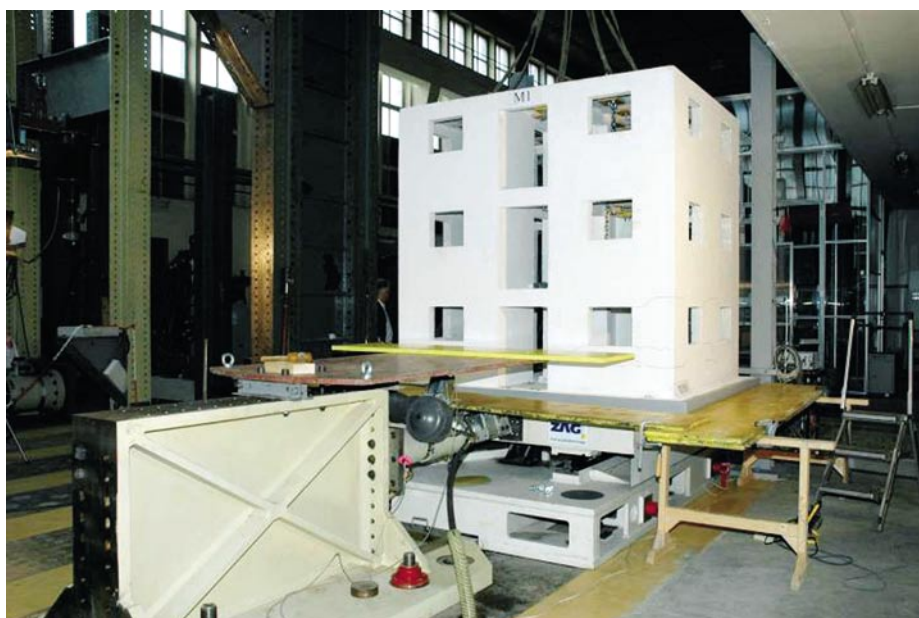
Model	σ_{op} (MPa)	$\sigma_{op} / f_{c,p}^*$	σ_{om} (MPa)	$\sigma_{om} / f_{c,m}^{**}$
M1a	0,093	0,030	0,044	0,030
M2	0,131	0,042	0,055	0,037
M3	0,174	0,076	0,073	0,049

* $f_{c,p} = 3,14 \text{ MPa}$, ** $f_{c,m} = 1,49 \text{ MPa}$ (trdnostni razred 4)

Preglednica 5 • Razmerja med povprečno tlačno napetostjo in tlačno trdnostjo zidovja v prototipnih stavbah in modelih (situacija med preiskavo)

2.3 Potresna obtežba in potek preiskave

Potresna miza na ZAG je preprosta naprava, ki jo sestavlja več delov. Podstavek oziroma temeljni del mize je jeklena škatlasta konstrukcija, ki se z vijaki pritrdi na laboratorijsko armiranobetonsko preizkuševalno ploščad. Na zgornji strani ima pritrjena vodila, po katerih drsi gibljivi del naprave, potresna miza, ravno tako jeklena škatlasta konstrukcija dimenzij 2,5/2,0 m. Vodila, po katerih drsi potresna miza, omogočajo natančno mehansko vodenje mize v vzdolžni smeri in ne dopuščajo nagibov in pomikov v drugih smereh. Da bi bilo trenje v vodilih čim manjše, so drsni ležaji teflonski. Potresno mizo premika programski, dvosmerno delujoči hidravlični bat Schenk PL 160N z zmogljivostjo $\pm 160 \text{ kN}$ pri hodu $\pm 125 \text{ mm}$, ki je na fiksni strani pritrjen na jekleno oporno steno, na gibljivi strani pa na mizo (slika 10). Dinamične zmogljivosti bata v kombinaciji z uporabljeno črpalko glede frekvenčnega območja in pospeškov ustrezajo



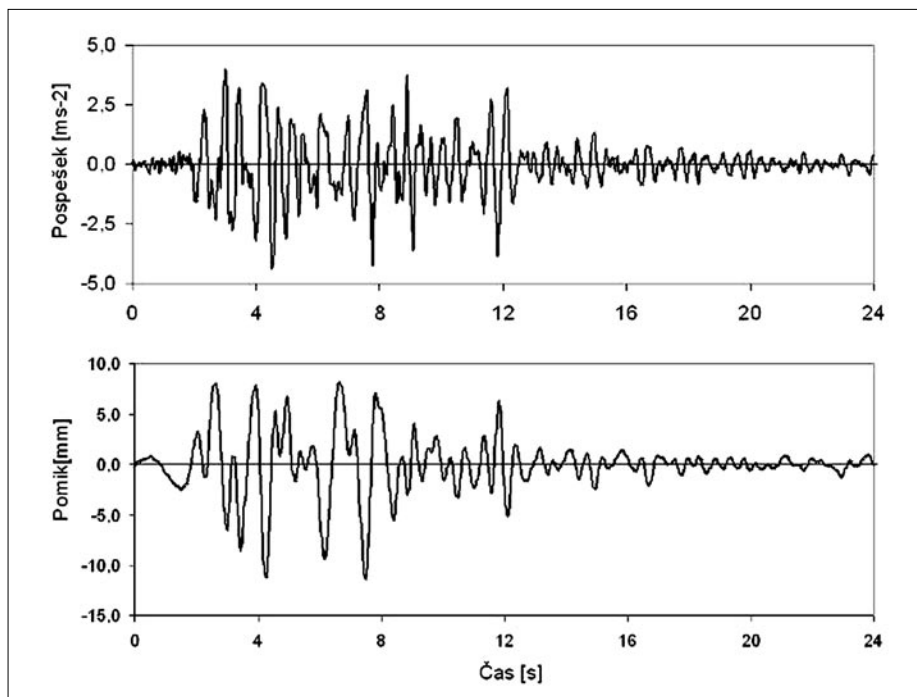
Slika 10 • Potresna miza z modelom M1, pripravljenim na preiskavo

zahtevam modelnih zakonov pri izbranem postopku modeliranja ter masi modela in potresne mize. Meritve, izvedene pri prejšnjih preiskavah, so pokazale, da je pomična miza dovolj toga, da prevzame tudi upogibne vplive, nastale zaradi interakcije med modelom in mizo med preiskavo.

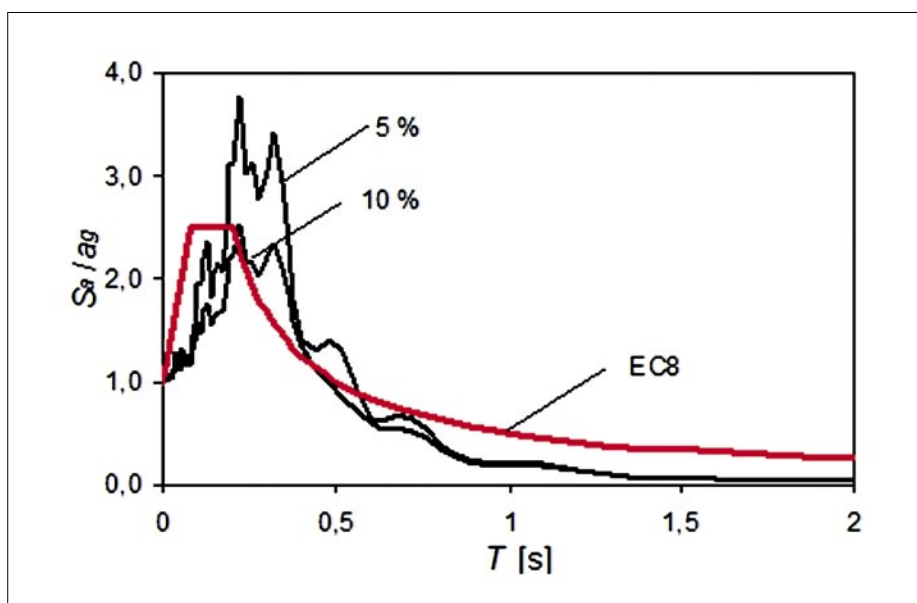
Za pogon potresne mize smo uporabili potresno gibanje tal, ki po obliki in amplitudah ustreza N-S-komponenti časovnega poteka pospeškov tal med potresom v Črni gori 15. aprila 1979, zabeleženi v hotelu Oliva v Petrovcu (slika 11). Ker pred preiskavo na potresni mizi še nismo imeli vseh podatkov o mehanskih lastnostih zidovja, s katerim smo sezidali modele, smo potresno vzbujanje za pogon potresne mize modelirali na podlagi podobnosti tlačne trdnosti prototipnih in modelnih zidakov, ki je kazala, da bomo preiskali popolne modele, sezidane z materialom, kateremu smo zmanjšali trdnosti v merilu dolžin (1 : 4). Z upoštevanjem te predpostavke smo v skladu s pravili modeliranja zmanjšali čas trajanja prototipnega potresa s faktorjem $S_r = S_L^{1/2} = 2$, medtem ko so pospeški ostali nespremenjeni. Spekter pospeškov tako modeliranega potresa se po obliki dobro približa v enakem merilu modeliranemu spektru odziva po evrokodu 8 (slika 12).

Vsak model smo preiskali z vzbujanjem v več zaporednih fazah, pri čemer smo intenziteto vzbujanja stopnjema povečevali, dokler nismo dosegli mejnega stanja porušitve. Oznake faz so pomenile delež, ki ga je dosegel maksimalni pospešek potresne mize v obravnavani fazi glede na maksimalni pospešek modelnega potresa. Tako je faza preiskave, ki je imela oznako R100, pomenila vzbujanje s potresom, ki bi v idealnih pogojih modeliranja (popolni model) odgovarjal prototipnemu potresu (100 %). Med preiskavo je bil model M1 pritrjen na potresno mizo tako, da je vzbujanje delovalo v smeri, v kateri je razporeditev zidov simetrična, modela M2 in M3 pa tako, da je bila smer vzbujanja pravokotna na os simetrije.

Pred preiskavo smo modele opremili z merilniki pospeškov in pomikov, ki smo jih v vsakem nadstropju namestili ob vogalih in na sredini stropnih konstrukcij. Medtem ko so bili akcelometri pritrjeni na stropne konstrukcije, so bili merilniki pomikov pritrjeni na zunanji jekleni okvir, tako da smo z njimi merili absolutne pomike modelov v višini stropov. Da bi lahko izvednotili medetažne pomike oziroma relativne pomike med temeljem in stropnimi konstrukcijami, smo med preiskavo merili tudi pomike potresne mize. Pospeške



Slika 11 • Močni del časovnega poteka N-S-komponente pospeškov in pomikov potresa 15. aprila 1979 v Črni gori (Petrovac)

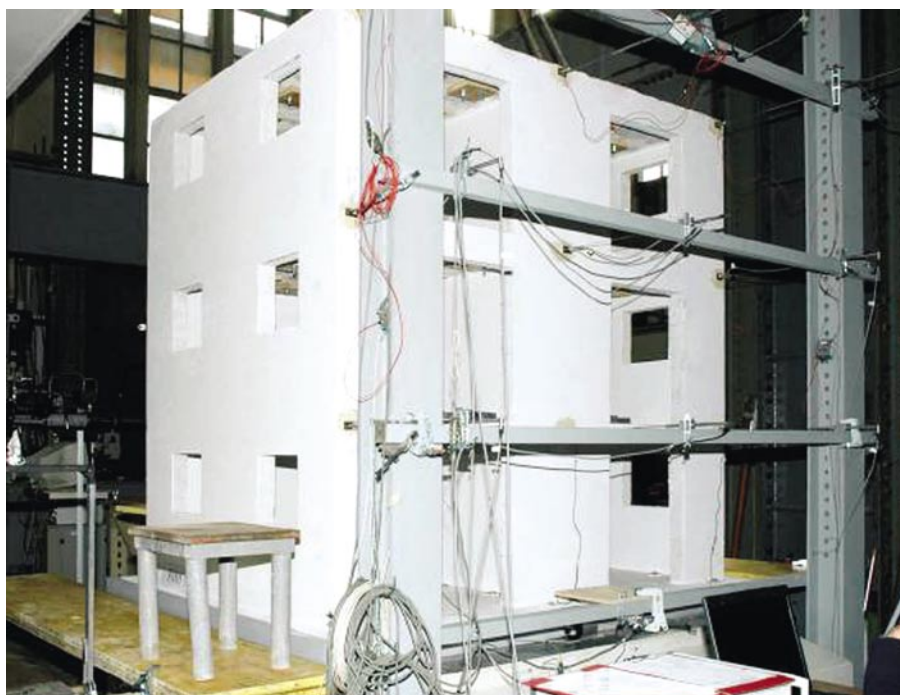


Slika 12 • Normalizirani spekter odziva pospeškov modelnega potresa v primerjavi z modeliranim elastičnim spektrom odziva po evrokodu 8

potresne mize smo merili za oceno intenzitete vzbujanja. Način pritrditve instrumentov je prikazan na sliki 13.

Z dvema videokameraama smo posneli odziv modela med vsakokratnim vzbujanjem, po vsaki končani fazi preiskave pa pregledali

stanje ter zabeležili in fotografirali nastale poškodbe. Na podlagi zapisa lastnih nihanj, ki smo jih vzbudili z udarcem s kladivom, smo analizirali spremembe osnovnih frekvenc nihanja po vsaki fazi preiskave.



a)



b)

Slika 13 • Postavitev modelov na potresno mizo in način pritrditve merilnih instrumentov
a) model M1; b) model M3

3 • REZULTATI PREISKAV IN ANALIZA

3.1 Porušni mehanizem in obnašanje med potresom

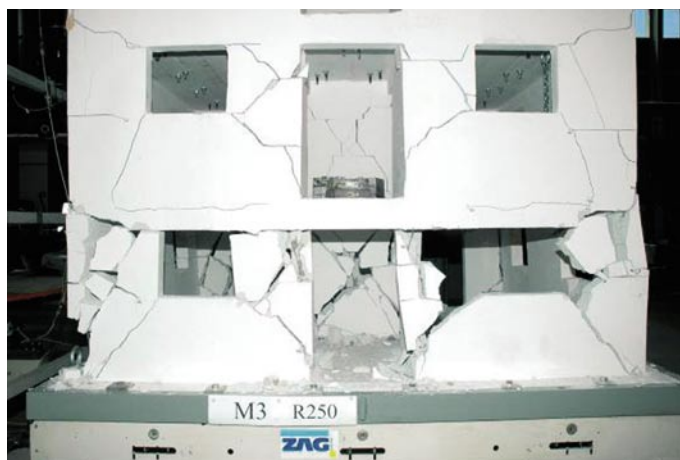
Kot je bilo pričakovati že na podlagi opažanj med ciklično preiskavo modelnih zidov, so se modeli porušili strižno. Omenili smo, da se model M1 z masami, ki naj bi odgovarjale

masam prototipa pri popolnem modeliranju, pri čemer pa natezna trdnost zidovja ni bila ustrezno zmanjšana, med preiskavo ni bistveno poškodoval. Čeprav je med preiskavo potresna miza dosegla svojo zmogljivost in so pospeški precej presegli vrednosti, ki bi pri

popolnem modeliranju odgovarjale privzetemu potresu, presegli pa so tudi vrednosti projektnega potresa. Strižna odpornost modelnega zidovja je bila prevelika. S povečano maso, ki je omogočila nastanek večjih potresnih sil pri enaki intenziteti vzbujanja, pa so v zidovih v smeri vzbujanja nastale značilne, diagonalno usmerjene strižne razpoke, kar je v zadnjih fazah preiskave privedlo do nastanka značilnega etažnega porušnega mehanizma.



a)



b)

Slika 14 • Tipične poškodbe zidov modelov pri mejnem stanju porušitve
a) model M2; b) model M3; parapeti niso poškodovani



a)



b)

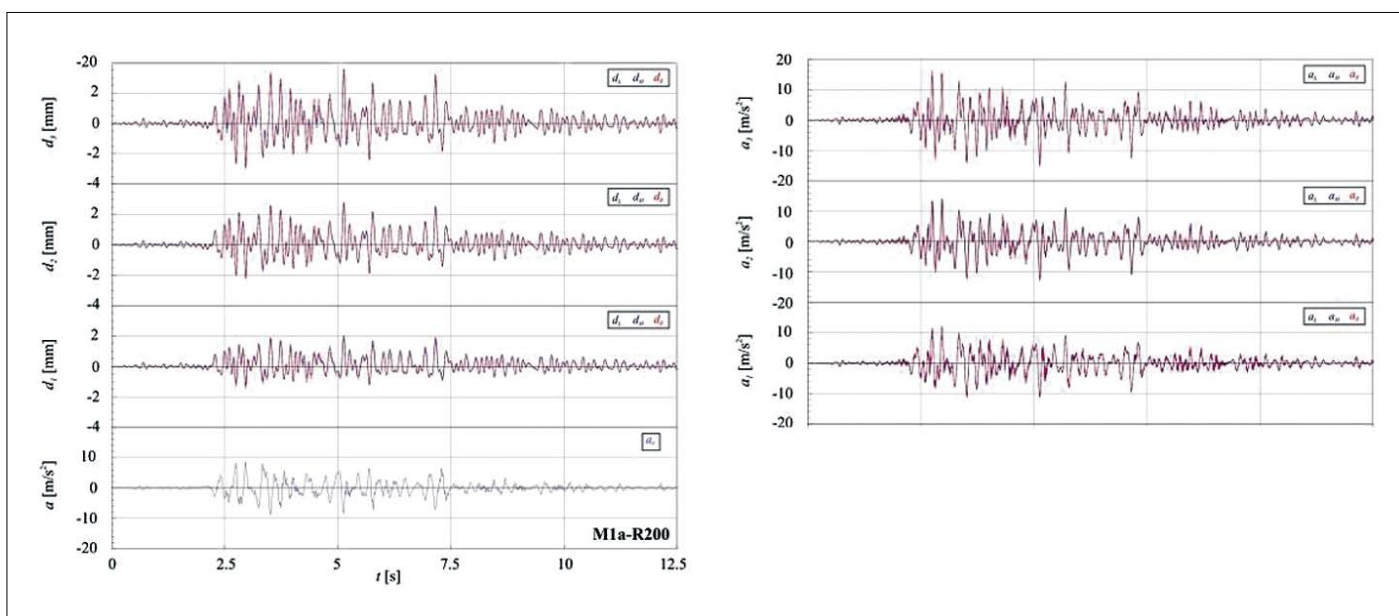
Slika 15 • Navpične zidne vezi so ohranile celovitost konstrukcije kljub hudim poškodbam zidov modela M1a
a) vez ob vratni odprtini; b) vogalna zidna vez

Stropne konstrukcije modela M1 oziroma M1a (model z dodano maso) so bile montažne. Kljub temu da njihovi detajli ne izpolnjujejo v celoti priporočil oziroma zahtev tehnične regulative za montažne stropne konstrukcije na potresnih območjih, so stropi zagotovili monolitnost in so delovali kot toge vodoravne diafragme tudi med najmočnejšim potresom. Na stropnih konstrukcijah nismo opazili nobenih poškodb.

