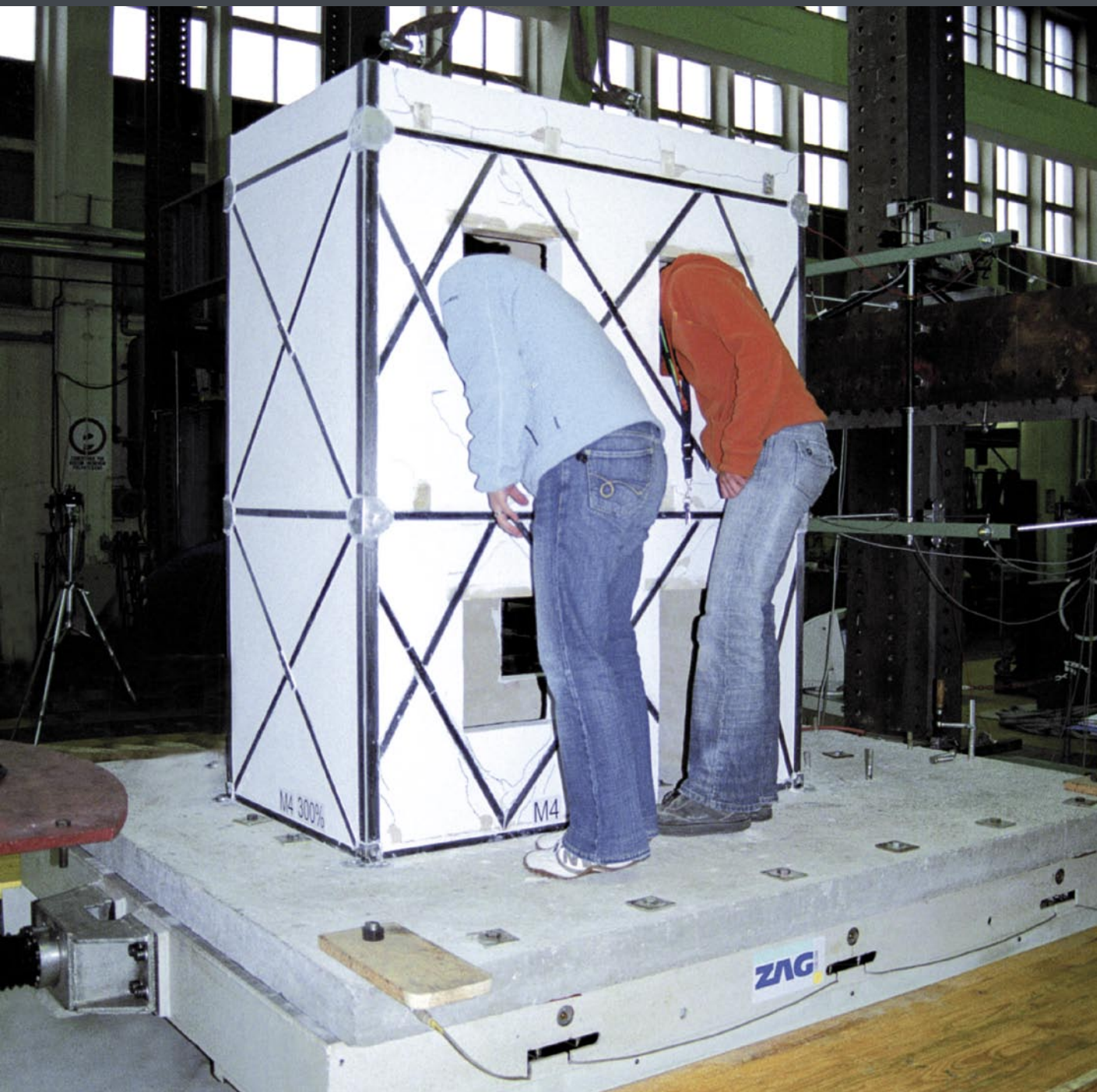






Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774
Ljubljana, september 2008, letnik 57, str. 229-264

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 raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, 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:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočeviski tisk

Naklada:

3050 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 števk. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojence 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 vstrel DDV.

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

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledki med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEPI in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.
- Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran **230**

dr. Roman Kunič, univ. dipl. inž. grad.

prof. dr. Boris Oreš, univ. dipl. inž. fiz.

POSPEŠENO STARANJE IN DOLOČEVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE GRADBENIH MATERIALOV – 2. DEL: POSPEŠENO STARANJE BITUMENSKIH TRAKOV

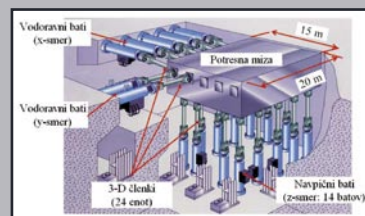
ACCELERATED AGEING AND SERVICE LIFE PREDICTION
OF BUILDING MATERIALS – 2nd PART: ACCELERATED AGEING
OF BITUMINOUS SHEETS



stran **238**

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

PREISKAVE MODELOV ZIDANIH STAVB NA POTRESNI MIZI SHAKING-TABLE TESTS OF MASONRY BUILDING MODELS



stran **257**

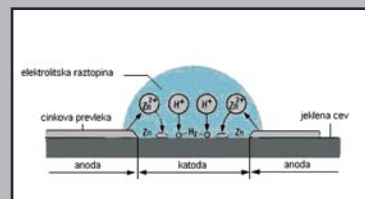
dr. Darko Drev, univ. dipl. inž. kem.

Mitja Peček, univ. dipl. inž. vki.

izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

PREGLED UPORABE RAZLIČNIH MATERIALOV ZA VODOVODNE CEVI TER POTENCIALNE MOŽNOSTI ONESNAŽEVANJA VODE ZARADI NJIHOVE SESTAVE

THE OVERVIEW OF THE USE OF DIFFERENT MATERIALS FOR PIPES
OF WATER DISTRIBUTION SYSTEMS AND POTENTIAL POSSIBILITY
OF THE POLLUTION OF WATER DUE TO THEIR COMPONENTS



Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Pregled poškodb v notranjosti modela na potresni mizi, foto Izток Klemenc

POSPEŠENO STARANJE IN DOLOČEVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE GRADBENIH MATERIALOV – 2. del: POSPEŠENO STARANJE BITUMENSKIH TRAKOV

ACCELERATED AGEING AND SERVICE LIFE PREDICTION OF BUILDING MATERIALS – 2nd Part: ACCELERATED AGEING OF BITUMINOUS SHEETS

dr. Roman Kunič, univ. dipl. inž. grad.

FRAGMAT TIM, d. d., Oddelek za raziskave in razvoj,
Laško, Slovenija

prof. dr. Boris Orel, univ. dipl. inž. fiz.

KEMIJSKI INŠTITUT, Hajdrihova 19, Ljubljana, Slovenija

Znanstveni članek

69.059.4:691.16

Povzetek | V razvojni nalogi želimo določiti povezavo med življenjsko dobo bitumenskih hidroizolacijskih trakov in posredno hidroizolacijskih sistemov. Za teoretično podporo eksperimentalnemu testiranju bitumenskih trakov pri povišani temperaturi in različnih časih izpostavljenosti nam bo služil Arrheniusov zakon pospešenega staranja.