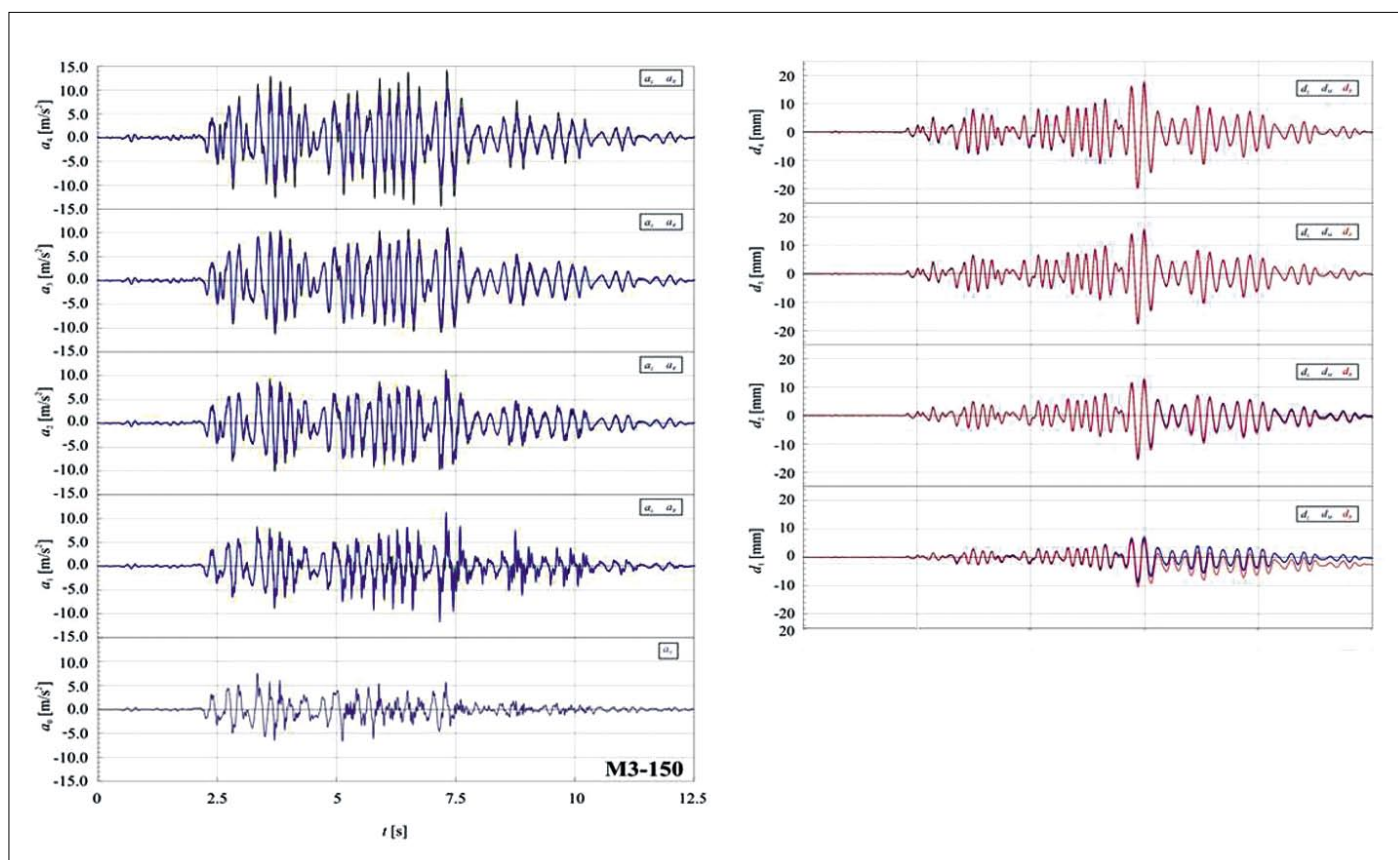
Na modelih M2 in M3, ki sta bila preiskana z vzbujanjem v smeri, pravokotni na os simetrije, ni bilo opaziti znakov torzijskega nihanja. Mehanizem porušitve je bil podoben kot pri modelu M1a: nastale so strižne razpoke v zidovih v smeri vzbujanja, iz česar se je v končni fazi razvil etažni porušni mehanizem, pri katerem so poškodbe skoncentrirane v pritličju.

V vseh, predvsem pa v nelinearnih fazah preiskave je bila dobro razvidna tudi vloga navpičnih zidnih

vezi. Čeprav niso bile v celoti izvedene v skladu z zahtevami evrokodov (okrogli prerez namesto pravokotnega, manjši prerez betona od zahtevanega, manjša količina armature), se je plastificiralo oziroma pretrgalo le manjše število armaturnih palic, vezi pa so zagotovile celovitost obnašanja konstrukcije modelov. Da so navpične vezi učinkovito sodelovale pri prevzemu potresne obtežbe in za-



Slika 16 • Časovni potek odziva pomikov in pospeškov modela M1a med fazo preiskave R200



Slika 17 • Časovni potek odziva pospeškov in pomikov modela M3 pri doseženi maksimalni odpornosti

gotovile povečano sposobnost sipanja energije v nelinearnem področju nihanja, kažejo tudi poškodbe zidov, ki so nastale v višjih nadstropjih. Tipične poškodbe v zidovih pri mejnem stanju porušitve so prikazane na slikah 14 in 15.

3.1 Odziv na potres in potresna odpornost

Tipični časovni potek odziva pospeškov in pomikov modelov v linearnem in nelinearnem področju nihanja je prikazan na slikah 16 in 17. Kot je pokazala analiza, so vsi modeli zanimali kot strižni sistemi z močno prevladujočim prvim tonom lastnega nihanja. Doprinos višjih tonov, tudi torzijskih, je minimalen.

Spremembe prve frekvence lastnega nihanja modelov po posameznih fazah preiskave na potresni mizi so podane v preglednici 6.

Po pričakovanju je zaradi večje mase lastna frekvenca nihanja modela M1a manjša od frekvence nihanja modela M1. Praktično nobene razlike nismo izmerili med začetnimi frekvencami lastnega nihanja modelov M1a in M2, čeprav sta bila vzbujena v različnih smereh: medtem ko je model M1a nihal v bolj togi, je model M2 nihal v manj togi smeri. To je posledica dejstva, da je bil model M1a

predhodno že poškodovan (med preiskavo z oznako M1), nastale razpoke pa so zmanjšale togost, ki bi jo imel, če zidovje ne bi bilo poškodovano. Predhodno nastale razpoke so vplivale tudi na hitrost upadanja togosti med vzbujanjem s povečano intenziteto gibanja. Model M3 ima etažo več, zato so nižje začetne frekvence nihanja v primerjavi z lastno frekvenco nihanja modela M2 pričakovane.

Frekvenca nihanja modela M1 se je med preizkušanjem le malo spreminjala, kar je posledica elastičnega odziva konstrukcije, ki se ves čas preiskave praktično ni poškodovala. Tudi spremembe lastne frekvence nihanja modela M1a kažejo, da so ključne poškodbe nastale šele v najmočnejših fazah vzbujanja. Izrazit padec vrednosti frekvence prvega tona nihanja pri

Po fazi	Frekvenca nihanja (s ⁻¹)			
	M1	M1a	M2	M3
R005	–	–	14,5	10,9
R025	21,3	14,1	14,1	10,1
R050	21,3	13,1	13,7	9,9
R100	20,8	10,6	13,7	9,8
R150	–	9,9	–	6,8
R200	19,9	9,9	11,1	–
R300	19,9	–	–	–

Preglednica 6 • Lastne frekvence prvega tona nihanja modelov po posameznih fazah preiskave na potresni mizi

modelu M3 po fazi R150 se ujema z nastankom poškodb.

Največje strižne sile v modelu, nastale med nihanjem med preiskavo na potresni mizi, lahko ocenimo na podlagi poznanih mas, skoncentriranih v višini stropnih konstrukcij, in izmerjenih pospeškov v posameznih etažah:

$$\sum_{i=1}^{st.etaž} m_i a_i + BS = 0, \quad (6)$$

kjer so:

m_i – mase posameznih etaž,

a_i – pospeški posameznih etaž,

BS – strižna sila ob temelju (angleško: base shear). Indeks i označuje etažo modela.

Največjo strižno silo določimo kot maksimum vsote:

$$BS_{max} = \max\left(\sum_{i=1}^{st.etaž} m_i a_i\right). \quad (7)$$

Koeficient strižne (prečne) sile v pritličju BSC (angleško: base shear coefficient) je veličina, ki strižno (prečno) silo v pritličju predstavi v brezdimenzijski obliki. Izračuna se kot razmerje med strižno silo v pritličju, BS , in težo stavbe, W . Maksimalna vrednost je podana z izrazom:

$$BSC_{max} = BS_{max}/W. \quad (8)$$

Maksimalne izmerjene prečne sile v pritličju in teže posameznih modelov so zbrane v preglednici 7. Vidimo, da so v vseh modelih ne glede na smer vzbujanja in etažnost nastale praktično enake največje strižne sile v pritličju, kar pomeni, da je bila dejanska odpornost zidov manj odvisna od tlačnih napetosti v zidovju, kot bi pričakovali. Če pa odpornost izrazimo v brezdimenzijski obliki s koeficientom prečne sile v pritličju, BSC , so razlike po pričakovanih občutne.

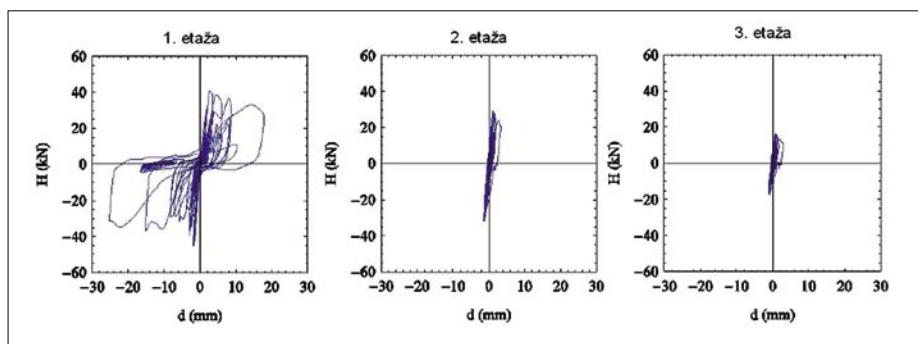
Na podlagi časovnega poteka pomikov in pospeškov ter poznanih mas, skoncentriranih v višini stropnih konstrukcij, lahko v vsaki etaži analiziramo tudi odvisnosti med strižnimi silami in pomiki. Tipične histerezne zanke odvisnosti »prečna sila-relativni etažni pomik« so prikazane na slikah 18 in 19.

3.1 Kapaciteta deformacij in mejna stanja

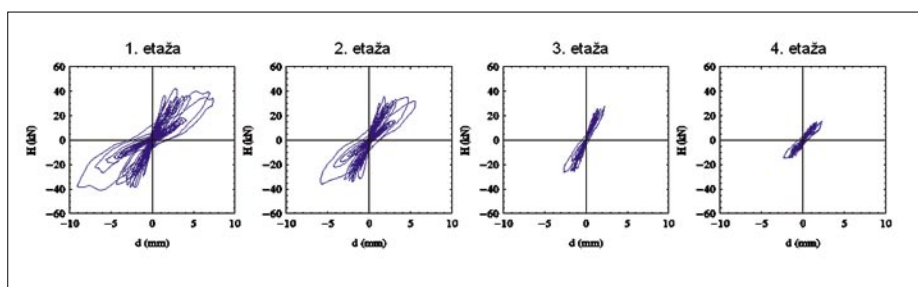
Pri mehanizmu obnašanja, s katerim so se na potresno vzbujanje odzvali preiskani modeli, tj. etažnem mehanizmu, sta ključna parametra, ki določata potresno odpornost,

Model	a_{max} (g)	BS_{max} (kN)	W (kN)	BSC_{max}
M1	2,19	43,71	17,16	2,55
M1a	1,37	45,02	27,46	1,64
M2	1,28	45,94	33,82	1,36
M3	0,77	41,89	45,01	0,93

Preglednica 7 • Maksimalna prečna sila v pritličju in koeficient prečne sile v pritličju



Slika 18 • Histerezne zanke odvisnosti med prečno silo v pritličju in relativnim etažnim pomikom, izmerjene med preiskavo modela M1a v fazi R250



Slika 19 • Histerezne zanke odvisnosti med prečno silo v pritličju in relativnim etažnim pomikom, izmerjene med preiskavo modela M3 v fazi R150

strižna sila in relativni etažni pomik v pritličju. Odvisnost med njima predstavlja krivuljo odpornosti, ki jo dobimo tako, da za vsako fazo preiskave posameznega modela izračunamo maksimalno prečno silo in njej pripadajoči relativni etažni pomik in dobljene točke povežemo. Za lažjo primerjavo krivuljo odpornosti predstavimo v brezdimenzijski obliki kot odvisnost med koeficientom prečne sile v pritličju, BSC , in razmerjem med relativnim etažnim pomikom in etažno višino, etažnim zasukom, Φ (angleško: interstory drift angle):

$$\Phi = (d_i/h_i) 100, \quad (9)$$

kjer je d_i relativni etažni pomik pritličja in h_i višina pritličja. Etažni zasuk navadno izrazimo v odstotkih etažne višine.

Krivulje odpornosti, ki smo jih izvednotili na podlagi rezultatov preiskav modelov, so prikazane na sliki 20. Z njimi lahko analiziramo obnašanje posameznih modelov in ocenimo njihovo kapaciteto deformiranja, duktilnosti in sipanja energije. Postopek po navadi poenostavimo tako, da eksperimentalno izmerjene krivulje idealiziramo z bilinearnimi, idealno elastičnimi – idealno plastičnimi ovojnici, ki jih dobimo z upoštevanjem pogoja enakosti energij, to je enakosti površin pod krivuljo in idealizirano bilinearno ovojnico.

Slika 20, kjer je skupaj z modeli M1a, M2 in M3, ki so bili preiskani pod enakimi pogoji (z enako maso na stropnih konstrukcijah), prikazana tudi odvisnost za model M1, ki je bil preiskan z bistveno manjšo maso, je lahko zavajajoča. Ker so veličine podane v brezdimenzijski obliki, bi lahko namreč skle-

pali, da je bila potresna odpornost modela M1 med vsemi daleč največja. Edino, kar lahko zanesljivo rečemo, je, da se je model M1 ves čas preiskave obnašal bolj ali manj elastično. Slika je hkrati tudi opozorilo, da je treba pri preslikavi rezultatov modelnih preiskav na prototip upoštevati vsa morebitna neskladja pri modeliranju, sicer je sklepanje lahko napačno.

Če analiziramo odvisnosti, prikazane na sliki 20, lahko ugotovimo, da so sicer neznatne poškodbe, ki so na modelu M1 nastale med zadnjo fazo preiskave, zmanjšale njegovo togost: ko smo nadaljevali preiskavo istega modela, sicer z oznako M1a, je bil naklon ovojnice že na začetku preiskave manjši. Poškodbe so nakazovale kombinacijo mehanizmov nosilnosti (strižno, prestrižno in upogibno), vendar se stanje poškodb in njihov vpliv na togost praktično nista spremenila vse do faze preiskave, v kateri je model dosegel največjo odpornost. Pri stanju največje odpornosti so v zidovih modela tudi zelo resne poškodbe. Samo navpične vezi so pripomogle, da se model ni porušil in je vzdržal še dodatno vzbujanje s povečano intenziteto gibanja tal. Ovojnice modelov M2 in M3 kažeta na razmeroma veliko kapaciteto pomikov in duktilnosti. Večja duktilnost je lahko vsaj pri modelu M3 posledica močnejših zidnih vezi, ki se med preiskavo niso pretrgale. Po doseženem mejnem stanju poškodovanosti sta modela že takoj v nadaljevanju preiskave dosegla največjo odpornost, zatem pa se je odpornost zmanjševala z jakostjo vzbujanja, medtem ko se je obseg poškodb povečeval.