Summary | The primary objective of the research is to define the connection between the service life of bituminous sheets. The Arrhenius law of accelerated testing will be used as the theoretical support to experimental testing of bituminous sheets at high temperature and different exposure times.

1 • UVOD

Praksa v gradbeništvu – v času gradnje in predvsem v času uporabne dobe objektov – kaže, da obstajajo veliki problemi s trajnostjo in zanesljivostjo materialov, elementov in sistemov. Vse pogostejše odpovedujejo posamezni elementi, nekatere funkcije ali celo celotni sistemi. Na tak način povzročena gospodarska škoda je tako za stavbe kot tudi

za gradbene inženirske objekte izredno velika. Opažamo tudi, da so življenjske dobe objektov vse krajše, poraba energije ter obremenjevanje okolja pa vse večja.

Ne preseneča dejstvo, da se je v zadnjih letih število raziskav na teoretičnem in uporabnem nivoju, na področjih pospešenega staranja in določevanja življenjskih dob ter vrednotenja

življenjskih ciklusov konstrukcijskih sklopov na znanstveni kot tudi na aplikativni ravni izredno razmahnilo. Prav ta aktualnost in pereča problematika kakovosti materialov, konstrukcijskih sklopov in sistemov v gradbeništvu sta poglavitna razloga, da bi na tem področju naredili raziskovalno delo in z izsledki prispevali k razvoju znanosti ter predvsem zaradi izredne uporabne naravnosti k razvoju industrije, projektive, vgrajevanja in storitev gradbene operative ter tako posledično z rezultati in do-gnanji koristili investitorjem in uporabnikom.

2 • VREDNOTENJE POSPEŠENEGA STARANJA IN NAPOVEDOVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE BITUMENSKIH TRAKOV

Pospešeno staranje bitumenskih trakov v skladu s standardoma SIST EN 1296 in SIST EN 1297 traja celo 24 tednov (skoraj pol leta) pri $+70,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Testiranje je izredno dolgotrajno in poteka pri relativno nizki temperaturi, ki ne predstavlja velike obremenitve za staranje velike večine bitumenskih trakov. Zato smo si za cilj zadali določitev takšne temperature pospešenega staranja, ki bi omogočila standardnemu postopku primerljivo pospešeno staranje v krajšem obdobju, na primer v nekaj tednih. S pomočjo eksperimentalnih razisko-

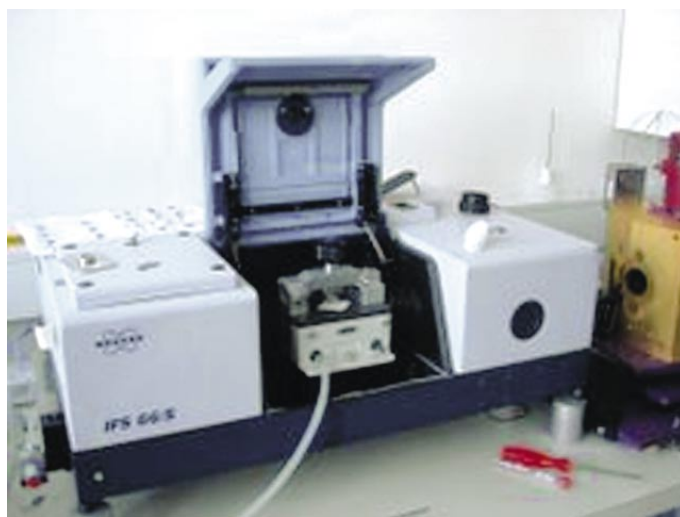
nimi polimernimi dodatki, poznanimi pod imenom ataktični polipropilen in okrajšavo APP (komercialna oznaka IZOTEKT T4 PLUS), in bitumenskih trakov, modificiranih z elastomernimi polimernimi dodatki, t.i. stiren-bitadilen-stiren s kratico SBS (proizvod z imenom IZOELAST T4 PLUS). Oba s polimernimi dodatki modificirana trakova sta v skladu s standardi SIST EN 13969, SIST EN 13707 in SIST 1031. Vsi preskušani bitumenski trakovi pa vsebujejo tudi dodatke iz mineralnih polnil in ustrezni nosilec, ojačitev ali armaturo iz steklenega

2.1 Upogljivost pri nizkih temperaturah

Določevanje upogljivosti pri nizkih temperaturah bitumenskih trakov predpisuje standard SIST EN 1109: 2000. Upogljivost je definirana kot temperatura, pri kateri bitumenski trak lahko zvijemo okrog trna (slika 1), ne da bi se pri tem pojavile razpoke. Predpisana je priprava vzorca (s površine moramo odstraniti zaščitno PE-folijo), način ohlajevanja vzorcev (v temperaturno regulirani kopeli), hitrost gibanja trna ($360 \pm 40\text{ mm/min.}$) kot tudi osvetlitev in drugi pogoji ob subjektivni oceni pojava razpok



Slika 1 • Določevanje upogljivosti bitumenskih trakov pri nizkih temperaturah



Slika 2 • Infrardeči spektrometer BRUKER IFS 66/S

vanj, z upoštevanjem Arrheniusove teorije pospešenega staranja in ugotovitvijo interakcije med časom in temperaturo staranja bomo določili aktivacijsko energijo in s pomočjo nje izračunali staranje ob različnih temperaturah ali poljubnem času staranja. Ti rezultati bi nam koristili pri kontroli kakovosti, dokazovanju odpornosti na staranje in določevanju življenjske dobe za izdelke bitumenskih trakov, katerih karakteristike bi lahko na tak način določevali v znatno krajšem času.

Izvedli smo testiranja pospešenega staranja oksidiranih bitumenskih trakov (komercialna oznaka IZOTEM V4 in v skladu s standardom SIST EN 13969 in SIST 1031), bitumenskih trakov, modificiranih s plastomer-

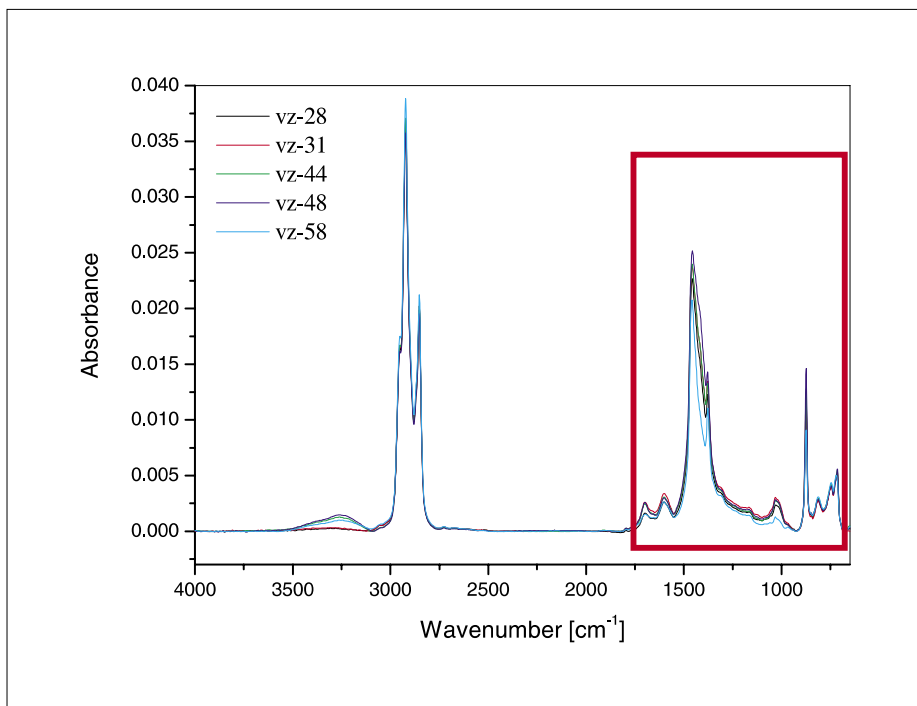
voala (oznaka V) gramature $\sim 50\text{ g/m}^2$ ali iz steklene tkanine (oznaka T) gramature $\sim 200\text{ g/m}^2$. Obojestranska površinska zaščita proti zlepljenju med skladiščenjem in transportom je v vseh primerih omenjenih bitumenskih trakov HDPE folija debeline $\sim 7\text{ }\mu\text{m}$, ki je za namen meritev in staranja odstranjena s površine.

Postopek staranja smo izvajali v pečici – sušilniku (tip ELEKTROMEHANIKA LABONOVA ST 80) v podjetju FRAGMAT IZOLIRKA v Ljubljani. Pospešeno staranje je potekalo pri $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Primerjavo smo izvajali s staranjem istih vzorcev pri sobni temperaturi (na $+21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$), torej brez pospešenega staranja.

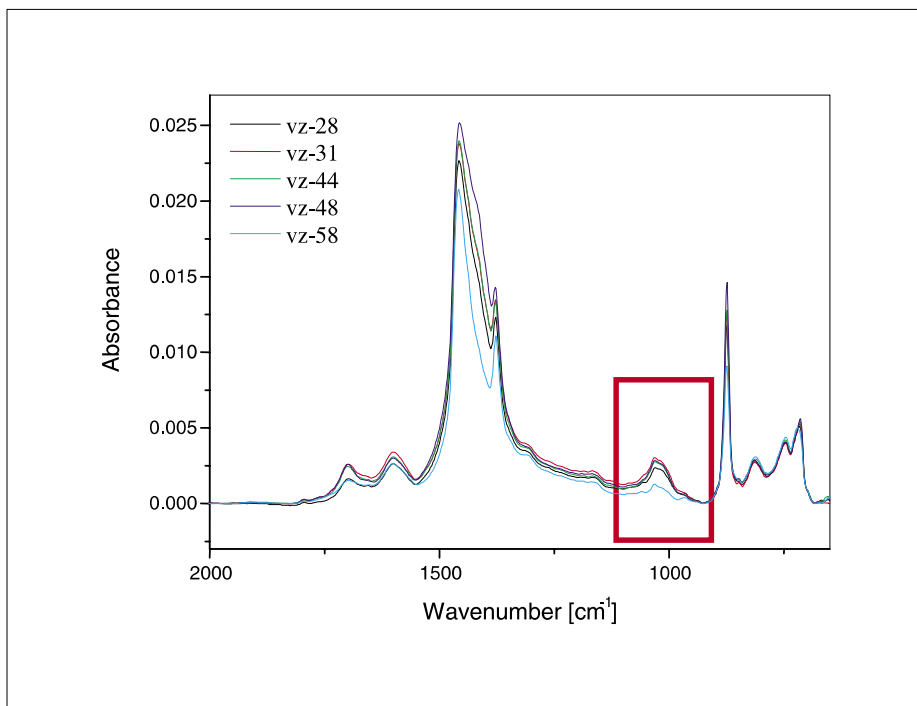
na vzorcu. Meritve upogljivosti pri nizkih temperaturah smo opravljali z opremo zamrzovalne skrinje za ohlajanje vzorcev do $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ proizvajalca Gorenje, Velenje, meritev prstan kroglica P/K na aparatu FOCHLER P/K Automat in določevanja upogljivosti pri nizkih temperaturah z aparatom izdelave po naročilu in umerjanju na ZAG Ljubljana.

2.2 Spektralna analiza

Meritve spektralne analize smo opravljali na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. Tip spektrometra je BRUKER IFS 66/S (slika 2). Omenjena aparatura omogoča metodo meritve z oslavljenim popolnim odbojem (Attenuated Total Reflectance – ATR). Uporablja se za analizo površin snovi in za



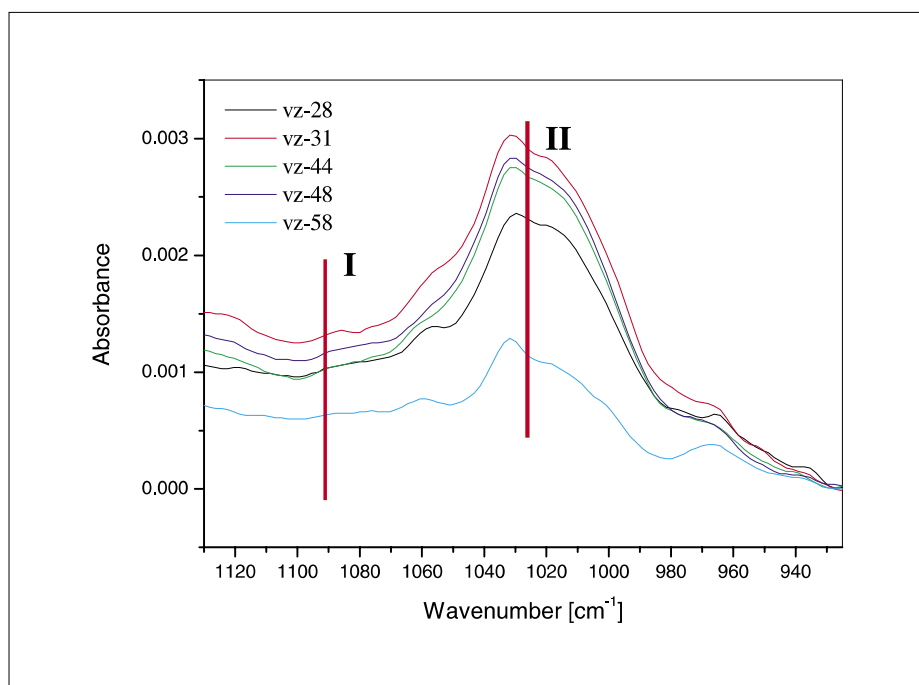
Slika 3 • Spektralna analiza staranja bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov (območje od 4000 do 650 cm^{-1}). IR-spektri vzorcev ustrezajo tretiranju vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 28 (+90 °C, 10 dni, črna krivulja), vzorec 31 (+90 °C, 12 dni, rdeča krivulja), vzorec 44 (+80 °C, 16 dni, zelena krivulja), vzorec 48 (+80 °C, 21 dni, temnomodra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlomodra krivulja)