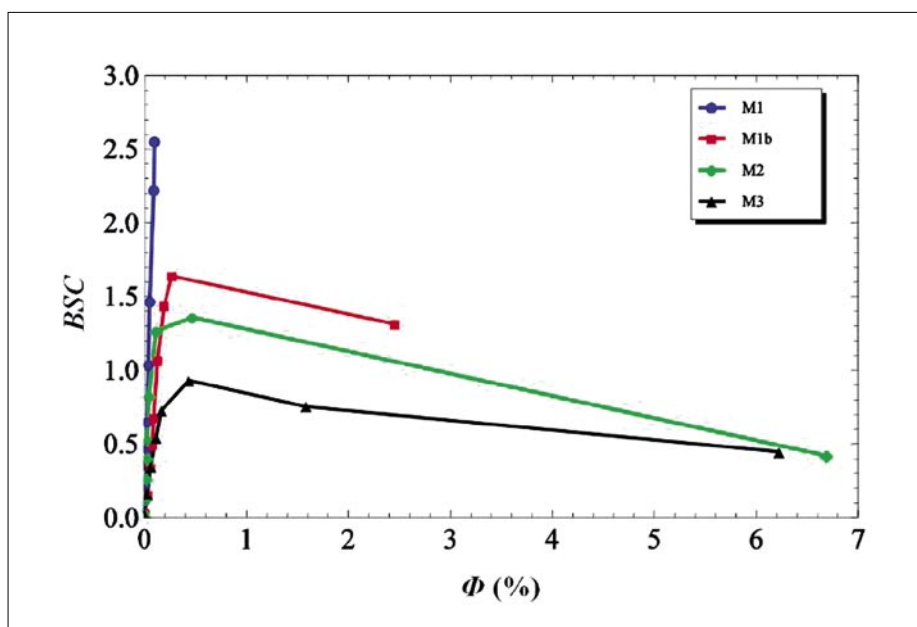
Na ovojnicah odpornosti lahko podobno kot pri zidovih definiramo tri karakteristična mejna stanja:

- mejno stanje nastanka poškodb, ki predstavlja stanje, ko v nosilni konstrukciji nastanejo vidne poškodbe in v odzivu opazna sprememba (padec) togosti;
- mejno stanje maksimalne odpornosti, pri katerem strižna sila, ki med potresom nastane v konstrukciji, zavzame največjo vrednost;
- mejno stanje porušitve, pri katerem se konstrukcija delno ali pa v celoti poruši.

Koeficienti prečne sile v pritličju oziroma potresne odpornosti konstrukcije modelov in zasuki spodnje etaže pri mejnih stanjih so prikazani v preglednici 8.

3.2 Faktor obnašanja q

Potresno odpornost pravilno zasnovane konstrukcije lahko v primeru, da ima sposobnost deformiranja in sipanja energije, preverja-



Slika 20 • Ovojnice odpornosti, dobljene s preiskavo modelov

Mejno stanje	M1		M1a		M2		M3	
	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)
nastanek poškodb	2,55	0,10	1,54	0,23	1,29	0,36	0,83	0,30
maksimalna odpornost	–	–	1,64	0,28	1,36	0,49	0,93	0,43
porušitev	–	–	1,31	2,55	0,42	6,69	0,45	6,22

Preglednica 8 • Koeficient prečne sile v pritličju in zasuk spodnje etaže pri mejnih stanjih

mo po metodah elastične analize. Zaradi sposobnosti, da lahko prenašajo obtežbo kljub poškodbam v nelinearnem področju, pravila potresno odpornega projektiranja po evrokodih dopuščajo, da konstrukcije dimenzioniramo na sile, ki so manjše kot sile, ki bi nastale pri elastičnem odzivu. Sile, ki bi nastale pri elastičnem odzivu, zmanjšamo s faktorjem q , ki ga imenujemo faktor obnašanja konstrukcije. Faktor q pomeni približek razmerja med potresnimi silami, ki bi delovale na konstrukcijo s 5-odstotnim dušenjem, če bi bil njen odziv popolnoma elastičen, in najmanjšo potresno silo, ki jo lahko upoštevamo pri projektiranju s konvencionalnimi elastičnimi modeli. To velja pri pogoju, da konstrukciji še lahko zagotovimo zadovoljiv odziv na potres oziroma izpolnimo zahtevo, da se konstrukcija med potresom ne poruši, in zahtevo za omejen obseg

poškodb. Po definiciji, ki predpostavlja, da so maksimalni pomiki elastične in enake neelastične konstrukcije pri enakem potresnem vzbujanju enaki, se faktor obnašanja izvednosti kot:

$$q = H_e / H_{du}, \quad (10)$$

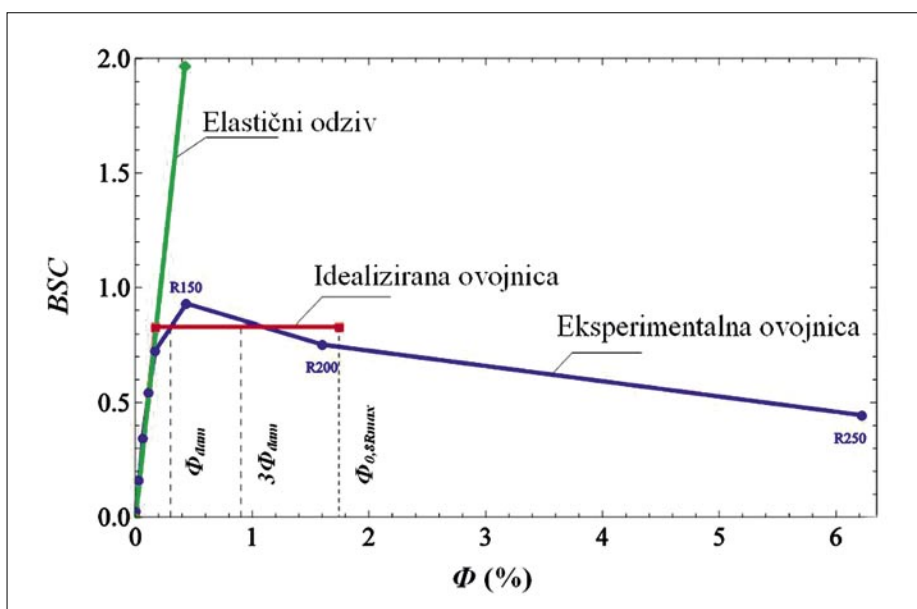
kjer H_e predstavlja elastično potresno silo pri projektnem potresu, H_{du} pa projektno silo, na katero projektiramo konstrukcijo. Če imamo na razpolago eksperimentalne podatke v obliki krivulje odpornosti, je realnejša ocena vrednosti faktorja obnašanja q , ki temelji na energetskem kriteriju enakosti energij pri elastičnem in neelastičnem odzivu. V tem primeru lahko izraz za faktor q zapišemo tudi kot funkcijo duktilnosti konstrukcije:

$$q = (2\mu_u - 1)^{1/2}, \quad (11)$$

kjer je faktor duktilnosti μ_u definiran kot razmerje med pomikom oziroma zasukom pri projektnem mejnem stanju porušitve in pomikom na meji elastičnosti ($\mu_u = d_u/d_e = \Phi_u/\Phi_e$). Način vrednotenja faktorja q na podlagi duktilnosti konstrukcije je prikazan na sliki 21, oba načina izrednotene vrednosti pa so podane v preglednici 9. Vrednosti, ki so bile izračunane po enačbi (10), so bile izrednotene na dva načina. Pri prvem načinu je bila upoštevana dejansko izmerjena maksimalna odpornost modelov, pri drugem pa vrednosti, ki so bile dobljene z bilinearno idealizacijo eksperimentalno dobljene krivulje odpornosti. Računsko vrednost odpornosti pri elastičnem odzivu (BSC_e) smo izračunali z elastičnim odzivom modela z začetnimi etažnimi s togostmi na vzbujanje v fazi preiskave, v kateri je model dosegel maksimalno odpornost.

Kot je videti na sliki 21, pri vrednotenju faktorja obnašanja q na podlagi duktilnosti konstrukcije ne upoštevamo celotne razpoložljive vrednosti. Razpoložljivo duktilnost oziroma kapaciteto deformacij določimo z upoštevanjem dveh pogojev. Prvi pogoj predstavlja upoštevanje mejnega stanja porušitve. Po definiciji, ki jo je povzel tudi evrokod 8, se projektno končno mejno stanje definira s točko, pri kateri odpornost konstrukcije pade na 80 % največje vrednosti. Drugi pogoj je definiran s sprejemljivo mejo poškodb. Izkaže se, da poškodbe 3. stopnje, ki pri zidanih konstrukcijah predstavljajo še sprejemljivo mejo (hude poškodbe), navadno nastanejo pri pomiku (zasuku), ki je približno enak 3-kratni vrednosti etažnega pomika (zasuka) pri nastanku prvih poškodb (Tomaževič, 2007). Etažni pomik (zasuk) pri projektnem končnem mejnem stanju je torej manjša vrednost izmed:

Model	$q = BSC_e/BSC_{max}$ (eskp. ovojnica)	$q = BSC_e/BSC_u$ (ideal. ovojnica)	$q = (2\mu_u - 1)^{1/2}$
M1a	1,87	2,05	2,23
M2	1,17	1,30	4,69
M3	2,12	2,37	3,08

Preglednica 9 • Izrednotene vrednosti faktorja obnašanja konstrukcije q Slika 21 • Vrednotenje faktorja obnašanja q za model M3

$$\Phi_u = \min \{ \Phi_{0,8Rmax}; 3\Phi_{dam} \}, \quad (12)$$

kjer je:

Φ_u – etažni zasuk pri projektnem končnem mejnem stanju,

$\Phi_{0,8Rmax}$ – etažni zasuk, pri katerem potresna odpornost pade na 80 % največje vrednosti,

Φ_{dam} – etažni zasuk na meji nastanka poškodb.

4 • PRESLIKAVA REZULTATOV NA PROTOTIP

Pri preslikavi rezultatov modelnih preiskav na prototip se zaradi težav pri izdelavi popolnega modelnega materiala in dodanih mas ne bomo spuščali v to, kakšen bi bil dinamični odziv prototipnih stavb na konkretni potres, pač pa se bomo omejili samo na preslikavo potresne odpornosti. Potresno odpornost predstavlja t. i. krivulja odpornosti, odvisnost med odpornostjo kritične etaže in etažnim zasukom, ki jo lahko dobimo na različne načine. Najbolj preprosto jo dobimo z monotono statično preiskavo, pri kateri se konstrukciji, ki je obremenjena s konstantno

navpično obtežbo, vsiljuje vodoravne pomike. Krivulja odpornosti, dobljena s preiskavo na potresni mizi, je realnejša, saj je določena z upoštevanjem dinamičnega in cikličnega značaja potresne obtežbe. Ciklično delujoča obtežba vpliva na nastanek poškodb in upadanje togosti in nosilnosti pri ponavljanju obtežbe, česar pri monotoni preiskavi ne moremo ugotoviti. Pri tem izbira oblike konkretne potresne obtežbe ni toliko pomembna. Pomembnejše so njene dinamične, ciklične lastnosti, tj., da se v času spreminja podobno, kot se konstrukcija odziva na potresno

gibanje tal. Zato je dovolj, da ima časovni potek pospeškov in pomikov, s katerim vzbujamo model, osnovne značilnosti potresnega gibanja tal.

Čeprav smo razmeroma dobro modelirali tlačno trdnost porobetonskih zidakov, nam primerjava vrednosti drugih mehanskih lastnosti kaže, da pri preslikavi rezultatov modelnih preiskav na prototip ne moremo upoštevati odvisnosti, ki veljajo pri popolni modelni podobnosti. Korekcija je potrebna tudi zaradi tega, ker smo popolno modelno podobnost pokvarili z dodatno maso.

Način korekcije zaradi razmerja med mehanskimi lastnostmi modelnega in prototipnega zidovja ni enolično določljiv, saj smo zahtevano razmerje pri tlačni trdnosti raz-

meroma dobro ujeli, vendar je enaka kot pri prototipnem zidovju ostala natezna trdnost, določena z diagonalno tlačno preiskavo. Ker pri strižnem porušnem mehanizmu natezna trdnost zidovja določa odpornost zidov, moramo rezultate modelnih preiskav na prototip preslikati tako, kot da smo preiskali modele, sezidane iz prototipnega materiala. Upoštevamo merilo trdnosti, $S_r = 1,0$, kar v skladu s splošnimi odvisnostmi po preglednici 2 pomeni, da merilo pospeškov ni enako $S_o = 1$, pač pa $S_o = S_r/S_L = 1/4$. Torej moramo zaradi uporabe prototipnega materiala na modelih izmerjene pospeške pri preslikavi na prototip zmanjšati z merilom dolžin, $S_L = 4$, kar pomeni, da moramo z merilom dolžin zmanjšati tudi izmerjene potresne prečne sile. Velikosti zasukov ostanejo enake, ker so brezdimenzijske veličine. Z upoštevanjem neskladja pri modeliranju natezne trdnosti zidovja so korigirane vrednosti koeficienta potresne odpornosti in zasuka spodnje etaže pri karakterističnih mejnih stanjih navedene v preglednici 10.

Drugo fazo preslikave predstavlja ocena vpliva neskladja zaradi povečane mase, ki smo jo po preiskavi modela M1 dodatno pritrčili na stropne konstrukcije modelov z namenom, da zaradi dosežene zmogljivosti potresne mize z maso na modelih povečamo potresne sile in s tem dosežemo nastanek porušnih mehanizmov. Velikost mase vpliva na naslednje parametre:

- ↳ na dinamični odziv preiskanih modelov,
- ↳ na razmerje med delovno napetostjo in tlačno trdnostjo zidovja,
- ↳ na velikost potresnih sil in s tem povezano na
- ↳ koeficient strižne odpornosti.

Ker preslikujemo samo krivuljo potresne odpornosti, se v ugotavljanje, kako bi se prototip preiskanih modelov obnašal prav pri potresu, ki smo ga uporabili kot podlago za krmiljenje gibanja potresne mize, ne bomo spuščali. Čeprav je dodatna masa spremenila razmerje med delovno napetostjo in tlačno

Mejno stanje	M1		M1a		M2		M3	
	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)
nastanek poškodb	0,64	0,10	0,39	0,23	0,32	0,36	0,21	0,30
maksimalna odpornost	–	–	0,41	0,28	0,34	0,49	0,23	0,43
porušitev	–	–	0,33	2,55	0,11	6,69	0,11	6,22

Preglednica 10 • Vrednosti koeficienta potresne odpornosti in zasuka spodnje etaže pri mejnih stanjih, preslikane na prototipne stavbe z upoštevanjem korekcije zaradi mehanskih lastnosti zidovja

Model	M1	M1a	M2	M3
dejanska masa (kg)	1749	2799	3447	4588
projektna masa (kg)	1638	1638	2286	3040
korekcijski faktor	1,07	1,71	1,51	1,51

Preglednica 11 • Projektne in dejanske mase modelov z izračunanimi korekcijskimi faktorji za upoštevanje vpliva povečane mase pri preslikavi na prototip

Mejno stanje	M1		M1a		M2		M3	
	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)	BSC	Φ (%)
nastanek poškodb	0,68	0,10	0,67	0,23	0,48	0,36	0,32	0,30
maksimalna odpornost	–	–	0,70	0,28	0,51	0,49	0,35	0,43
porušitev	–	–	0,56	2,55	0,17	6,69	0,17	6,22

Preglednica 12 • Vrednosti koeficienta prečne sile v pritličju in zasuka spodnje etaže pri mejnih stanjih, preslikane na prototipne stavbe

trdnostjo zidovja, analiza stanja pokaže, da je bilo z njo vzpostavljeno enako razmerje kot v prototipni konstrukciji (preglednica 5). To pomeni, da masa, dodana na modele, ni vplivala na porušni mehanizem, ki ga je pričakovati pri prototipu.

Pri korekciji preslikave zaradi vpliva mase ne bomo upoštevali faktorja, s katerim smo povečali projektno koristno obtežbo, saj bi to pomenilo nerealna pričakovanja, pač pa bomo korekcijski faktor določili kot razmerje med projektno in dejansko maso celotnega

modela. Projektno maso modela izračunamo z upoštevanjem projektne koristne obtežbe v potresni situaciji, dejansko maso pa z upoštevanjem dejanske mase vseh uteži, pritrjenih na stropne konstrukcije. Vrednosti korekcijskih faktorjev, ki jih izračunamo kot razmerje med projektno in dejansko maso modelov, so podane v preglednici 11, končne vrednosti koeficienta prečne sile v pritličju in zasuka spodnje etaže za prototipne stavbe pa so za posamezna mejna stanja navedene v preglednici 12.