Slika 4 • Spektralna analiza staranja bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov (območje od 2000 do 650 cm^{-1}). IR-spektri vzorcev ustrezajo tretiranju vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 28 (+90 °C, 10 dni, črna krivulja), vzorec 31 (+90 °C, 12 dni, rdeča krivulja), vzorec 44 (+80 °C, 16 dni, zelena krivulja), vzorec 48 (+80 °C, 21 dni, temnomodra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlomodra krivulja)

karakterizacijo spojin, ki so pretanke ali pa preveč močno absorbirajo infrardečo (IR) svetlobo, da bi jih analizirali s transmisijsko tehniko spektroskopije. Tehnika temelji na Newtonovih preučevanjih popolnega odboja svetlobe na fazni meji med dvema snovema z različnima lomnima količnikoma. Med kristali ATR in vzorcem moramo imeti dober stik. Kljub notranjemu odboju IR-žarka na fazni meji med optično gostejšo snovjo (ATR-kristal) in optično redkejšim vzorcem del tega žarka nekoliko penetrira v vzorec. S tem pa odbita svetloba nosi informacijo o absorpcijskem spektru merjenega vzorca. Dobljeni spekter je odvisen od veliko parametrov: lomnega količnika ATR-kristala in vzorca, vpadnega kota svetlobe, debeline in površine vzorca, števila odbojev in valovne dolžine svetlobe. Svetloba z daljšo valovno dolžino globlje penetrira v vzorec, posledica tega je, da so izmerjeni IR-trakovi pri daljših valovnih dolžinah intenzivnejši kot trakovi pri krajših valovnih dolžinah v ATR-spektru iste snovi. Ker se globina penetriranja lahko spreminja s spreminjanjem ATR-kristala ali vpadnega kota, je na ta način možno dobiti globinski profil površine (Ješe, 2006) (sliki 3 in 4).

Vertikalni liniji I in II (slika 5) označujeta vibracijske trakove, ki v IR-spektrih nakazujejo spremembe v strukturi vzorcev, do katerih pride pri pospešenem staranju. Tekom procesa pospešenega staranja se pojavljajo spremembe v spektrih, ki so velike in odražajo veliko degradacijo materialov. Za te vzorce določitev vrednosti aktivacijskih energij ni smiselna. Zato nam je analiza IR-spektrov omogočila izluščiti tiste vzorce, katerih pospešeno staranje še vodi k stabilnemu, čeprav zaradi pospešenega staranja že deloma razgrajenemu materialu. To smo preverili z izračunom (enačbi 2 in 3) aktivacijskih energij različnih parov vzorcev, staranih na različne načine. Tako je na primer za vzorec št. 44, staran 16 dni na +80 °C, in vzorec št. 28, staran 10 dni na +90 °C, možno določiti v skladu z enačbama (2 in 3) aktivacijsko energijo 50,119 kJ/mol (preglednica 1, 9. kriterij). Prav tako smo tudi za vzorec št. 48, staran 21 dni na +80 °C, in vzorec št. 31, staran 12 dni na +90 °C, z analognim izračunom dobili podobno vrednost aktivacijske energije 59,675 kJ/mol (preglednica 1, 10. kriterij). Ostali, preveč degradirani vzorci pa nudijo neadekvatne (prevelike ali premajhne) vrednosti za aktivacijsko energijo, še posebej, če te vrednosti



Slika 5 • Spektralna analiza staranja bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov (območje od 2000 do 650 cm^{-1}). IR-spektri vzorcev ustrezajo tretiranju vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 28 (+90 °C, 10 dni, črna krivulja), vzorec 31 (+90 °C, 12 dni, rdeča krivulja), vzorec 44 (+80 °C, 16 dni, zelena krivulja), vzorec 48 (+80 °C, 21 dni, temnomodra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlomodra krivulja)

primerjamo z aktivacijskimi vrednostmi, dobljenimi iz primerjave mehanskih lastnosti vzorcev. Pregled IR-spektrov ostalih, prekomerno starih vzorcev, ki so bili starani bodisi dalj časa in pri previsokih temperaturah, v primerjavi z nestaranimi

ali pri zmernih pogojih staranimi vzorci kažejo nove dodatne vibracijske trakove. Za te vzorce so aktivacijske energije drugačne od tistih, ki opisujejo staranje materiala glede na predpisano življenjsko dobo, in jih zato ne upoštevamo pri analizi.

2.3 Določitev mejne vrednosti funkcionalnosti

Smatramo, da je primarna funkcija in najpomembnejša zahteva bitumenskih trakov vodonepropustnost. Sama vodonepropustnost celotnega hidroizolacijskega konstrukcijskega sklopa je odvisna tudi od kakovosti vgradnje, detajlov izvedbe, rešitve križanj konstrukcijskih sklopov, priključkov in podlage. Pri bitumenskih izdelkih, namenjenih hidroizolacijam, težko določimo dotrajanost izdelka ali sistema v odstotkih. Zato smo kot kriterij izbrali upogljivost bitumenskih trakov pri nizkih temperaturah. Izbrali smo več kriterijev za mejno vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah, tako da smo privzeli še sprejemljive vrednosti pri temperaturah: -4 °C, +/-0 °C, +4 °C, +5 °C, +8 °C, +12 °C in +15 °C. Za popolno dotrajanost oziroma razpad izdelkov smo določili vrednosti upogljivosti pri nizkih temperaturah večje kot +22 °C. Po naši predpostavki izdelek z višjo vrednostjo, torej s slabšo odpornostjo na upogljivost pri nizkih temperaturah, ne opravlja svoje primarne funkcije vodonepropustnosti in odpornosti na tlak v celoti. Menimo, da kot tak ni primeren za izvedbo hidroizolacij v skladu z zahtevami standardov SIST EN 13969, SIST EN 13707 in SIST 1031. Kot kriterij drugega postopka ugotavljanja dotrajanosti materiala smo izbrali spremembe v diagramih spektralnih analiz starih vzorcev bitumenskih trakov, kjer smatramo, da je izdelek pri pojavu znatnih sprememb v spektrografu dotrajan.

3 • POSPEŠENO STARANJE BITUMENSKIH TRAKOV

Degradacijo ob povišani temperaturi določimo na sledeči način ((Carlsson et al., 2001), (Carlsson et al., 2004), (Köhl et al., 2004)):

$$a_T = \frac{k_2}{k_1} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = e^{-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)}$$

$$e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = e^{\frac{E_a}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}} \quad (1)$$

a_T koeficient pospešitve staranja zaradi degradacije ob povišani temperaturi (-)

k_1 specifična stopnja reakcije ob testiranju (s^{-1})

k_2 specifična stopnja reakcije ob normalni ali delovni uporabi (s^{-1})

τ_1 čas do degradacije ob testni temperaturi pospešenega staranja (sekunda, minuta, ura, dan, teden, mesec, leto)

τ_2 čas do degradacije ob delovni temperaturi, torej ob normalni uporabi (ura, dan, teden, mesec, leto, desetletje, stoletje)

T_1 temperatura ob testiranju (K)

T_2 temperatura ob uporabi ali delovna temperatura (K)

E_a aktivacijska energija (J mol^{-1})

R plinska konstanta ($8,314472 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

$$a_T = \frac{\tau_1}{\tau_2} = e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (2)$$

$$E_a = \frac{R \ln a_T}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (3)$$

V skladu z enačbami (enačbe 1, 2 in 3) lahko s postopkom pospešenega staranja pri dveh ali več različnih temperaturah, temu seveda tudi posledično dveh ali več različnih časih izpostavljenosti, izračunamo aktivacijsko energijo. Ta nam služi kot izhodišče za določevanje življenjskih dob ob določeni temperaturni obremenitvi ali pa določevanje temperature uporabe za določeno časovno periodo izpostavljenosti.

Št.	Kriterij	Staranje pri nižji temperaturi			Staranje pri višji temperaturi			Aktivacijska energija E_a (kJ/mol)
		Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	
1	upogljivost pri -4 °C	70	63 & 64	10	90	21	3	62.376
2	upogljivost pri +/-0 °C	70	65 & 66	20	90	23	6	62.376
3	upogljivost pri +4 °C	80	44	16	90	25	9	61.355
4	upogljivost pri +4 °C	80	46	18	90	28	10	62.679
5	upogljivost pri +4 °C	70	69 & 70	29	90	25	9	60.619
6	upogljivost pri +4 °C	70	69 & 70	29	80	44	16	59.925
7	upogljivost pri +8 °C	80	48	21	90	36	14	43.237
8	upogljivost pri +8 °C	80	50	25	90	36	14	61.830
9	spektralna analiza	80	44	16	90	28	10	50.119
10	spektralna analiza	80	48	21	90	31	12	59.675
Povprečna vrednost: 58.419								

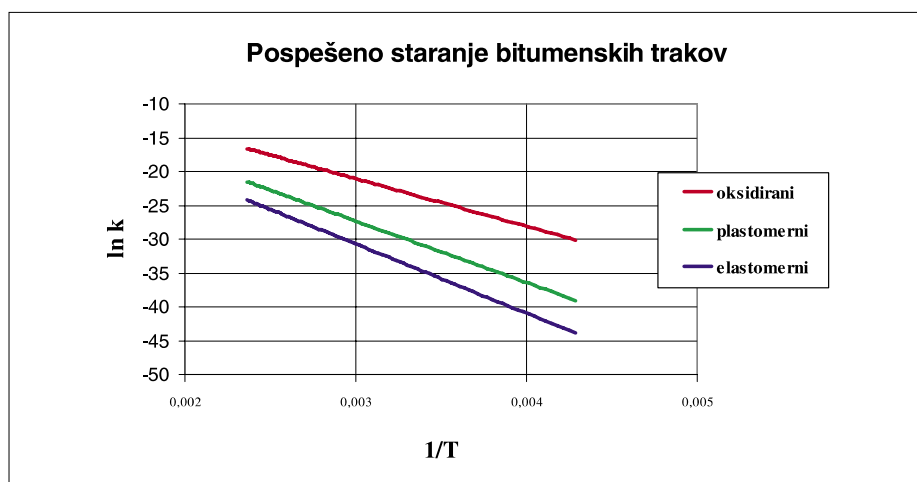
Preglednica 1 • Aktivacijska energija bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov

Št.	Kriterij	Staranje pri nižji temperaturi			Staranje pri višji temperaturi			Aktivacijska energija E_a (kJ/mol)
		Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	
1	upogljivost pri +12 °C	100	202	1	110	261	0,5	82.402
2	upogljivost pri +12 °C	100	203	2	110	262	1	82.402
3	upogljivost pri +15 °C	100	205	3	110	264	2	48.202
4	upogljivost pri +15 °C	100	206	5	110	264	2	108.929
5	upogljivost pri +15 °C	100	206	5	110	265	2,5	82.402
6	upogljivost pri +15 °C	100	206	5	110	266	3	60.727
7	upogljivost pri +15 °C	100	207	7	110	266	3	100.727
8	upogljivost pri +15 °C	100	207	7	110	267	5	40.000
Povprečna vrednost: 75.724								

Preglednica 2 • Aktivacijska energija bitumenskega traku, modificiranega s plastomernimi (APP) dodatki

Št.	Kriterij	Staranje pri nižji temperaturi			Staranje pri višji temperaturi			Aktivacijska energija E_a (kJ/mol)
		Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	
1	upogljivost pri +/-0 °C	100	411	21	110	470	10	88.202
2	upogljivost pri +/-0 °C	100	411	21	110	471	12	66.527
3	upogljivost pri +/-0 °C	100	412	28	110	471	12	100.727
Povprečna vrednost: 85.152								

Preglednica 3 • Aktivacijska energija bitumenskega traku, modificiranega z elastomernimi (SBS) dodatki



Slika 6 • Pospešeno staranje bitumenskih trakov prikazano kot 'ln(k)' v odvisnosti od '1/T'

Iz tako pridobljenih rezultatov (preglednice 1, 2 in 3) razberemo, da je vrednost aktivacijskih energij za izdelke iz oksidiranih bitumnov ($E_a = 58,4$ kJ/mol) (Kunič, 2007), za izdelek iz plastomernih bitumnov ($E_a = 75,7$ kJ/mol) in za trakove, modificirane z elastomernimi dodatki ($E_a = 85,2$ kJ/mol). Iz tako dobljenih vrednosti aktivacijskih energij lahko predvidimo obnašanje izdelkov ob izpostavljanju pri drugih temperaturah. Pri tem se moramo zavedati, da ekstrapolacija na večje temperaturne intervale ni natančna, kajti v teh primerih postaja vpliv v Arrheniusovi enačbi zanemarljivega temperaturno odvisnega predeksponentnega faktorja vse večji, dobljeni rezultati pa vse bolj nenatančni. Rezultate dobljenih aktivacijskih energij lahko prikažemo v skladu z Arrheniu-

staranje (tednov)	1*	2*	3*	5*	6	9	12	15	18	21	24
staranje (let)	0,019	0,038	0,058	0,096	0,115	0,173	0,231	0,288	0,346	0,404	0,462
oksidirani bitumen (°C)	133,1	117,4	108,8	98,5	94,9	87,3	82,0	78,1	74,9	72,3	70,0
plastomerni dodatki (°C)	116,7	105,4	99,2	91,6	88,9	83,2	79,2	76,2	73,8	71,7	70,0
elastomerni dodatki (°C)	101,8	94,4	90,1	85,0	83,2	79,2	76,5	74,4	72,7	71,2	70,0

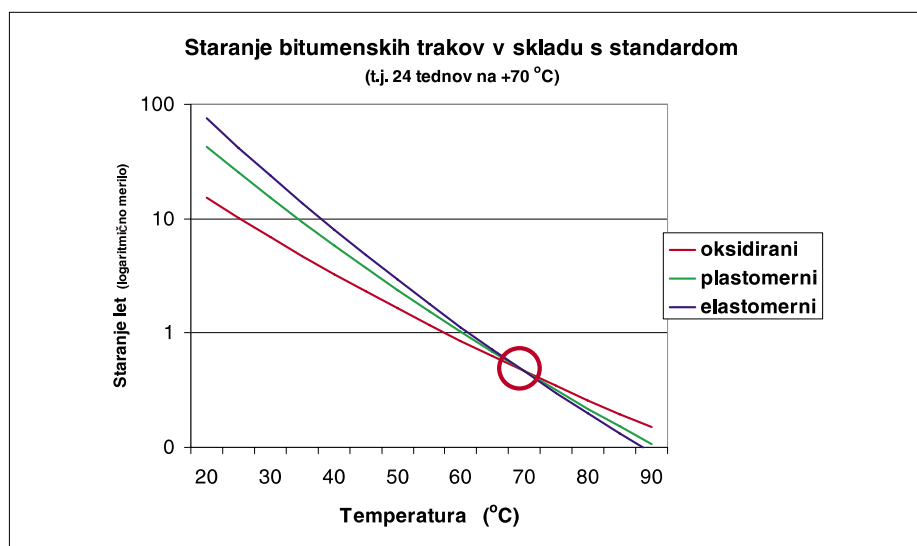
* Ker se dogajajo nepovratne poškodbe (kemijska razgradnja), bitumenskih izdelkov ne smemo dolgotrajno izpostaviti tako visokim temperaturam.