5 • SKLEPI

Analiza rezultatov modelnih preiskav in njihova preslikava na prototipne stavbe pokaže:

- da je dinamično obnašanje pravilno zasnovanih stavb iz porobetona pri potresni

obtežbi primerljivo z obnašanjem drugih vrst zidanih stavb, čeprav je razmerje med maso zidovja in stropov zaradi majhne mase porobetona drugačno. Pri nihanju prevladuje

prva nihajna oblika, kot pri drugih zidanih konstrukcijah s povezanim zidovjem pa v porušni fazi prevladuje strižni mehanizem, ki ga definirajo strižne, diagonalno usmerjene razpoke v zidovih v smeri delovanja potresne obtežbe;

- da je kritični element odpornost spodnje etaže, čeprav navpične zidne vezi in arma-

tura v parapetih dopuščajo prenos obremenitev, večjo izkoriščenost kapacitete odporosti konstrukcije, s tem pa tudi nastanek poškodb v zidovih višjih etaž;

- da imajo stavbe, sezidane iz porobetona v sistemu Ytong z navpičnimi vezmi, dovolj velik potencial potresne odporosti, da se lahko gradijo na območjih z največjo pričakovano potresno nevarnostjo v Sloveniji tudi štiri etaže visoko. Analiza rezultatov modelnih preiskav in njihova preslikava na prototipne stavbe sta pokazali, da dosežene vrednosti koeficienta prečne sile v pritličju (od $BSC = 0,51$ – $0,70$ pri tri- do $BSC = 0,35$ pri štirietazni stavbi) lahko presegajo oziroma vsaj dosegajo vrednosti, ki se zahtevajo pri projektiranju zidanih konstrukcij s povezanim zidovjem na potresno najbolj ogroženih območjih v Sloveniji, grajenih tudi na slabih tleh. Samo po sebi se razume, da je treba potresno odpornost konstrukcije vsakokrat dokazati z računom;
- da montažna stropna konstrukcija sistema Ytong (beli strop) zagotavlja monolitno delovanje in deluje kot toga vodoravna diafragma tudi med najmočnejšim potresom ne glede na to, da ne izpolnjuje v celoti

priporočil oziroma zahtev tehnične regulative za montažne stropne konstrukcije na potresnih območjih;

- da dimenzije in količina armature navpičnih vezi po sistemu Ytong zagotavljajo pričakovano delovanje zidnih vezi tudi pri večnadstropnih stavbah, grajenih na območjih z največjo pričakovano potresno nevarnostjo, čeprav po dimenzijah odstopajo od zahtev evrokodov. Preiskave na potresni mizi so pokazale, da so navpične zidne vezi po nastanku hujših poškodb v nosilnih zidovih uspešno povezale zidovje, preprečile razpadanje z razpokami ločenih delov zidov in zagotovile celovitost obnašanja stavbe vse do porušitve. Kljub temu naj prerez armature vezi ne bo manjši od priporočenega po evrokodu 8 (300 mm^2), premer luknje pa ne manjši od 15 cm , da se zagotovi ustrezna vgradljivost betona in protikorozijska zaščita armature;
- če se za analizo potresne odporosti stavb uporablja metoda tipa »push-over«, kapaciteta duktilnosti in sipanja energije omogočata, da se pri preverjanju potresne odporosti lahko uporablja vrednost faktorja obnašanja konstrukcije $q = 2,5$. Preiskave

modelov na potresni mizi nakazujejo, da bi se lahko uporabljala tudi vrednost na zgornji meji območja, ki ga priporoča evrokod 8, $q = 3,0$, vendar bi bilo pred tem treba opraviti še nekatere dodatne raziskave.

Preiskave na potresni mizi torej kažejo, da je pri potresni obežbi obnašanje stavb, sezidanih iz avtoklaviranega celičnega betona v sistemu Ytong, enakovredno obnašanju stavb iz opečnega zidovja. Na eni strani zaradi majhne mase materiala zidovja v stavbi med projektnim potresom nastanejo manjše potresne sile, na drugi strani pa strižna odpornost zidov, sezidanih iz porobetona, ni nič manjša od strižne odpornosti zidov iz opečnih votlakov. Kot kažejo preiskave, ki smo jih opravili v okviru te študije, so pri majhnih tlačnih trdnostih zidovja navpične zidne vezi ključni element, ki zagotavlja ustrezno potresno odpornost konstrukcije stavb iz porobetona. Da bi lahko zanesljivo potrdili te ugotovitve in izkoristili vse možnosti, ki jih za gradnjo na potresnih območjih ponuja gradnja po sistemu Ytong, pa bo treba v prihodnje podrobneje raziskati tudi odvisnost med tlačno in natežno trdnostjo zidovja iz porobetona.

6 • ZAHVALA

Raziskave je financiralo podjetje Xella porobeton SI, d. o. o., iz Kisovca pri Zagorju. Na tem mestu bi se avtorja rada zahvalila vsem, ki so prispevali k uspehu projekta. Na prvem mestu je prav gotovo Uroš Klemen iz podjetja Xella porobeton SI, d. o. o., ki je

najzaslužnejši tudi za to, da so bile raziskave sploh zasnovane in financirane. Zahvala gre tudi zidarjema-inštruktorjema podjetja, Silvu Leziču in Dejanu Doblanoviču, ki sta ne tako lahko nalogo, natančno sezidati modele, več kot uspešno opravila, in seveda tudi sode-

lavcem na Zavodu za gradbeništvo Slovenije, ki so poskrbeli za brezhibno izvedbo zahtevnih preiskav. Ljubo Petković je vodil preiskave na potresni mizi in skrbel za zajemanje in obdelavo podatkov meritev, medtem ko sta Uroš Bohinc in Vlado Požonec poskrbela za instrumentiranje modelov in preiskavo modelnih zidov. Nad samo gradnjo in pripravo modelov na preiskavo je bdel Boris Primec, vedno pa je bil pri roki tudi Bojan Ferbežar.

7 • LITERATURA

Evrokod, Osnove projektiranja konstrukcij, SIST EN 1990-1-1, 2004, 2005.

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

Harris, G. H., Sabnis, G. M., Structural modeling and experimental techniques, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1999.

Jäger, W., Schöps, P., Confined masonry – a chance to improve the load bearing capacity, Proceedings, 11th Canadian Masonry Symposium, CD ROM, Toronto, 2009.

Langhaar, H. L., Dimensional analysis and theory of models, John Wiley & Sons, New York, 1951.

Potresnoodporno projektiranje nosilnih zidanih konstrukcij YTONG, Xella porobeton SI, 2004.

Tanner, J., Varela, J., Brightman, M., Cancino, U., Argudo, J., Klingner, R., Seismic performance and design of autoclaved aerated concrete (AAC) structural systems, Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, paper 541, 2004.

Tomaževič, M., Potresno odporne zidane stavbe, Tehnis, Ljubljana, 2009.

Tomaževič, M., Damage as a measure for earthquake-resistant design of masonry structures: Slovenian experience, Canadian Journal of Civil Engineering, 34 (11), 1403–1412, 2007.

Turnšek, V., Čačovič, F., Some experimental results on the strength of brick masonry walls, Proceedings of the 2nd international brick-masonry conference, British Ceramic Society, Stoke-on-Trent, 149–156, 1970.

ANALIZA POPLAVNE NEVARNOSTI IN ODOČNEGA REŽIMA – UPORABA RAZLIČNIH TIPOV HIDRAVLIČNIH MODELOV

FLOOD HAZARD AND RUN-OFF REGIME ANALYSIS – APPROACH WITH USE OF DIFFERENT TYPES OF HYDRAULIC MODELS

mag. Sašo Šantl, univ. dipl. inž. grad.
Gašper Rak, univ. dipl. inž. VKI.

UL-FGG, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem,
Hajdrihova 28, Ljubljana

Strokovni članek

UDK 519.61/.64:556.16:627.1:711

Povzetek | Podan je postopek izdelave kart in razredov poplavne nevarnosti kot izhodišče za omejitve in pogoje za načrtovanje rabe prostora in gradnjo. V prvem delu so podrobneje podana zakonska izhodišča, ki urejajo zadevno področje, in okvirni postopek pravičnega načrtovanja rabe prostora na poplavno nevarnih območjih. Kot neizogiben del določanja poplavne nevarnosti je v nadaljevanju podano področje hidravličnega modeliranja, od različnih tipov matematičnih modelov, ki so danes v splošni strokovni rabi, prek fizičnega modeliranja do sodobnih hibridnih hidravličnih pristopov, ki za načrtovanje zahtevnih posegov z izrazitimi navzkrižnimi interesi pri rabi prostora poleg izdelave fizičnega modela vključujejo tudi vzpostavitev matematičnega modela. Na koncu prispevka sta splošneje podana tudi primera vzpostavitve hibridnega hidravličnega modela na območju načrtovanja HE Brežice in izdelava kart ter razredov poplavne nevarnosti.

Summary | The paper presents the procedure for the determination of flood hazard and the definition of flood hazard classes which are the bases for conditions and limitations for land use planning and construction. In the first part, a legal basis which regulates and defines the area concerned as well as a framework for proper procedure of land use planning in flood hazard areas are briefly introduced. As an unavoidable phase of this procedure the area hydraulic modelling is presented in general, from 1D to 3D mathematical modelling to the use of hybrid models where physical models are combined with a mathematical model to provide the integration of advantages from both types of models. Finally, the paper presents a case of design of hydropower plant Brežice where general procedure of assembling and the calibration of mathematical and physical models as a hybrid model and the elaboration of the flood hazard maps and maps of flood hazard classes are discussed.

1 • UVOD

Načrtovanje posegov na poplavno nevarnih območjih se ureja oziroma omejuje s predpisi s področja voda oziroma, podrobneje, na podlagi Pravilnika o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (v nadaljevanju: Pravilnik; MOP, 2007) in Uredbe o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja (v nadaljevanju: Uredba; MOP, 2008). Vsebina teh predpisov prinaša v RS uskladiitev z Direktivo 2007/69/EC Evropskega parlamenta in Sveta o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti (krajše: Poplavna direktiva).

Osnovni pristop, ki ga upošteva in predpisuje omenjeni Pravilnik, je določitev poplavne nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti, ki združuje verjetnost pojava poplave (poplavne nevarnosti) z ranljivostjo tega območja (Gosar, 2007).

Poplavno nevarnost je treba podrobneje določiti na vseh območjih (seveda če za to obstaja interes), ki so na opozorilni karti poplav (<http://gis.arso.gov.si/>) prikazana kot poplavno nevarna območja. Opozorilna karta poplav namreč le označuje območja v Republiki Sloveniji, kjer so že bile zaznane poplave, in sicer z različno stopnjo zanesljivosti in natančnosti obdelave. Gre torej za v preteklosti že evidentirane dogodke ali pa za območja z že izvedenimi hidravličnimi analizami, ki so po Pravilniku že lahko tudi podlaga za izris kart poplavne nevarnosti in določitev razredov nevarnosti.

Ugotavljanje ogroženosti, ki jo določa možnost nastanka škode zaradi izpostavljenosti poplavni nevarnosti, se lahko razdeli na tri glavna področja:

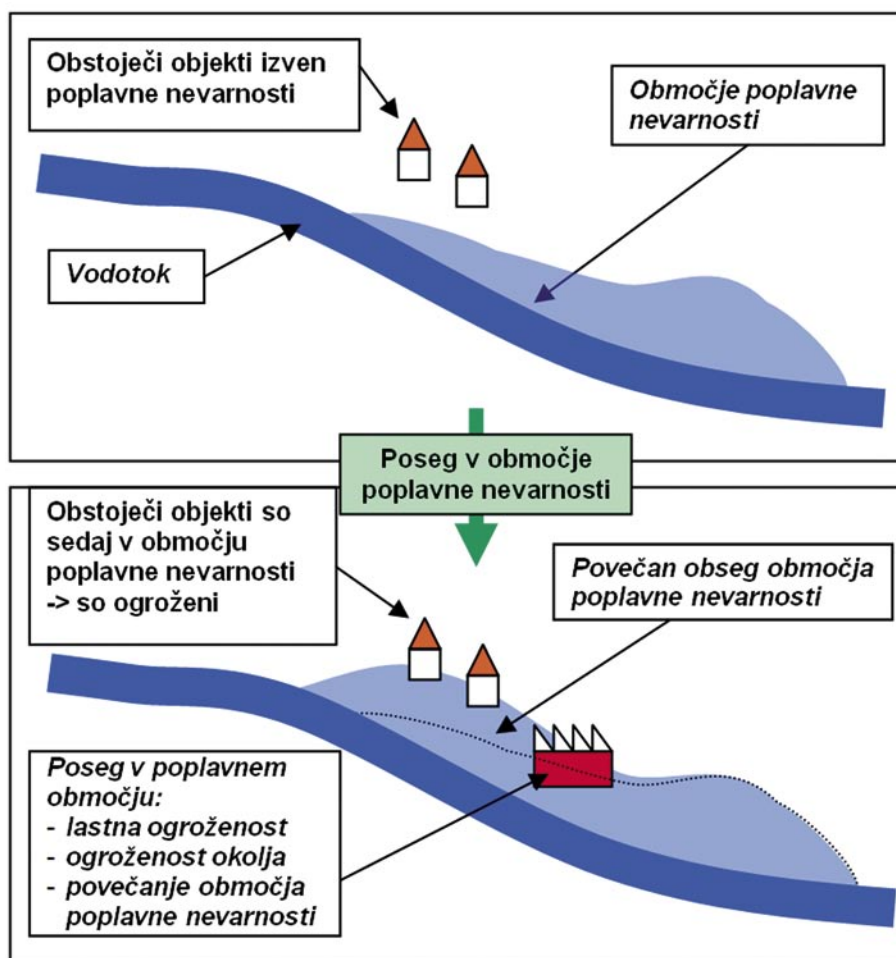
- ogroženost človeka, dejavnosti in objektov v obravnavanem območju;
- ogroženost okolja zaradi poplavljenosti ali posledične nestabilnosti okoljsko nevarnih objektov;
- ogroženost človeka, dejavnosti in objektov zaradi nevarnosti, ki jo povzroči nova predlagana raba obstoječih območij poplavne in erozijske nevarnosti ali njihovega varovanja. Gre torej za določitev vplivnega območja načrtovane nove rabe prostora.

varno območje, ki je lahko zaradi odpravljanja lastne ogroženosti ustrezno načrtovan (vodotesnost, stabilnost itd.), lahko vseeno povzroči poplavno nevarnost tudi na območju, kjer pred posegom ni bilo poplavne nevarnosti. Če pa se v tem območju nahajajo tudi objekti s škodnim potencialom, je lahko posledica posega tudi povečana poplavna ogroženost. Pravilnik predpisuje tudi določitev razredov poplavne nevarnosti in ogroženosti, ki se določajo na podlagi verjetnosti pojava in njegove intenzitete. Glavni kriteriji za določitev razreda nevarnosti so globina poplavitve, sila impulza (udar vodnega toka na objekt) in strižne sile (na nosilni teren ob objektu ipd.) Nadgradnja Pravilnika, ki predpisuje, kako se določijo razredi poplavne nevarnosti, je Uredba (Vlada RS, 2008), s katero se zaradi preprečitve povečanja ranljivosti in posledične

ogroženosti pogojuje in omejuje možnost gradnje na poplavno nevarnih območjih. Pri tem je upoštevana delitev objektov po Enotni klasifikaciji objektov (SURS, 2003).

S primernimi protipoplavnimi ukrepi je v sklopu prostorskega načrtovanja obravnavano poplavno nevarno območje pogosto mogoče ustrezno zavarovati ali vsaj zmanjšati poplavno nevarnost, tako da je v obravnavanem območju načrtovano rabo prostora možno izvesti. Pri tem pa je treba hkrati zagotoviti, da se na vplivnem območju (predvsem gor- in dolvodno) prepreči nov pojav ali povečanje poplavne nevarnosti in ogroženosti. Odprava takšnih posledic lahko zahteva načrtovanje rešitev, ki so celovitejše in rešujejo poplavno nevarnost in ogroženost širšega območja.

Da bi se zagotovilo ustrezno načrtovanje in tudi dejanska izvedba usklajenih ukrepov, je treba v postopku prostorskega načrtovanja in tudi kasneje v postopku gradnje uveljaviti ustrezen nadzor tudi s strani nosilcev urejanja



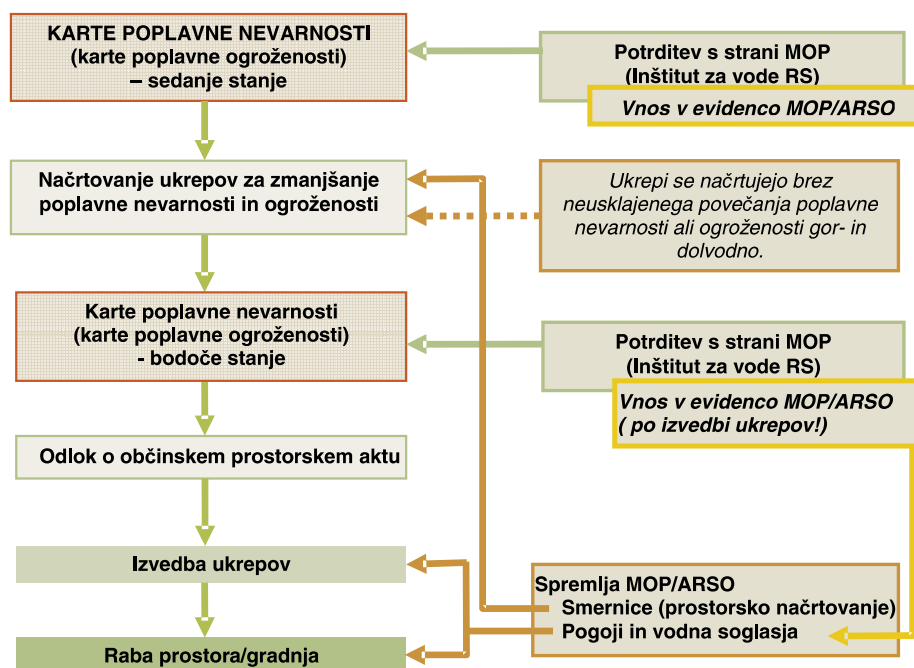
Slika 1 • Preprost shematski prikaz vpliva gradnje na poplavno nevarnem območju, ki poveča obseg poplavljenega območja

Ta področja prikazuje slika 1 na preprostem shematskem primeru. Poseg v poplavno ne-

prostora in soglasodajalcev s področja voda (Ministrstvo za okolje in prostor – MOP, Agencija RS za okolje – ARSO). Shemo postopkov in pristojnih organov s področja voda prikazuje slika 2. Na primeru lokalnega prostorskega načrtovanja, na podlagi kart poplavne nevarnosti in ogroženosti pri sedanjem stanju je treba zaradi omogočanja poseganja na poplavno nevarnih območjih načrtovati tudi usklajene ukrepe. Šele ko se ukrepi tudi dejansko izvedejo, se v prostoru pojavi novo omiljeno stanje poplavne nevarnosti in ogroženosti, kar sploh omogoča posege v prostor, zaradi katerih je tekel tudi sam postopek prostorskega načrtovanja določenega območja (Skutnik in Šantl, 2008).