Preglednica 4 • Ekstrapolacija pospešenega staranja v skladu s standardom na krajša časovna obdobja

staranje (let)	0,462	1	2	3	5	8	10	12	15*	20*
oksidirani bitumen (°C)	70,0	57,5	47,1	41,3	34,2	28,0	25,2	22,9	20,1	16,7
plastomerni dodatki (°C)	70,0	60,3	52,0	47,4	41,7	36,7	34,4	32,5	30,2	27,3
elastomerni dodatki (°C)	70,0	63,1	57,1	53,7	49,5	45,7	44,0	42,6	40,9	38,7

*Vprašljiva je natančnost ekstrapolacije na tako dolge življenjske dobe staranja.

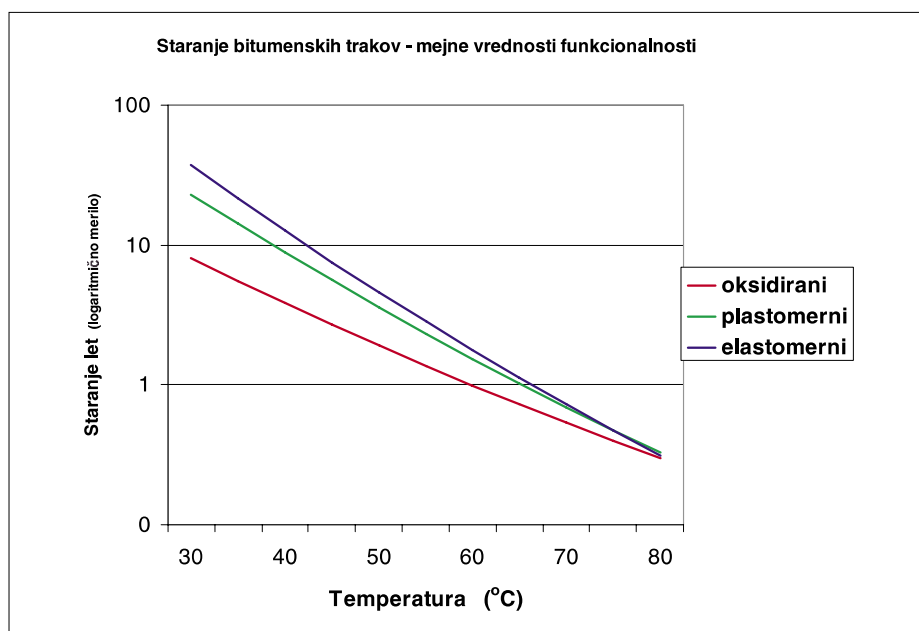
Preglednica 5 • Ekstrapolacija pospešenega staranja v skladu s standardom na daljša časovna obdobja



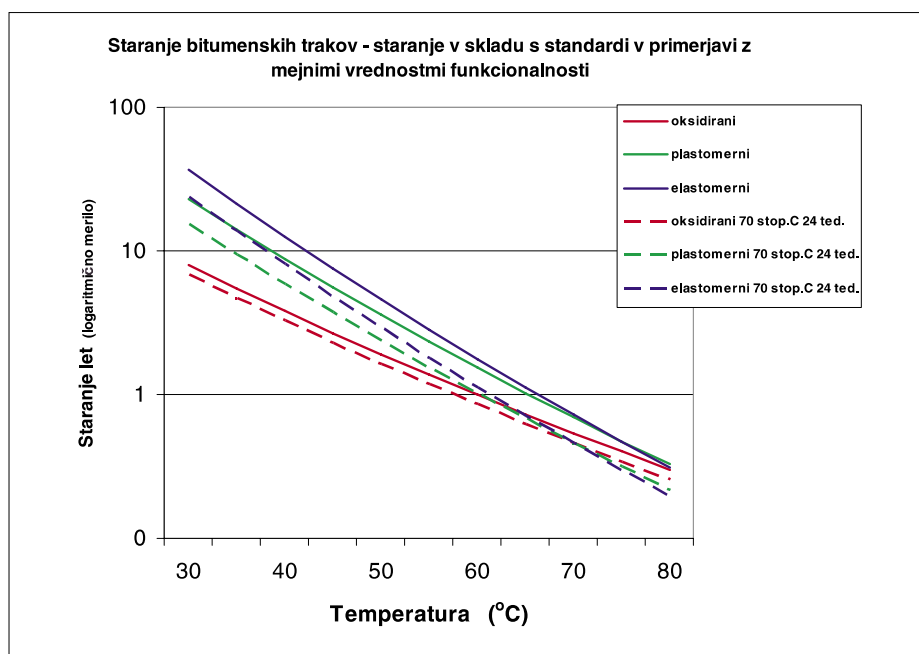
Slika 7 • Staranje bitumenskih trakov odvisnosti od temperature v skladu s standardom (temperatura 70 °C in časovno obdobje 24 tednov)

sovim zakonom v grafični obliki, to je z diagramom $\ln(k)$ v odvisnosti od $1/T$ (slika 6). Podobno lahko izvedemo, v skladu s teorijo pospešenega staranja, tudi ekstrapolacijo na daljšo dobo izpostavljenosti.

Po standardu (SIST EN 1296 in SIST EN 1297) traja postopek staranja bitumenskih trakov za namembnost hidroizolacije ravnih streh 24 tednov pri +70,0 °C. V kolikor želimo pospešiti staranje (preglednica 4), potem bi morali za skrajšano obdobje 12 tednov dvigniti temperaturo staranja na +82,0 °C za bitumenski trak iz oksidiranih bitumnov (Kunič, 2007), na 79,2 °C za trakove iz plastomernih bitumnov in na 76,5 °C za trakove iz elastomernih bitumnov, za obdobje 9 tednov na 87,3 °C za oksidirane bitumne (Kunič, 2007), na 83,2 °C za plastomerne bitumne in na 79,2 °C za elastomerne bitumne in za obdobje 6 tednov bi morali za isti vpliv na staranje izdelek iz



Slika 8 • Staranje bitumenskih trakov v odvisnosti od temperature – mejne vrednosti funkcionalnosti



Slika 9 • Staranje bitumenskih trakov odvisnosti od temperature v skladu s standardom (temperatura 70 °C in časovno obdobje 24 tednov)

oksudiranih bitumnov izpostaviti temperaturi 94,9 °C, plastomerne bitumne temperaturi 88,9 °C in elastomerne bitumne 83,2 °C, ter bi na tak način povzročili enak vpliv na staranje bitumenskega traku, kakor jo predpisuje standard (tj. 24 tednov pri +70,0 °C). Staranje v skladu s časi in temperaturami, navedenimi v preglednicah (preglednici 4 in 5), je takšno, da ne nastopi popolni raz-

pad izdelka oziroma konec življenjske dobe, razen v primerih izredno visokih temperatur, ko nastopijo takšne poškodbe različnih sestav bitumnov, ki prevedejo do nepovratnih sprememb ali do kemijske razgradnje. S kombinacijo dobe staranja in njej pripadajoče temperature (preglednici 4 in 5) smo dosegli dotrajanost bitumenskega traku v vseh primerih časov in temperatur, enako kot to

predpisujeta standarda SIST EN 1296 in SIST EN 1297, to je temperaturo +70 °C in čas trajanja 24 tednov.

Iz tako dobljenih rezultatov, to je z eksperimentom pospešenega staranja in Arrheniusove teorije dobljene aktivacijske energije in na podlagi tega posledično izračunanimi časi in temperature staranja (preglednica 4 in 5), lahko izrišemo diagram (slika 7), ki prikazuje pričakovano staranje oziroma stopnjo degradacije v odvisnosti od temperature staranja. Na omenjeni sliki je posebej označeno področje sekanja vseh treh krivulj, to so pogoji staranja, predpisani s standardom (temperatura 70 °C in trajanje 24 tednov). Če pa potujemo po posamezni krivulji, za določeno kvaliteto izdelka (bitumni iz oksidiranih ali s pomočjo polimerov modificiranih bitumnov) dosegamo stopnje staranja oziroma degradacije, ekvivalentne zahtevam po standardu. Iz meritev staranja bitumenskih trakov, sestavljenih iz oksidiranih bitumnov ali iz polimernih dodatkov (plastomernimi APP ali elastomernimi SBS) modificiranih bitumnov, pri različnih temperaturah in po različnih časih, smo lahko določili dotrajanost posameznih vzorcev. Iz teh podatkov lahko določimo mejne vrednosti obremenitve ob določeni temperaturi in določenem času, ki še zagotavlja mejno vrednost funkcionalnosti izdelka (slika 8).

Na sliki 9 so prikazane krivulje staranja bitumenskih trakov (iz oksidirane in s polimernimi dodatki modificirani bitumni: APP in SBS) tako v skladu s staranjem po standardu (prekinjene črte, torej iste vrednosti kot jih prikazuje slika 7) in staranjem do mejne vrednosti funkcionalnosti istih bitumenskih izdelkov (polne črte, prikazane tudi na sliki 8). Razlika med krivuljami staranja v skladu s standardom in mejne vrednosti funkcionalnosti je sledeča: bitumenske trakove iz oksidiranih bitumnov lahko izpostavimo 17 %, s plastomernimi dodatki modificirane 66 % in z elastomernimi dodatki modificirane 54 % daljšemu času, kot ga predpisuje standard (SIST EN 1296 in SIST EN 1297), da bi dosegli mejno funkcionalnost izdelka.

Z eksperimentalnima metodama vrednotenja stopnje dotrajanosti materialov, upogljivosti pri nizkih temperaturah in metodo spektralne analize ter ob teoretični podpori Arrheniusovega zakona pospešenega staranja smo določili mehanizem staranja bitumenskih trakov na izpostavljenost višjim temperaturam. Tako lahko s pomočjo študij na teoretični in praktični ravni napovemo življenjsko dobo bitumenskih trakov in posredno tudi hidroizolacijskih sistemov.

4 • SKLEP

Z meritvami pospešenega staranja ob povišani temperaturi bitumenskih trakov in teoretično osnovo Arrheniusove enačbe smo dobili aktivacijsko energijo za bitumenske trakove iz oksidiranih bitumnov 58,4 kJ/mol,

za trakove iz bitumnov, modificiranih s plastomernimi dodatki, 75,7 kJ/mol, in s plastomernimi dodatku 85,2 kJ/mol. V skladu s standardom opravljamo staranje pri temperaturi +70,0 °C celih 24 tednov. V kolikor

želimo pospešiti staranje v 12 tednih, moramo po dobljenih rezultatih raziskave izdelke iz oksidiranih bitumnov izpostaviti temperaturi +82,0 °C, bitumenske trakove iz plastomernih dodatkov +79,2 °C in trakove iz elastomernih dodatkov +76,5 °C, da bi dosegli isti vpliv staranja bitumenskih trakov, kakor ga predpisuje standard.

5 • LITERATURA

- Carlsson, B. T., Möller, K., Ch. Marechal, J., Köhl, M., Heck, M., Brunold, S., Jorgensen, G., General Methodology of Test Procedures for Assessment of Durability and Service Life, FMEA Research for and Application to the Building Domain, 2001.
- Carlsson, B., Möller, K., Köhl, M., Brunold, S., Frei, U., Marechal, J. C., Jorgensen, G., The Applicability Of Accelerated Life Testing For Assessment Of Service Life Of Solar Thermal Components, Elsevier, 255–274, 2004.
- Ješe, R., Strukturne in spektroskopske lastnosti materialov v iono-optičnih sistemih, doktorska disertacija, Ljubljana, 2006.
- Köhl, M., Carlsson, B., Jorgensen, G., Czanderna, A.W., Performance and Durability Assessment, Optical Materials for Solar Thermal Systems, Elsevier B.V., The Netherlands, 2004, ISBN 0-08-044401-6, 395 str., 2004.
- Kunič, R. Načrtovanje vrednotenja vpliva pospešenega staranja bitumenskih trakov na konstrukcijske sklope, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbarstvo in konstrukcijske elemente, Jamova 2, Ljubljana, 2007.
- SIST 1031 – Hidroizolacijski takovi – Bitumenski hidroizolacijski trakovi – Zahteve, Flexible sheets for waterproofing – Bitumen sheets for waterproofing – Requirements, 2006.
- SIST EN 1109: 2000, Hidroizolacijski trakovi – Bitumenski trakovi za tesnjenje streh – Določevanje upogljivosti pri nizkih temperaturah.
- SIST EN 1296: 2001 – Hidroizolacijski trakovi – Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh – Metoda umetnega staranja z dolgotrajno izpostavitvijo povišani temperaturi – Flexible sheets for waterproofing – Bitumen, plastic and rubber sheets for roofing – Method of artificial ageing by long term exposure to elevated temperature.
- SIST EN 1297: 2005 – Hidroizolacijski trakovi – Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh – Metoda umetnega staranja z dolgotrajno izpostavitvijo ultravijoličnemu sevanju, povišani temperaturi in vodi – Flexible sheets for waterproofing – Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing – Method of artificial ageing by long term exposure to the combination of UV radiation, elevated temperature and water.
- SIST EN 13707: 2005 – Hidroizolacijski trakovi – Ojačeni bitumenski trakovi za tesnjenje streh – Definicije in lastnosti – Flexible sheets for waterproofing – Reinforced bitumen sheets for roof waterproofing – Definitions and characteristics.
- SIST EN 13969: 2005 – Hidroizolacijski trakovi – Bitumenski tesnilni trakovi za temelje – Definicije in lastnosti – Flexible sheets for waterproofing – Bitumen damp proof sheets including bitumen basement tanking sheets – Definitions and characteristics.