Takšnim postopkom je podvrženo tudi načrtovanje vodne infrastrukture (visokovodni nasip, jez itd.), ki je namenjena urejanju in rabi voda, na primer načrtovanje vodnih objektov hidroelektrarne. Tudi zanj je treba preveriti vpliv na odtočni režim in oceniti poplavno (tudi erozijsko) nevarnost najprej za obstoječe stanje, nato pa usklajeno določiti in vključiti ukrepe za zmanjšanje poplavne nevarnosti in ogroženosti tudi za novo stanje v celotnem vplivnem območju načrtovanega posega.

Glede na zatečeno stanje v prostoru obstajajo primeri, ko prostorski akti dovoljujejo določen tip gradnje na območjih, kjer se na podlagi opozorilne karte poplav ugotavlja nevarnost pojava poplav, vendar pa karte poplavne nevarnosti še niso izdelane v skladu s Pravilnikom. Za take primere, če ne gre za območje pomembnega vpliva poplav, ki jih določa omenjeni Pravilnik, se v skladu z omenjeno Uredbo gradnja omejuje in pogojuje na podlagi poenostavljenih meril (upoštevajo se obstoječi podatki o globini poplavne vode pri Q100), pri tem pa se obravnavano območje uvrsti



Slika 2 • Usklajeno načrtovanje rabe prostora z zagotavljanjem poplavne varnosti

v višji razred poplavne nevarnosti. Zatečeno stanje je v prehodnem obdobju dejansko tudi največji kamen spotike pri investitorjih in lokalnih skupnostih.

Strokovno in znanstveno področje, ki se ukvarja z določevanjem obsega poplavljenosti, hitrostmi vodnih tokov in tudi spremembami celotnega odtočnega režima na obravnavanem območju, imenujemo hidravlična analiza. Analiza se izvaja z matematičnimi in tudi fizičnimi modeli, pri katerih je treba izvesti tudi postopek umerjanja (kalibracije) in preveritve (verifikacije), s čimer se zagotovi, da so rezultati modeliranja z zahtevano stopnjo natančnosti enaki dejanskemu stanju in dogajanju v naravi (Šantl, 2007).

V kompleksnih primerih prostorskega načrtovanja vodne infrastrukture, kot je na primer umeščanje hidroenergetskih objektov v prostor, ki zajemajo daljše odseke vodotokov in lahko pomembno spremenijo odtočni režim in poplavno nevarnost v vplivnem območju, se k hidravlični analizi pristopi z izdelavo tako fizičnega kot tudi matematičnega modela. Tedaj govorimo o »hibridnih hidravličnih modelih«. S hkratno uporabo obeh načinov modeliranja se zagotovi ustrezna medsebojna preveritev modelov v fazi umerjanja in optimizacije končnih rešitev ter izkoristi prednosti obeh tipov modelov. Takšen način modeliranja in analiz je predstavljen nadaljevanju.

2 • HIDRAVLIČNO MODELIRANJE

Glede na tip problematike, odtočni režim na obravnavanem območju, druge pojave v prostoru, podatke, ki so na razpolago, in želeno natančnost se lahko za določitev obsega poplavljenosti, hitrostnega polja vode, odtočnega režima in drugih iskanih parametrov odloči za uporabo različnih tipov matematičnih hidravličnih modelov. Možna je uporaba od enodimenzionalnih pa do tridimenzionalnih matematičnih modelov, v primeru izrazitih tridimenzionalnih gibanj vode,

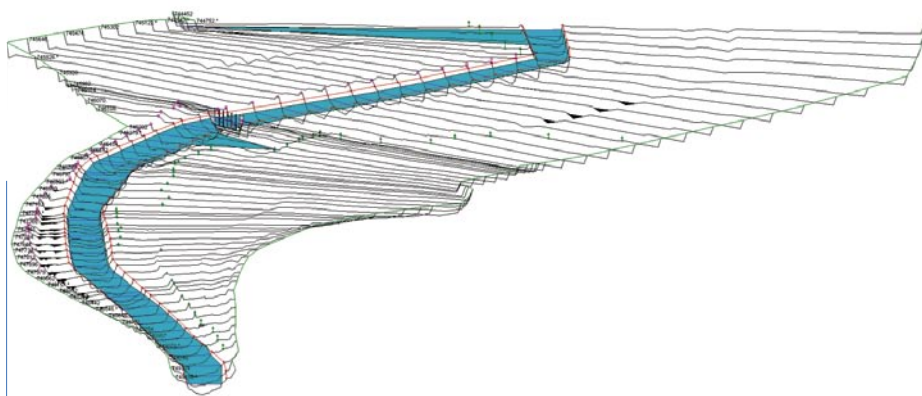
ki so odločilna za optimizacijo načrtovane rabe prostora, pa tudi fizičnega hidravličnega modeliranja kot enega najstarejših tipov modeliranja. V postopku pregleda in potrditve izdelanih kart poplavne nevarnosti, ki ga izvede MOP s strokovno podporo Inštituta za vode RS, je treba seveda tudi dokazati, da je bil izbran ustrezen hidravlični model.

V nadaljevanju so prikazani bistveni tipi hidravličnega modeliranja, ki so uveljavljeni v današnji splošni praksi.

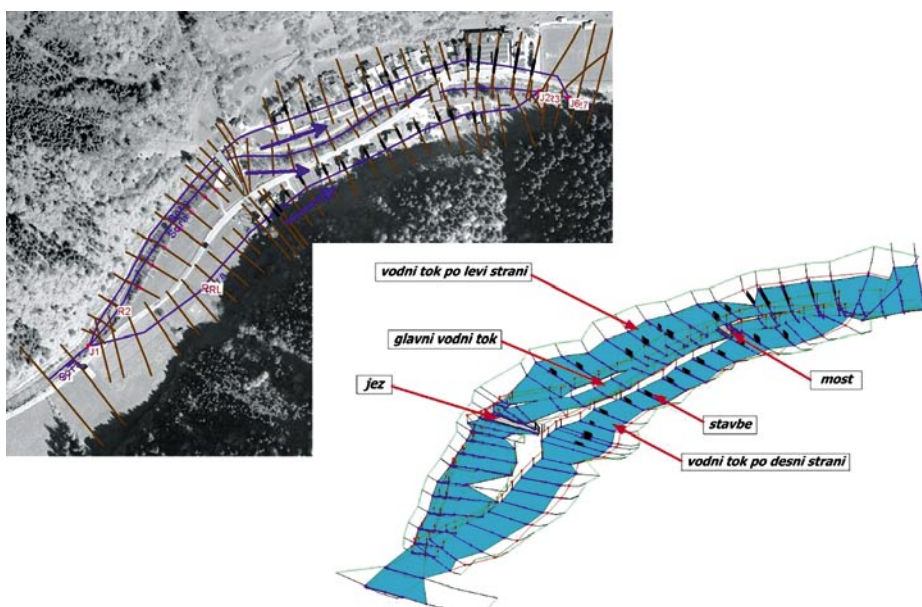
2.1 Enodimenzionalno hidravlično modeliranje

V preteklosti se je k hidravličnemu modeliranju vodotokov z vključitvijo poplavnih površin praviloma pristopilo z enodimenzionalnimi modeli (1D-modeli). Pri tem so se poplavne površine modelirale kot razširitev območja struge, to je z razširitvijo prečnih prereзов do višjih kot terena (slika 3). Na ta način se je zajelo celotno potencialno poplavno območje.

Ker gre pri toku vode po poplavnih površinah v večini primerov za izrazit dvodimenzionalni tok, ki pogosto ne teče vzporedno s tokom po glavni strugi, je natančnost rezultatov, ki so



Slika 3 • Primer hidravličnega 1D-modela, ki z razširitvijo prečnih prereзов poenostavljeno zajame tudi poplavne površine (programska oprema HEC-RAS; FGG-KMTe)



Slika 4 • Primer hidravličnega 1D-modela z dodanima vejama vodnih tokov na levem in desnem poplavnem območju (programska oprema HEC-RAS; FGG-KMTe; Selška Sora v območju Železnikov)

pridobljeni na podlagi enodimenzionalnega modela, relativno nizka (Hubbard, 2001). To pa pri načrtovanju in omejevanju rabe prostora lahko vodi v veliko dodatno varnost (dodatna nadvišanja, omejitev rabe prostora na večjem območju ipd.) ali prinaša podcenjeno nevarnost.

Natančnost 1D-modeliranja se lahko v primerih, ko voda pri visokih pretokih odteka iz osnovne struge in se dolvodno vrača nazaj v osnovno strugo, poveča z uporabo vejčastega modela, pri katerem se dodajo nove struge za simuliranje toka po poplavnih površinah (slika 4). Za »komunikacijo« vode med vejami toka po poplavni površini in osnovno strugo se lahko dodatno vzpostavi pretakanje vode (npr. s prelivnimi objekti) med posameznimi vejami

tokov. Tak model se v strokovnih krogih imenuje »kvazi 2D-model« (Willems et al., 2001). Takšno modeliranje je primerno v jasno določljivih primerih, ko se v primerih načrtovanja vodne infrastrukture jasno definira več vodnih poti. V primerih ugotavljanja poplavne nevarnosti na večjih območjih s stalno vzdolžno in prečno »komunikacijo« vode na poplavnih površinah z osnovno strugo pa bi število vodnih tokov (vej) zaradi možnega velikega števila dodatnih strug in vzpostavljanja prelivanja vode med strugami naraslo. S tem pa bi model postal zelo kompleksen ter zelo zahteven za umerjanje. Umerjanje modela namreč zahteva podatke (teren, fizični model) o pretočnih razmerah za vsako vzpostavljanje novih dodatnih zank.

2.2 Dvodimenzionalno hidravlično modeliranje

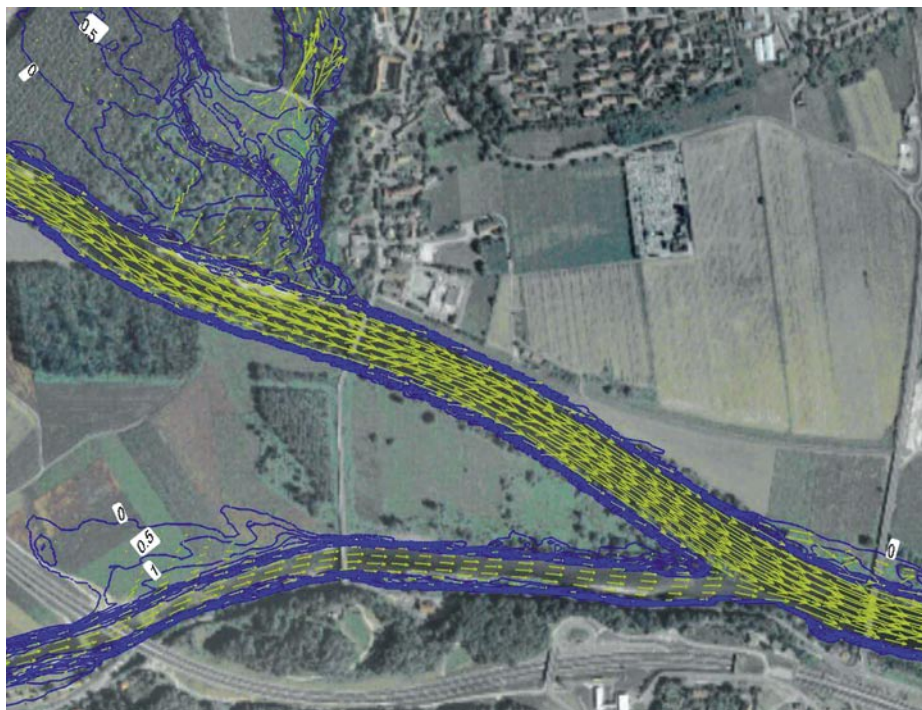
Ko se na obravnavanem območju pojavijo izrazitejšie komponente hitrosti pravokotno na smer glavnega toka oziroma prihaja do izrazitih dvodimenzionalnih pojavov toka vode (poplavna območja, hipne zožitve ali razširitve struge itd.), lastnosti toka pa je še vedno mogoče po globini »povprečiti«, se lahko za učinkovito hidravlično analizo uporabi dvodimenzionalno hidravlično modeliranje – 2D-modeliranje (slika 5).

Čeprav so bila teoretična izhodišča za 2D-modeliranje razvita že pred časom ((Rajar, 1980) (Abbott et al., 1981)), je šele sodobna dovolj hitra procesna računalniška oprema omogočila širše inženirsko izvajanje analiz na 2D-modelih z ustrezno majhnimi računskimi celicami v realnem času.

Proces vzpostavitve 2D-modela okvirno sledi naslednjemu postopku:

- pridobitev geometrijskih podatkov (LIDAR, geodetske izmere struge itd.) celotnega obravnavanega območja;
- izdelava digitalnega modela reliefa (DMR);
- izdelava geometrije/mreže celic 2D-modela ustrezne gostote;
- preveritev geometrije 2D-modela z DMR in izvedba popravkov na območjih, ki so poenostavljena zaradi izdelave mreže celic, so pa s hidravličnega vidika pomembna (npr. protipoplavni zid, ki je ožji od numerične celice);
- določitev robnih pogojev (pretočne krivulje, pretoki vode z različnimi povratnimi dobami, določitev hidravlične značilnosti prelivnih objektov ipd.), pridobljeni podatki z vodomer-nih postaj ali iz predhodnih hidroloških in tudi hidravličnih analiz;
- določitev izhodiščnih vrednosti koeficientov hrapavosti v numeričnih celicah, odvisnih od lastnosti dna struge, rabe zemljišč, poraščenosti in pozidave;
- umerjanje in verifikacija koeficientov hrapavosti na podlagi primerjave gladin in hitrosti vode med izračuni na modelu in dejanskimi meritvami v naravi pri različnih pretokih.

Za čim boljše približanje hidravličnim razmeram v naravi, še zlasti v primerih, ko se pojavlja izraziti tridimenzionalni tok, bi bilo treba v končni fazi preiti na tridimenzionalno modeliranje (3D), kar sodobna računalniška oprema že omogoča v realnih časih izračuna, vendar le za manjša obravnavana območja oziroma z velikimi numeričnimi celicami za večja območja.



Slika 5 • Primer hidravličnega 2D-modela s prikazom črt enakih globin (izobat) in vektorjev hitrosti vode (programska oprema CCHE; FGG-KMTe; območje sotočja Save in Krke)

Bistveno vprašanje pri odločitvi za tridimenzionalno modeliranje je predvsem, ali so za tako natančnost izračunov na razpolago ustrezni vhodni podatki za vzpostavitev in umerjanje modela (topografija, potek vodnih tokov za različne povratne dobe pretokov vode ipd.). Praviloma se tridimenzionalno matematično modeliranje uporablja pri načrtovanju bistvenih hidravličnih elementov pri vodnih objektih (pretok preko zapornic, načrtovanje vtočnih objektov ipd.).

Ker je področje tridimenzionalnega matematičnega modeliranja še v razvoju, se pri zahtevnih vodnih objektih še vedno uporabljajo fizični modeli v različnih merilih. Slednji hkrati omogočajo tudi umerjanje matematičnih modelov in končno verifikacijo optimalne rešitve, ki je bila določena na podlagi matematičnega modeliranja.

2.3 Fizični hidravlični modeli

Izdelava laboratorijskih fizičnih modelov, to je izdelava pomanjšanega stanja v naravi v nepopačenem ali višinsko popačenem (distorziranem) modelnem merilu, je bila na področju hidrotehnike v najintenzivnejšem razvoju sredi prejšnjega stoletja, v našem prostoru pa ima že 80-letno tradicijo.

Osnovno izhodišče je zagotoviti zakonitosti o podobnosti pojava v naravi in na modelu, pri čemer je mehanska podobnost

modela in prototipa osnovni pogoj, da so količine, merjene na fizičnem modelu, ustrezne tudi po preračunu iz modela v naravo. Hidravlične razmere na fizičnem modelu so podobne tistim na prototipu, kadar model izkazuje podobnost oblike (*geometrijska podobnost*), podobnost gibanja (*kinematična podobnost*) in podobnost sil (*dinamična podobnost*).



Slika 5 • Primer fizičnega modela (Inštitut za hidravlične raziskave; odsek Save s HE Krško in novim mostom)

Slika 6 prikazuje fizični model reke Save na območju gradnje HE Krško z načrtovanjem novega mostu obvezne ceste mimo Krškega. Fizični modeli so v slovenski praksi že dovolj znani. Zato bi poudarili, da se njihov pomen ne zmanjšuje, spreminja pa se njihova vloga. Pred pojavom matematičnih modelov je bil to edini način za dovolj natančno hidravlično analizo razmer, pri vedno večji uporabi matematičnih modelov pa imajo fizični modeli še vedno vsaj dve nalogi – zagotoviti dovolj podatkov za umerjanje matematičnega modela in nato še omogočiti preveritev rezultatov, dokler matematični modeli ne bodo dovolj zanesljivi.

2.4 Hibridno hidravlično modeliranje

Za zanesljive in dovolj natančne izračune sta potrebna umerjanje (kalibracija) in preveritev (verifikacija) rezultatov modela. To sta postopka, ki na podlagi informacij o preteklih dogodkih omogočita, da model s sprejemljivo natančnostjo simulira tudi dogodke, ki se še niso zgodili, obstaja pa verjetnost, da bi se lahko pojavili v naravi. Zato je pomembno, da so podatki meritev preteklih dogodkov brez grobih napak ter da so naključne in sistematizne napake ustrezno statistično obdelane in ovrednotene, da bi se lahko določila merilna oziroma računska negotovost (toleranca).

Praviloma so meritve v naravi (pretokov in gladin voda) pridobljene v obdobju nižjih pretokov, saj so meritve pri višjih pretokih redkeje oziroma manj natančne. Izjemnih dogodkov je namreč malo, hkrati pa je možnost napak v tem času mnogo večja (nevarno iz-

vajanje meritev pri velikih hitrostih toka, okvare opreme zaradi povečane prodornosti in plavja ipd.).

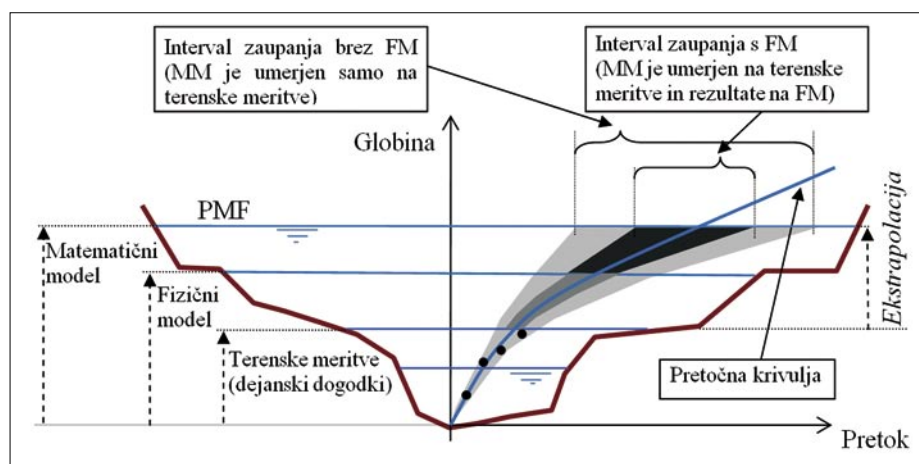
V primerih, ko se načrtuje raba vode, ki zahteva obširno gradnjo na vodnih zemljiščih (struga, brežine struge), zaradi katerih lahko pride do bistvenega vpliva na spremembo odtočnega režima in celo do povečanja poplavne nevarnosti, se tudi pri uporabi hidravličnega modela zahteva bistveno ožji (boljši) interval zaupanja v rezultate.

Zlasti pri načrtovanju pomembnejših objektov vodne infrastrukture (npr. hidroelektrarne), ki bi zaradi neustreznega načrtovanja lahko povzročilo bistveno spremembo odtočnega režima in posledično poplavno nevarnost in ogroženost večjih razsežnosti, se pogosto hkrati vzpostavi dva hidravlična modela, ob matematičnem modelu še fizični model. Fizični modeli pri tem zlasti zagotavljajo predvsem tiste informacije o procesih, ki jih tudi sodobni matematični modeli še ne morejo zadovoljivo opisati (predvsem turbulenca in razni z njo povezani 3D-pojavi). Matematični modeli pa fizične dopolnijo tam, kjer je potrebno veliko število variantnih analiz, s preveritvijo velikega števila podatkov v postopku optimizacije načrtovanja, ter tedaj, ko je potreben izčrpen in učinkovit prikaz rezultatov v postopkih odločanja. Prav tako matematični modeli lahko omogočajo analize za veliko večja območja kot fizični modeli, ki so omejeni z zmogljivostjo laboratorija. Z izvedbo dveh modelov istega obravnavanega območja se prav tako zagotovi

ustrezno medsebojno umerjanje modelov. Na primer: če je matematični model (MM) zaradi hitrejše vzpostavitve in bolj obvladljivega delovnega okolja vzpostavljen za večje poplavno območje, je dodatni fizični model (FM) potreben predvsem zaradi umerjanja matematičnega modela pri višjih pretokih, za katere se kot izhodišče uporabijo rezultati fizičnega modela. Zaradi tega se interval zaupanja v rezultate pri matematičnem modelu zmanjša oziroma se izboljša zaupanje v rezultate na območju ekstrapolacije, to je za dogodke, za katere obstaja majhna

statistična verjetnost, da bi se v prihodnosti lahko zgodili (slika 7).

V nadaljevanju je podan primer modeliranja s hibridnim hidravličnim modelom na območju, kjer je bilo treba za določitev poplavne nevarnosti opraviti hidravlične analize za visoke pretoke, ki še niso bili izmerjeni v naravi, imajo pa majhno verjetnost, da se pojavijo. Gre za vode, kjer statistično verjetnost pojava opišemo s statistično povratno dobo (npr. 1 % – 100-letne poplavne vode, 0,5 % – 500-letne poplavne vode, 0,1 % – 1000-letne poplavne vode, itd.).



Slika 7 • Shematski prikaz umerjanja in uporabe matematičnega modela (MM) na podlagi terenskih meritev ob visokih vodah (točke) in rezultatov fizičnega modela (FM) ter posledičnega zmanjševanja intervala zaupanja, ki se doseže s hibridnimi modeli, za potrebe ekstrapolacije: statistično verjetnih dogodkov, ki se še niso zgodili, vse do verjetno najvišjih pretokov (Probable Maximum Flood – PMF)

3 • PRIMER UPORABE HIBRIDNEGA HIDRAVLIČNEGA MODELA

Za načrtovanje hidroelektrarn na Spodnji Savi so za hidravlično modeliranje uporabili hibridne hidravlične modele. Razlogov za tako odločitev je več. Gre namreč za načrtovanje hidroelektrarn z jezovno zgradbo in nasipi ob akumulaciji. Hkrati se načrtujejo tudi prelivni objekti na začetku akumulacij, s čimer se želi ohraniti zadrževalna sposobnost danes obstoječih poplavnih površin na obeh bregovih reke Save na celotnem območju Krško-Brežiškega polja in dolvodnega območja od Čateža do Mokric. Območje modeliranja je razdeljeno na 3 dele, ki so s prikazom sloja opozorilne karte poplav prikazani na sliki 8. V vplivnem območju načrtovanja HE Brežice (Krško-Brežiško polje), ki bo v nadaljevanju tudi

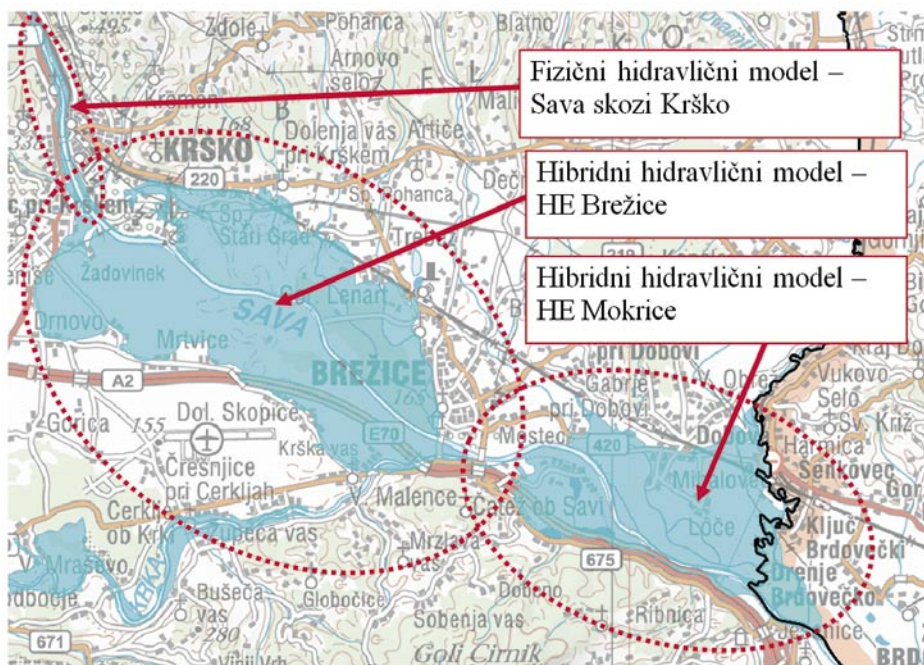
podrobneje predstavljeno, se nahaja tudi NEK Krško z zahtevami po zagotavljanju hladilne vode in višjimi standardi varovanja pred poplavami (pred PMF). Dolvodno pa je meddržavno določeno tudi ohranjanje odtočnega režima reke Save, saj se preko državne meje ne smejo povečevati sedanji odtoki. To pa z drugimi besedami pomeni ohranjanje obstoječih referenjskih (vodozadrževalnih) kapacitet gorvodno.

Ker gre v skladu z opozorilno karto poplav za območje poplavne nevarnosti, je treba za celotno območje določiti razrede poplavne nevarnosti sedanjega stanja, nato pa usklajeno z načrtovanjem HE Brežice tudi prihodnjega stanja.

3.1 Vzpostavitev in umerjanje modelov

Za izdelavo modelov je bil pridobljen LIDAR-posnetek terena in izmerjeni prečni prerezi struge reke Save. Zajem podatkov s tehnologijo LIDAR je v današnji praksi že zelo razširjen in je v različni literaturi tudi ustrezno predstavljen (Gosar, 2007).

Ker gre za veliko območje, je bil izdelan t. i. »distorziran« fizični hidravlični model vplivnega območja HE Brežice, zgrajen v merilu 1 : 125 za dolžine in širine ter v merilu 1 : 62,5 za višine (slika 9). Ta distorzija (višinsko popačenje) se na modelu kaže kot povečan naklon struge, večja relativna hrapavost ter večji naklon gladine na modelu glede na naravo, vendar pa model po drugi strani omogoča večjo natančnost meritev in vključitev celotnega obravnavanega območja kljub velikim dimenzijam poplavnega območja.



Slika 8 • Prikaz območja hibridnega hidravličnega modeliranja, obravnavanega s tremi hidravličnimi modeli, s slojem opozorilne karte poplav – katastrofalne poplave



Slika 9 • Prikaz izdelanega fizičnega modela od mesta Krško do sotočja Save s Krko (Inštitut za hidravlične raziskave)

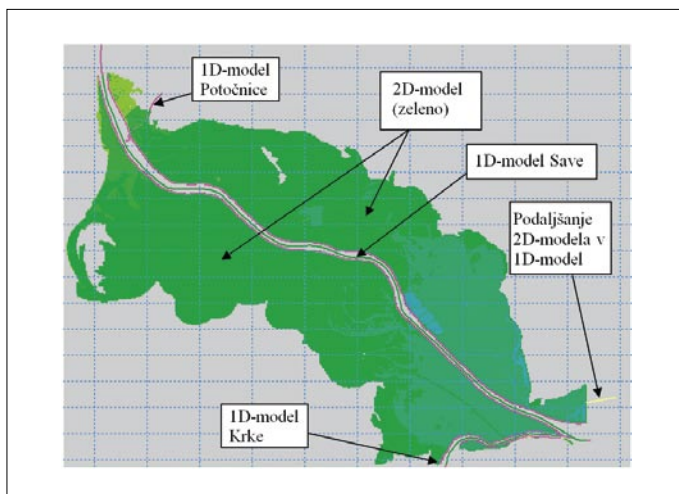
Dolžina modelirane rečne struge znaša v naravi 10,8 km oz. na modelu 86,6 m. Celotna modelirana površina pa v naravi zajema območje velikosti 23,4 km² oz. na modelu 1499 m². Izdelava površine takšnega obsega – s starimi rokavi Save, gramoznicami in prometnicami – je seveda zahteven podvig. Hidrodinamični matematični model območja bazena HE Brežice je bil vzpostavljen s programsko opremo MIKE Flood, ki združuje programsko okolje za modeliranje 2D-modela (MIKE 21) in programsko okolje za modeliranje 1D-modela (MIKE 11) (slika 10). Izbor takega modela temelji predvsem na zahtevah po analizi prihodnjega stanja, saj programska oprema MIKE 11 omogoča vgraditev različnih objektov z možnostjo simuliranja dinamike njihovega obratovanja v odvisnosti od časovne spremembe pretoka. Ustrezno vodenje poplavnega vala, ki ne bo prinesel dodatne poplavne nevarnosti, je namreč bistvena zahteva pri optimizaciji načrtovanja objektov HE Brežice.

Celotno območje matematičnega modela za HE Brežice zajema reko Savo v dolžini 13.227,00 metra in reko Krko od izliva v Savo do vodomerne postaje Podbočje gorvodno. Matematični model poplavnega območja ima tako površino 31,89 km². Torej obsega prostor, ki je kar 36 % večji od fizičnega modela in omogoča simuliranje dotoka Krke kot tudi učinkovitejšo simulacijo nestalnega toka.

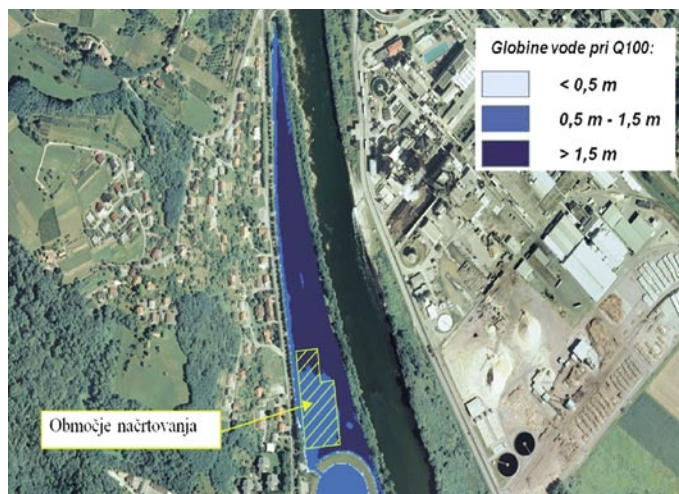
Po vzpostavitvi modelov sta se pri umerjanju v prvi fazi oba modela umerjala na izvedene meritve v naravi, v drugi fazi pa so se medsebojno primerjali izmerjeni rezultati na fizičnem modelu in izračunani rezultati na matematičnem modelu. Verifikacija obeh modelov se je opravila z meritvami poplavnega dogodka jeseni leta 1990, ki seveda niso bile uporabljene pri umerjanju modela, pa tudi s primerjavo z rezultati z drugim matematičnim 2D-modelom.

Na matematičnem modelu se je izvajala tudi analiza občutljivosti rezultatov na spremembe vhodnih parametrov, to je občutljivost rezultatov na spremembe v pretokih, v izmerjenih kotah gladin vode in spreminjanja hidravličnih parametrov modela – koeficientov hrapavosti.

Ko se je dosegla zahtevana stopnja zaupanja v rezultate modelov, se je analiza sedanjega stanja in variant prihodnjega stanja vršila na matematičnem modelu. Fizični model, ki je v prvem koraku dal dragocene podatke o poplavnih tokovih za umerjanje matematičnega modela, bo v ključni fazi raziskav služil še za verifikacijo končnih rezul-



Slika 10 • Zasnova matematičnega modela – sistem 1D-modela vodotokov in 2D-modela območij poplavljanja omogoča izračune razmer za stalni in nestalni tok



samo obravnavano poplavno območje

tatov in odločitev o najprimernejših rešitvah, ki bodo izhajale iz izračunov na matematičnem modelu.

Poleg optimalnega načrtovanja objektov HE Brežice sta cilja naloge tudi izdelava karte poplavne nevarnosti in določitev razredov poplavne nevarnosti, ki predstavljajo izhodišče za omejitve in pogoje pri načrtovanju rabe prostora v skladu s predpisi, kot je bilo opisano že v uvodu.

3.2 Določitev razredov poplavne nevarnosti

V postopku določevanja razredov poplavne nevarnosti so izhodišča podana z omenjenim Pravilnikom, pri čemer so poleg glavnega izhodišča, to je pretoka vode s 100-letno povratno dobo (Q_{100}), odločilni tudi pretok vode s povratno dobo 10 let (Q_{10}) in 500 let (Q_{500}) ter tokovi vode, ki presegajo hitrost 1 m/s.

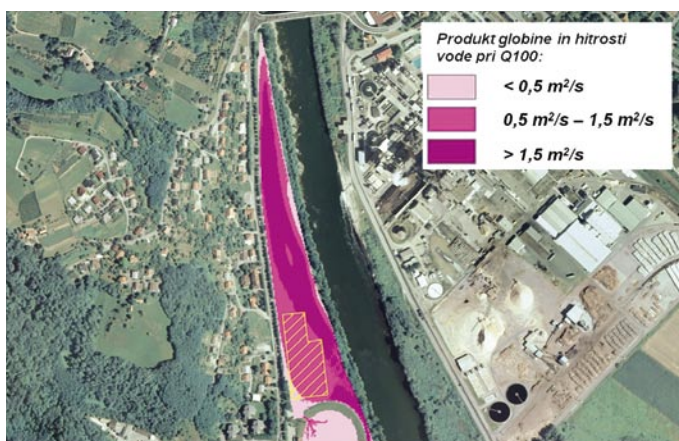
Kot primer določitve razredov poplavne nevarnosti je v nadaljevanju prikazan del celotnega območja, ki zajema desno poplavno območje od mostu v Krškem do stadiona dolvodno, kjer je obstajal interes za poseg v prostor. Za določitev razredov poplavne nevarnosti se morata izdelati dve karti za 2 kriterija. Ena je karta globin vode pri Q_{100} , primer podaja slika 11, druga pa karta zmnožka globine in hitrosti vode (sile impulza), ki jo podaja slika 12.

Pri določitvi razredov poplavne nevarnosti (slika 13) se za obravnavano lokacijo na terenu upošteva tisti kriterij izmed obeh, ki je bolj neugoden. Za območje, kjer se pojavi poplava že pri Q_{10} , se samodejno določi najmanj razred srednje nevarnosti.

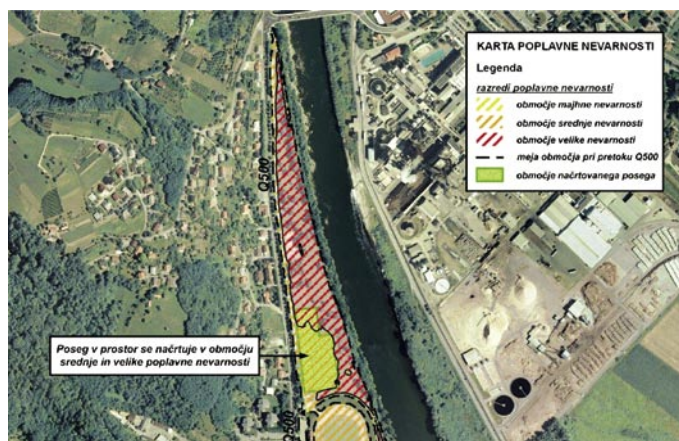
Ker določene omejitve rabe prostora izhajajo tudi z vidika zmanjševanja obstoječe ogroženosti, je treba na karti razredov po-

plavne nevarnosti voda določiti tudi linijo o poplavljenosti pri pretoku vode Q_{500} , ki prikazuje obseg območja preostalega tveganja (residual risk). Tako izdelana karta razredov poplavne nevarnosti je podlaga k Uredbi, na podlagi katere se omejuje in pogojuje možnost določene gradnje v posameznih razredih poplavne nevarnosti.

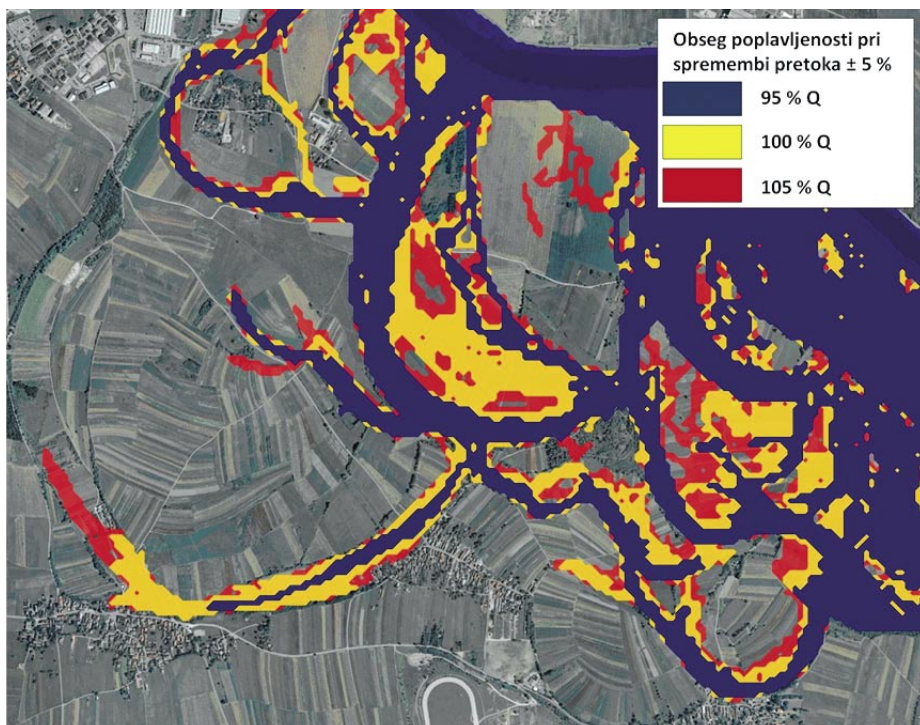
Ker imajo vhodni podatki (topografija, pretoki) in sami hidravlični parametri modela (koeficienti hrapavosti, parametri prelivnih objektov, pretočna krivulja na spodnjem robnem pogoju) neko stopnjo negotovosti, je izdelavo karte poplavne nevarnosti vsekakor treba preveriti z ustrezno analizo občutljivosti. Slika 14 tako prikazuje občutljivost izračuna obsega poplavljenosti pri spreminjanju pretoka Q v razponu $\pm 5\%$ za celotno območje matematičnega modela. Na ta način se preveri, kako močno



Slika 12 • Karta poplavne nevarnosti – prikaz območij po 2. kriteriju: zmnožek globine in hitrosti vode pri Q_{100}



Slika 13 • Razredi poplavne nevarnosti – kakšni posegi so na določenih območjih sploh dovoljeni, določa omenjena Uredba iz leta 2008.



Slika 14 • Analiza vpliva računske negotovosti prikaže, koliko se spremeni obseg poplavljenosti, če spreminjamo računski pretok v mejah $Q_{\text{RAČUN}} \pm 5\%$ (prelivanje Save na desno poplavno območje)

je obseg poplavljenosti odvisen od tolerance pri določanju pretoka. Za uporabnike prostora pa je pomembno vedeti, da se poplavne linije v prostoru lahko spreminjajo tudi zaradi spremenjene rabe prostora. Takšen primer se pojavi npr. zaradi zaraščanja poplavnih območij, ko vegetacija zmanjša prečni prerez in s tem pretočnost – posledica je seveda pričakovana: pri istem pretoku se pojavijo višje globine in s tem večji obseg poplavljenosti (Mueller et al., 2009).

Omenjeno je vsekakor treba vključiti v izdelavo kart in razredov poplavne nevarnosti, pri čemer je treba upoštevati varnejšo stran. Izdelana karta razredov poplavne nevarnosti je podlaga za omejitve in pogoje rabe ter načrtovanje prostora, ki so sestavni deli projektnih pogojev in vodnega soglasja. Poudariti je treba, da karta, izdelana na podlagi hidravlične analize razredov poplavne nevarnosti, predstavlja v prvi fazi predlog, ki ga morata potrditi še Ministrstvo za okolje in prostor RS in Inštitut za vode RS, ki preveri, ali je karta izdelana v skladu s Pravilnikom. Šele ko je ugotovljena ustreznost predlaganih kart, le-te postanejo ustrezna podlaga za omejitve in pogoje rabe prostora na nivoju prostorskega načrtovanja in tudi projektiranja ter izvedbe.

4 • SKLEP

Za ustrezno določitev kart in razredov poplavne nevarnosti, ki so podlaga za omejitve in pogoje za načrtovanje rabe prostora, je treba opraviti ustrezno hidravlično modeliranje. K hidravličnemu modeliranju se lahko pristopi z uporabo matematičnih ali fizičnih modelov. Glede na tip problematike, samega odočnega režima in pojavov v prostoru se lahko odločimo za uporabo različnih vrst modelov, od enodimenzionalnih do tridimenzionalnih matematičnih modelov ali pa fizičnih modelov.

V primerih, ko se načrtuje objekte, ki bistveno vplivajo na odočni režim, ali je zaradi povečanja poplavne nevarnosti in posledično ogroženosti drugih rab prostora tveganje lahko veliko, se k hidravličnemu modeliranju lahko pristopi z uporabo tako imenovanih hibridnih hidravličnih modelov, ko se poleg fizičnega modela izdela še matematični model. Na ta način se zagotovi ustrezno medsebojno dopolnjevanje že pri umerjanju in verifikaciji modelov vse do analiz in optimiziranja rešitev načrtovanega posega v prostor.

Pri hidravličnem modeliranju je treba v fazi vzpostavitve in umerjanja modela izvesti tudi analizo občutljivosti, s katero se ocenijo natančnost oziroma toleranca izračunov in tudi stopnja zaupanja v rezultate. Na ta način se lahko ustrezno kvantitativno oceni potrebna varnost, ki se upošteva tako pri izdelavi kart poplavne nevarnosti kot tudi pri samem načrtovanju objektov. Hkrati se opredeli izhodiščne podatke in robne pogoje z večjo občutljivostjo in vplivom na končne rezultate, katere je treba v hidravlični analizi podrobneje raziskati. Delo na umeščanju hidroelektrarn na Spodnji Savi se nadaljuje, zato bodo rezultati detajlnih raziskav objavljeni v prihodnje.

5 • LITERATURA

- Abbott, M. B., McCowan, A., Warren, I. R., Numerical Modelling of Free-Surface Flows that are two-dimensional in Plan, Proceedings of a symposium on Predictive Ability of Transport Models for Inland and Coastal Waters, Academic Press, 1981.
- Gosar, L., Rak, G., Steinman, F., Banovec, P., Z LIDAR-tehnologijo zajeta topografija v hidravličnih analizah vodotokov = Using LIDAR data in open channel hydraulic analysis, Gradbeni vestnik, maj 2007, let. 56, str. 115–123, graf. prikazi, 2007.
- Hubbard, M., E., On the accuracy of one-dimensional models of steady converging/diverging open channel flows, International journal for numerical methods in fluids, 2001, vol. 35, no. 7, pp. 785–808, 2001.

- Inštitut za hidravlične raziskave (IHR), Vmesno poročilo – projekt »Izvedba hibridnih hidravličnih modelov za območje spodnje vode HE Krško, območje HE Brežice in območje HE Mokrice, Naročniki: MOP, MG, GEN Energija, d. o. o., HSE, d. o. o., Občina krško, Občina Brežice, 2009.
- Metelko Skutnik, V., Šantl, S., Poplavna direktiva in prostorsko načrtovanje, 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, 8. december, Zbornik referatov (Mišičev vodarski dan), Maribor: Vodnogospodarski biro, 2008, str. 103–110, ilustr., 2008.
- Ministrstvo za okolje in prostor RS, Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti, Ur. list RS, št. 60/2007, 2007.
- Mueller, M., Steinman, F., Rak, G., Vpliv redčenja zarasti na obseg poplavne nevarnosti, 20. Mišičev vodarski dan 2009, Maribor, Zbornik referatov, Vodnogospodarski biro, str. 68–76, ilustr., 2009.
- Rajar, R., Hidravlika nestalnega toka, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 1980.
- Statistični urad RS, Uredba o uvedbi in uporabi enotne klasifikacije vrst objektov in o določitvi objektov državnega pomena, Ur. list RS, št. 33/2003, 2003.
- Steinman, F. in drugi, Recenzija PGD/PZI »Rekonstrukcija Dolenčevega jezua«, Naročnik: Ministrstvo za okolje in prostor RS, 2008.
- Steinman, F., Papež, J., Kozelj, D., Hazard mapping based on the new guidelines in Slovenia, Monitor 08, systems behind a safer environment, international conference on monitoring methods, the conference took place from 21st to 22nd February 2008 in A-8952 Irdning (Styria / Austria), Irdning, Agricultural Research and Education Centre, str. 55–62, 2008.
- Šantl, S., Makrokalibracija pri hidravličnem modeliranju vodooskrbnih sistemov, magistrsko delo, Ljubljana, 2007, str. 45, 2007.
- Vlada RS, Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, Ur. list RS, št. 89/2008, 2008.
- Willems, P., Christiaens, K., Vaes, G., Popa, D., Timbe, L., Berlamont, J., Feyen, J., Methodology for river flood modelling by the quasi two-dimensional approach, World Water and Environmental Resources (EWRI) Congress, Orlando, 20–24 mei 2001, 2001.

Varnostno opozorilo.

SIEGENIA-AUBI opozarja na morebitne napake v delih okovja drsnih vrat in drsnih oken.

»Drsniki«, ki so bili v letih 1994 do 1998 vstavljeni v okovje drsnih vrat in drsnih oken, so morda poškodovani oziroma imajo napako. Ti drsniki se lahko, tudi če so do sedaj brezhibno delovali, zlomijo. To lahko povzroči, da krilo pri uporabi oziroma v odprtem stanju pade iz okvirja in povzroči materialno škodo ali telesno poškodbo.

Predmet tega opozorila so izključno elementi, ki jih je možno odpreti z drsenjem IN z nagibom. Izključeni pa so elementi, ki se odpirajo samo z drsenjem ali pa samo z nagibom, ter vse ostale oblike odpiranja. Podrobnejše informacije, katera drsna vrata in okna imajo morda napako in kako odpraviti težavo, so vam na voljo na strani **www.siegenia-aubi.com**.

Nujno vam priporočamo, da zadevnih elementov ne odpirate in se nemudoma obrnete

na specializirano podjetje za drsna vrata in okna, ki lahko opravi zamenjavo drsnikov.

SIEGENIA-AUBI KG
Tehnika prezračevanja in stavbnega okovja
Industriestrasse 1–3, D-57234 Wilnsdorf
Telefaks: +49 271 393177 020
gleiterservice@siegenia-aubi.com

SIEGENIA AUBI®
SOLUTIONS INSIDE

STROKOVNA EKSURZIJA – DUBAJ 2010

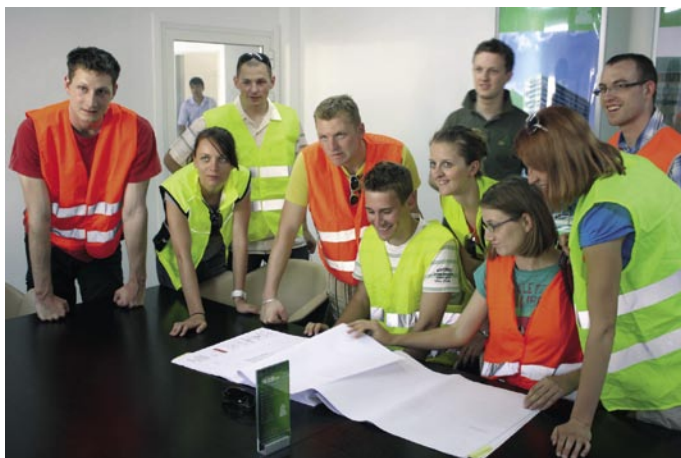
Mojca Jelančič
Domen Ivanšek
Goran Pregelj

Društvo študentov gradbeništva UL FGG je v terminu od 7. do 25. aprila 2010 izvedlo strokovno ekskurzijo Dubaj 2010. V času ekskurzije smo obiskali 11 gradbenih podjetij (Emaar Properties, Dutco Balfour Beatty Group, Unimix, Gulf Precast Concrete, Wade Adams, Fugro, Matcon Testing Laboratory, BMG Group, Arabtec, Mitsubishi Heavy Industries, Brookfield Multiplex) ter Univerzo Združenih arabskih emirats, med katerimi so nas mnogi popeljali tudi na svoja gradbišča oz. na že zgrajene objekte in končane projekte. Da se ob visokih dnevnih temperaturah, ki so dosegale tudi 40 °C, ne bi povsem

izčrpali, so nam dela prosti petki ponudili tudi tiste prave turistične meke Združenih arabskih emirats. Kopanje ob Burj Al Arabu, poziranje ob Burj Khalifi, nakupovanje v Dubai mallu, zlato in tekstilni tržnici, smučanje v Ski Dubai, spoznavanje zgodovine in kulture, vožnja z barko, molitev v Grande Mosque, vonjanje bencina na otoku Yas, pitje kave z zlato čokoladico v Emirates Palace, dirkanje po puščavi, ples s trebušno plesalko, kajenje šiše v Madinat Jumeirahu, dirka na Jebel Hafeetu, ZOO v Al Ainu, pitje vroče čokolade v Chilloutu in letenje na valobranu Palm Jumeirah ... Neprecenljivo.

Uvod v dubajsko dogodivščino je bil spektakularen, saj nas je vodilno naložbeno in nepremičninsko podjetje v Združenih arabskih emirats, Emaar Properties, sprejelo v loži najvišje stavbe na svetu, 828 metrov visoki Burj Khalifi. Sprehod mimo kulis, ki so bile posvečene zgodovini mesta, gradnji in simbolizmu tega edinstvenega objekta, nas je popeljal do najhitrejšega dvigala na svetu. Na razgledno ploščad, ki ponuja 360-stopinjski razgled na arabski zaliv iz 124. nadstropja, smo se vozili le 68 sekund, ob tem pa smo čutili le rahlo razliko spremembe nadmorske višine, ki je na cilju znašala 442 metrov.





Šele pogled iz zastekljene ploščadi nas je dokončno prepričal o veličastnosti stavbe. Mesto (in puščava, ki to ni več) je posejano z gradbišči, kljub temu pa se za prihodnost nadobudnih arhitektov, inženirjev in menedžerjev ni bati, saj je na voljo še precej nepozidanih zemljišč, ki le čakajo na nove svetovne rekorde v najvišjem, najdaljšem, najhitrejšem, naj, naj, naj ... Za zdaj je Burj Khalifa absolutna zmagovalka v vseh kategorijah.

Po končani avanturi na vrhu sveta smo obiskali poslovni kompleks podjetja Dutco Balfour Beatty Group. Najprej smo imeli predstavitev podjetja in projektov, nato pa so nas seznanili z varnostnimi ukrepi pri delu na gradbišču. Ugotovili smo, da je podaljšana različica naše »varnosti pri delu« tukaj izredno pomembna in stroga, kar so potrdili tudi vsi naši nadaljnji strokovni obiski. Sledil je ogled zanimivega središča za usposabljanje vseh zaposlenih podjetja DBB. Presenetljivo je dejstvo, da morajo usposabljanje v gradbenih delih (armiranje, betoniranje, opaževanje ...) opraviti tudi gradbeni inženirji ter upravitelji z gradbeno mehanizacijo. Nazadnje smo se sprehodili po njihovem obsežnem strojnem parku, kjer so vestno poudarjali pomembnost rednega vzdrževanja lastne opreme. Zanimivo je dejstvo, da 90 % produktov, ki jih potrebujejo za delo, proizvedejo sami.

Naslednji dan smo se odpravili na nekaj izmed njihovih gradbišč ter končanih projektov. Presenečeni smo bili nad hitrostjo gradnje 30-nadstropne stavbe, kjer s pomočjo velikega števila delavcev, samoplezajočih opažev in treh črpalk betona delajo 24 ur na dan in 7 dni v tednu do zaključka gradnje – v nadaljevanju ekskurzije smo sicer ugotovili, da to ni prav nič posebnega, saj tam spalnih uric ne poznajo. Sledil je še ogled gradnje marin, pri katerih so uporabili plavajoče betonske bloke – pontone, ki so bili pritrjeni na jeklene pilote, zabite v morsko dno, tako da se lahko prosto pomikajo v vertikalni smeri glede na plimovanje morja. Tretje podjetje, ki smo ga obiskali, je bilo Unimix – največja betonarna v Dubaju –, ki je med drugim razvilo tudi betonsko mešanico za izgradnjo najvišje stavbe na svetu in se postavlja z dvema izjemnima rekordoma. Prvi je v količini proizvedenega betona na dan na vrhuncu gradnje, ki znaša 7000 m³, in drugi izdelava betona kakovosti C100. Najprej so nam razkazali laboratorij za preizkušanje betona in nam razložili, katerih standardov se pri njih držijo. Zatem so nam predstavili proces spremljanja naročil, doziranja, mešanja, kontroliranja in transportiranja betonske mešanice na gradbišče.

Za obisk podjetja Gulf Precast, ki je največje podjetje za proizvodnjo betonskih prefab-

riciranih elementov v Združenih arabskih emiratih, smo se prvič podali v glavni emirat Abu Dhabi. Prvi dan obiska so nam predstavili svoje podjetje, prefabricirano gradnjo v Združenih arabskih emiratih in projekt izgradnje več kot 2000 vil v 24 mesecih. Nato smo si ogledali popolnoma avtomatizirano proizvodnjo prefabriciranih betonskih elementov, ki v času našega obhoda zaradi vzdrževalnih ukrepov ni obratovala. Drugi dan je bil bistveno napornejši, saj smo sprva obiskali kontrolni oddelek, nato pa gradbišči ženskega univerzitetnega kampusa ter nakupovalnega središča, kjer smo se seznanili z montažo prefabriciranih elementov in s težavami, ki takšen način gradnje spremljajo. Posebno pri slednjem gradbišču nas je presenetila popolna odsotnost toplotne izolacije.

Naslednji dan smo se srečali s podjetjem Wade Adams. Podjetje je specializirano predvsem za gradnjo mestne infrastrukture. Po predstavitvi podjetja smo s projektnim vodjo razpravljali še o razlikah med gradbeno prakso v Evropi in Združenih arabskih emiratih.

S predstavniki podjetja Fugro, ki se ukvarja z geotehničnimi deli, smo se srečali na gradbišču na ribji tržnici v Abu Dhabiju. Bili smo priča odvzemanju vzorcev iz geotehničnih vrtnin ter testov CPT. Popoldne



smo sodelovali na dnevu odprtih vrat Univerze Združenih arabskih emiratov iz Al Aina, kjer smo spoznali študij na njihovi univerzi, v sklopu programa pa smo v družbi dekanov, profesorjev ter študentov in pomembnejših imen gradbeništva Abu Dhabija ponosno predstavili Slovenijo in seveda našo Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Matcon Testing Laboratory je manjše podjetje, ki se ukvarja z raziskavami gradbenih materialov. Znotraj tega smo si ogledali njihove kemijske in mehanske laboratorije

in naprave za preizkušanje betonov, kovin ter zemljin.

Sledil je ščepec nam bližje evropske gradnje, projekt The Cube, katerega izvajalec je nemško podjetje BMG Group. Po predstavitvi tega nenavadnega hotela smo se napotili na objekt v izgradnji, kjer sta nas presenetili čistost in izredna urejenost gradbišča. To je bil tudi prvi projekt v okviru naše ekskurzije, ki je bil skoraj v celoti projektiran po evrokodih.

Tudi podjetje Arabtec je poskrbelo za zanimivosti: po predstavitvi podjetja in projektov

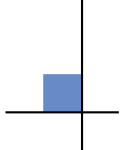
so naše »drobne nožice« stopile na gradbišči objektov Infinity Tower in Ocean Heights. Infinity Tower je stanovanjska stavba, ki ima obliko torzijsko zavitega stolpa, ki se iz pritličja do vrha zavrti za 90 stopinj. Zaradi tega razloga so obodni nosilni stebri nagnjeni in sledijo obliki stavbe, medtem ko so notranji v vsakem nadstropju zamaknjeni za 30 cm v smeri rotacije. To podjetje je specializirano za visoke gradnje in ima kljub finančni krizi v Dubaju odprtih več kot 50 gradbišč.

Kot predzadnje podjetje smo obiskali Mitsubishi Heavy Industries, ki je kot podizvajalec prometnega giganta, podjetja Roads and Transport Authority, opravljalo dela na projektu Dubai Metro. Izvedeli smo, da so med gradnjo imeli ogromno težav, predvsem zaradi sprotne spreminjanja želja investitorjev, pomanjkanja tehnične dokumentacije o infrastrukturnih vodih ter zahtevne arhitektonske in arhitekturne oblike postaj. Trenutno obratujeta rdeča linija ter posebna linija po stebelu Palm Jumeirah, gradnja druge, zelene linije je zaustavljena, načrtujejo pa še dve liniji.

Zadnji dan naše ekskurzije smo stopili v stik še z mednarodnim podjetjem Brookfield Multiplex, ki nas je še zadnjič popeljalo v nebo, in sicer na gradbiščih projektov Emirates Park Towers in Index Tower. Prvi projekt predstavljata dve stolpnici atraktivnih nazobčanih konzolnih oblik, ki bosta po izgradnji predstavljali najvišji hotel na svetu. Posebnost drugega objekta, Index Tower, je v tem, da nima masivnega nosilnega jedra kot večina drugih stolpnice. Konstrukcijski sistem tvori osem ogromnih stebrov, ki so povezani s tremi vmesnimi masivnimi ploščami.

Dubaj je mesto presežkov. Vsak stolpič ob glavni cesti skozi Dubaj, Sheikh Zayed Road, je nekaj posebnega, vendar v nepregledni množici stolpnice bogata zasnova in izjemna gradnja posameznih stavb popolnoma zbledita, dokler ne stojiš 350 metrov visoko na že armirani in nezaliti plošči naslednjega »najobjekta«. Nedvomno in potrjeno gre za primer nasilne urbanizacije, sploh ko se v misli prikrade slika Dubaja izpred 15 let, na kateri so edini prebivalci vasice sredi puščave ribiči v zalivih, ki skrbijo za vsakodnevni ulov, ki ga skromne arabske družine uživajo v svojih kolibah iz blata in palmovih listov. Puščavski čudež skozi oči mladega in nadobudnega gradbenika na eni strani pusti vtis, da ga ni lepšega kraja na zemeljski obli, a na drugi strani je kot strašno mesto duhov, polno presežkov, ki jih v veliki večini uživajo le pajki na zgajenih in prefinjeno detajliranih betonskih stropih. A za vse nas, ki smo Dubaj doživeli, še vedno pretehta tista prva in še vedno razmišljamo o vrnitvi nazaj. Dubaj 2011 ...





Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

RAZPISUJE V ŠTUDIJSKEM LETU 2010/11

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM 2. STOPNJE PROSTORSKO NAČRTOVANJE

TRAJANJE: 2 LETI

ŠTEVILO VPISNIH MEST: 30

NAČIN ŠTUDIJA: REDNI

PRIJAVA ZA VPIS: 10. 9. 2010

V magistrski študijski program 2. stopnje

PROSTORSKO NAČRTOVANJE se lahko vpiše:

- diplomant univerzitetnega študija prve stopnje Geodezija in geoinformatika;
- diplomant univerzitetnega študija prve stopnje drugih sorodnih študijev, pri čemer se mu lahko določi individualni premostitveni program v obliki diferencialnih izpitov v obsegu od 10 do 60 kreditnih točk po ECTS, ki jih individualno določi ŠO Oddelka za geodezijo UL, FGG;
- diplomant visokošolskega strokovnega študija prve stopnje Upravljanje nepremičnin, ki opravi kot diferencialna izpita izbirna predmeta visokošolskega strokovnega študija prve stopnje Upravljanje nepremičnin: Katastrsko urejanje zemljišč in Lokacijske storitve v skupnem obsegu 10 kreditnih točk; diferencialna izpita lahko opravi kot izbirna predmeta v času prvostopenjskega študija ali z opravljanjem izpitov pred vpisom v magistrski študij;
- diplomant dodiplomskega visokošolskega strokovnega študija Geodezije,
- diplomant sorodnega dodiplomskega visokošolskega strokovnega študija, pri čemer se mu lahko določi individualni premostitveni program v obliki diferencialnih izpitov v obsegu od 10 do 60 kreditnih točk po ECTS, ki jih individualno določi ŠO Oddelka za geodezijo UL, FGG glede na različnost strokovnega področja in jih kandidat opravi pred vpisom v magistrski študij.

NASLOV PO KONČANEM ŠTUDIJU:

**MAGISTER/MAGISTRICA PROSTORSKEGA
NAČRTOVANJA
mag. prost. načrt.**

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM 2. STOPNJE STAVBARSTVO

TRAJANJE: 2 LETI

ŠTEVILO VPISNIH MEST: 40

NAČIN ŠTUDIJA: REDNI

PRIJAVA ZA VPIS: 10. 9. 2010

V magistrski študijski program 2. stopnje

STAVBARSTVO se lahko vpiše, kdor je končal:

- študijski program prve stopnje s področja stavbarstva;
- študijski program prve stopnje z drugih strokovnih področij, če kandidat pred vpisom opravi študijske obveznosti, ki so bistvene za nadaljevanje študija v obsegu 10-60 KT - te obveznosti se določijo glede na različnost strokovnega področja, kandidati pa jih lahko opravijo med študijem na 1. stopnji, v programih za izpopolnjevanje ali z opravljanjem izpitov pred vpisom v magistrski študij;
- visokošolski strokovni študijski program Gradbeništvo pred uvedbo bolonjskih programov;
- visokošolski strokovni študijski program po starem programu z drugih strokovnih področij, če kandidat pred vpisom opravi študijske obveznosti, ki so bistvene za nadaljevanje študija v obsegu 10-60 KT, kandidati pa jih lahko opravijo med študijem na 1. stopnji, v programih za izpopolnjevanje ali z opravljanjem izpitov pred vpisom v magistrski študij.

NASLOV PO KONČANEM ŠTUDIJU:

**MAGISTER/MAGISTRICA
INŽENIR/INŽENIRKA
STAVBARSTVA
mag. inž. stavb.**

DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM 3. STOPNJE GRAJENO OKOLJE

TRAJANJE : 3 LETA

ŠTEVILO VPISNIH MEST: 45

NAČIN ŠTUDIJA: IZREDNI

PRIJAVA ZA VPIS: 1. 9. 2010

Na doktorski študijski program 3. stopnje

GRAJENO OKOLJE se lahko vpišejo diplomanti:

- študijskih programov druge stopnje.
- študijskih programov, urejenih z direktivami EU, če so ovrednoteni s 300 kreditnimi točkami, ali drugih enovitih magistrskih študijskih programov, ki so ovrednoteni s 300 kreditnimi točkami.
- dosedanjih študijskih programov za pridobitev specializacije, ki so pred tem končali visokošolski strokovni program in jim študijski odbor doktorskega študija UL FGG pred vpisom v doktorski študijski program tretje stopnje določi dodatne obveznosti v obsegu do 60 kreditnih točk.
- dosedanjih študijskih programov za pridobitev magisterija znanosti oziroma specializacije po končanem študijskem programu za pridobitev univerzitetne izobrazbe, ki se jim v doktorskem študijskem programu tretje stopnje priznajo študijske obveznosti v obsegu najmanj 60 kreditnih točk.
- dosedanjih študijskih programov za pridobitev univerzitetne izobrazbe, sprejetih pred 11. 6. 2004.

ZNANSTVENA PODROČJA:

**- GRADBENIŠTVO
- GEODEZIJA
- NAČRTOVANJE IN UREJANJE PROSTORA**

NASLOV PO KONČANEM ŠTUDIJU:

DOKTOR / DOKTORICA ZNANOSTI

INFORMACIJE: Referat za študijske zadeve UL FGG

ga. Elizabeta Adamlje, 1. nadstropje, soba 113, tel.: (01) 4768 534 ali epšta: elizabeta.adamlje@fgg.uni-lj.si

www.fgg.uni-lj.si

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Luka Žugič, Idejna študija kolesarske povezave G 25 na območju mesta Kočevje, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor viš. pred. dr. Peter Lipar

Maja Vochl Černe, Stabilnost brežin iz armirane zemljine na primeru zahodnega portala predora Markovec, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor doc. dr. Vojkan Jovičič

Tomaž Medved, Rekonstrukcija muzeja Železniki, mentor doc. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor Meta Kržan

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Mojca Gramec, Gradnja energetskih nasipov iz peska – študija izvedljivosti, mentor prof. dr. Bojan Majes, somentor viš. pred. dr. Ana Petkovšek

Andrej Puljak, Napovedovanje ravni prometne varnosti s pomočjo simulacijskih programov, mentor doc. dr. Tomaž Maher

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Helena Kolarek, Predlog za tehnološko-ekološko modernizacijo ravnanja z odpadki v osrednjeslovenski regiji, mentor izr. prof. dr. Viktor Grilc

Miha Melink, Termofilni anaerobni procesi, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor dr. Darko Drev

Veronika Savnik, Razvoj biofilma v membranskih bioreaktorjih, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor dr. Darko Drev

Blaž Blažič, Protipoplavna zaščita jugozahodnega dela Ljubljane, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor doc. dr. Andrej Kryžanowski

Boris Bruderman, Gradnja pomola III v Luki Koper, mentor izr. prof. dr. Janko Logar

Martin Pušnik, Ocena vplivov malih hidroelektrarn na vodotoke z uporabo večkriterijske analize, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor asist. dr. Nataša Smolar Žvanut

Brigita Bijol, Različni načini odvodnje onesnažene vode iz naselja Dolenja vas, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Tomaž Ervin Schwarzbartl, Zasnova baze podatkov in predlog metodologije za določitev prioritete obnove kanalizacijskega omrežja, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan

MAGISTRSKI ŠTUDIJ PROSTORSKEGA IN URBANISTIČNEGA PLANIRANJA

Kristina Onufrija, Strokovne osnove s področja demografije za potrebe prostorskega načrtovanja na občinski ravni, mentor prof. dr. Lojze Gosar

DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Eva Zupan, Dinamika prostorskih nosilcev s kvaternionsko parametризacijo rotacij, mentor prof. dr. Miran Saje, somentor izr. prof. dr. Igor Planinc

Jaka Dujc, Metoda končnih elementov za račun mejne nosilnosti in lokalizirane porušitve ploskovnih konstrukcij, mentor izr. prof. dr. Boštjan Brank

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Mateja Arcet, Masivni sistemi lesene stanovanjske gradnje in analiza brunarice, mentor red. prof. dr. Miroslav Premrov, somentor Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.

Dejan Ramšak, Armiranobetonska montažna gradnja objekta na Litostrojski cesti v Ljubljani, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor doc. dr. Nataša Šuman

Uroš Vogrinc, Primerjalna analiza stropa filigran s klasičnim armiranobetonskim stropom, mentor red. prof. dr. Branko Bedenik, somentor viš. pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

Goran Korošec, Kanalizacija v delu naselja Plintovec, mentorja izr. prof. dr. Renata Jecl – FG in doc. dr. Andreja Lutar Skerbinjek – EPF

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

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: gradb.zveza@siol.net.

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

KOLEDAR PRIREDITEV

21.-23.7.2010

ICSA 2010

International Conference on Structures and Architecture

Guimares, Portugalska

www.arquitectura.uminho.pt

3.-6.8.2010

SMSB 10

8th International Conference on

Short and Medium Span Bridges 2010

Niagara Falls, Ontario, Kanada

www.csce.ca/2010/smsb

8.-10.8.2010

Advances in Bridge Engineering – II

Daka, Bangladeš

www.iabse-bd.org

16.-17.9.2010

First international workshop

Design of concrete structures using EN 1992-1-1

Praga, Češka

<http://concrete.fsv.cvut.cz/dcs2010/>

22.-24.9.2010

34th IABSE Annual Meetings and

IABSE Symposium

Benetke, Italija

www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

30.9.-1.10.2010

6th "CCC" Central European Congress on Concrete Engineering

Marianske Lazne, Češka

www.cbsbeton.eu/en/ccc2010

7.-8.10.2010

SDGK 2010

32. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Bled, Slovenija

www.sdgk.si

10.-11.10.2010

**7th International Workshop on Design and Performance
of Sustainable and Durable Concrete Pavements**

Sevilla, Španija

www.vbk.tudelft.nl

11.-12.10.2010

ASBI 22nd Annual Convention

Vancouver, Kanada

www.asbi-assoc.org/news/convention

13.-15.10.2010

11th International Symposium on Concrete Roads

Sevilla, Španija

www.2010pavimentosdehormigon.org/content.php

15.11.-16.11.2010

**State-of-the-art Bridge Deck Erection: Safe and Efficient Use
of Special Equipment**

Bangkok, Tajska

www.iabse.org/pdf/Bangkok-invitation.pdf

8.-10.6.2011

**fib Symposium: "Concrete engineering for excellence
and efficiency"**

Praga, Češka

www.fib2011prague.com

15.-17.6.2011

ICMS 2011

12th International Conference on Metal Structures

Wroclaw, Polska

www.icms2011.pwr.wroc.pl/index_pliki/Page300.htm

10.-15.7.2011

**13th International Conference on
Wind Engineering**

Amsterdam, Nizozemska

www.icwe13.org

1.-4.8.2011

**ICASP 11 - The International Conference on Applications
of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP)**

Zürich, Švica

www.icasp11.ethz.ch

7.-11.8.2011

**9th Symposium on High Performance Concrete
Design, Verification and Utilization**

Christchurch, Nova Zelandija

www.hpc-2011.com

20.-23.9.2011

**IABSE Annual Meetings and
IABSE Symposium**

London, Anglija

www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

22.-25.10.2011

**The Third International Congress and Exhibition
PCI Annual Convention/Exhibition & National Bridge
Conference**

Salt Lake City, Utah, ZDA

<https://netforum.pci.org/eweb/startpage.aspx?site=2010conv&design=no>

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