PREISKAVE MODELOV ZIDANIH STAVB NA POTRESNI MIZI

SHAKING-TABLE TESTS OF MASONRY BUILDING MODELS

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

Zavod za gradbeništvo Slovenije,
Dimičeva 12, 1000 Ljubljana
miha.tomazevic@zag.si

Znanstveni članek

UDK: 624.012:624.042.7.001.5

Povzetek | V prispevku so obravnavane prednosti in pomanjkljivosti preiskav modelov zidanih stavb v majhnem merilu na enostavni potresni mizi na ZAG-u. V primerjavi s stroški preiskav velikih modelov ali prototipnih konstrukcij so stroški modelnih preiskav razmeroma majhni. Modeli so cenejši od prototipov, čeprav so za izdelavo ustreznih modelnih materialov včasih potrebne obsežne predhodne študije. Razen same ploščadi, ki se uporablja le kot potresna miza, so vse ostale naprave, programski hidravlični bati, jekleno podporje, elektronski sistemi za zajemanje podatkov in podobno, uporabne tudi za druge vrste preiskav. Ker modelno merilo predstavlja omejitve pri simulaciji obnašanja prototipov, z modelnimi preiskavami na splošno ne moremo raziskovati obnašanja konstrukcijskih detajlov, pač pa z njimi dobimo podatke o obnašanju celotne konstrukcije. Tako lahko razmeroma dobro ponazorimo porušne mehanizme zidanih konstrukcij in rezultate preiskav uporabimo za preverjanje računskih modelov in določitev vrednosti parametrov, s katerimi opišemo lastnosti konstrukcije v nelinearnem področju nihanja. Na tipičnih primerih so predstavljene različne tehnike modelnih preiskav in možnosti interpretacije rezultatov. Predstavljeni so tudi delovanje potresne mize, postopki za simulacijo potresnega gibanja tal in krmiljenje naprave ter meritve in obdelava podatkov za učinkovito analizo obnašanja preiskanih modelov.

Summary | The advantages and disadvantages of testing of small-scale masonry building models on a simple shaking table at ZAG are discussed. The costs of testing are relatively low, compared to the costs of testing large scale models or prototype structures. Physical models are cheaper than prototypes, although preliminary studies to develop adequate model materials are most often needed. Except the platform, other testing equipment, such as programmable actuators, steel supporting system, and electronic data acquisition system can be also used for any other types of testing. Since scale effects represent limitations, only the overall seismic behaviour of structural systems can most often be studied, and not the behaviour of structural details. Failure mechanisms of masonry structures subjected to seismic ground motion can be simulated fairly well. The results of tests are used for the verification of numerical models as well as for the determination of values of parameters, which determine the behaviour of masonry structures in the non-linear range of seismic response. Various approaches of testing are discussed and typical examples presented. The basic procedures to model the earthquake ground motion and control the shaking table motion are explained. Instrumentation of models, data acquisition and processing to analyze the dynamic behaviour of tested models are also presented.

1 • UVOD

Čeprav je bil tudi v razvoju numeričnih metod za analizo potresne odpornosti zidanih konstrukcij v zadnjih desetletjih dosežen velik napredek, je eksperimentalno preizkušanje obnašanja elementov in sklopov, tudi celotne konstrukcije, še vedno neizogibno. Zidovje je neelastičen, nehomogen in neizotropen konstrukcijski material, ki ga samo z izračunom težko obvladamo. Še več, z novimi materiali in tehnologijami zidanja se marsikdaj bistveno spremenijo tudi nekatere že raziskane zakonitosti. Pri eksperimentalnem preizkušanju zato ne gre samo za ugotavljanje ključnih

med preiskavo deformiramo podobno, kot bi nihale med potresom, pri čemer si pomagamo z izračunom (t. i. psevdodinamična preiskava).

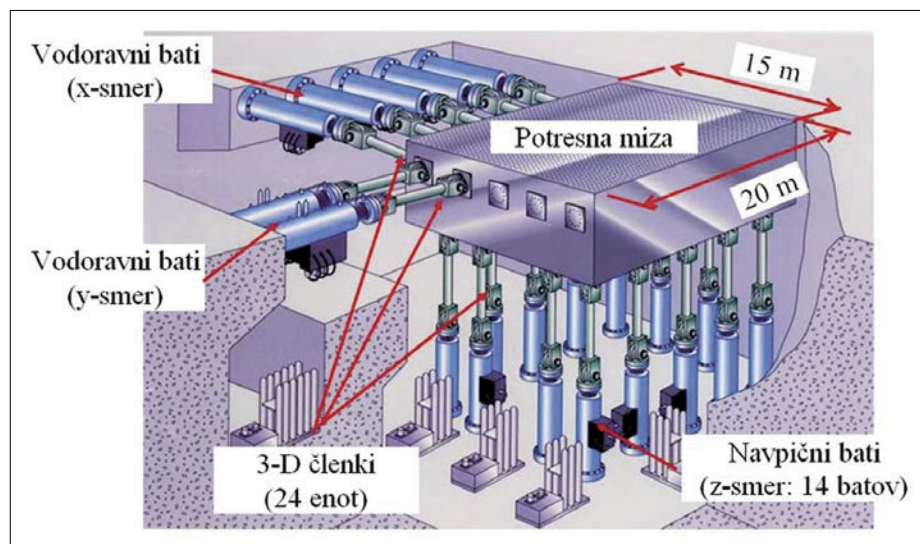
Razvoj tehnologije nam danes omogoča, da na potresnih mizah, ki ponazarjajo prostorsko gibanje tal med potresom, preiskujemo tudi do desetnadstropne stavbe v naravnem merilu (slika 1). Seveda je takšnih naprav, ki so izjemno drage, na svetu le nekaj. Ker so temu primerno drage tudi preiskave, se v marsikaterem laboratoriju uporabljajo manjše in cenejše naprave, na katerih seve-

številine raziskave, o katerih smo poročali tudi v Gradbenem vestniku. Ker je zmogljivost mize v primerjavi z velikimi napravami skromna, na zavodu preiskujemo razmeroma majhne modele. Zato se večkrat porajajo dvomi o zanesljivosti rezultatov naših raziskav. Še posebej danes, ko se veliki eksperimentalni centri z zmogljivimi napravami združujejo v konzorcije, ki opravijo večino eksperimentalnih raziskav. Koliko so v primerjavi z raziskavami obnašanja velikih preizkušancev sploh vredni rezultati, dobljeni s preiskavo pomanjšanih konstrukcij?

V prispevku bomo opisali, kako izvesti modelne preiskave, da bodo rezultati zanesljivi, in pri tem opozorili na omejitve, ki jih moramo pri eksperimentih upoštevati, da bomo na podlagi preiskave modela lahko zanesljivo predvideli, kako se bo obnašala konstrukcija v naravnem merilu. Še posebej, ker gre za modeliranje obnašanja zidanih konstrukcij, ki so sezidane iz materiala, katerega lastnosti so v primerjavi z lastnostmi drugih gradbenih materialov nekaj posebnega.

Na splošno lahko rečemo, da s preiskavo majhnih modelov lahko raziščemo le splošno obnašanje in porušni mehanizem celotnega konstrukcijskega sistema, in ne obnašanja posameznih elementov ali detajlov. Ko zmanjšamo dimenzije konstrukcije, se spremenijo tudi vplivi marsikaterega, za obnašanje konstrukcije odločilnega parametra. Vpliva merila na gradiente napetosti in deformacij, prijemnost med malto in zidaki oziroma malto in armaturo in podobno pri fizikalnem modeliranju ne smemo zanamari. Teoretično ni problemov. Pri pripravi materialov in izdelavi samega modela pa včasih naletimo na nepremostljive težave. Zato je v večini primerov velikost modela odvisna prav od možnosti, da s še sprejemljivo napako modeliramo vpliv teh parametrov, za vsak primer sproti pa ustreznost tudi dokažemo s spremljajočimi študijami in preiskavami.

Čeprav izgledajo preprosto, modelne preiskave zahtevajo veliko predhodnih raziskav in izkušenj, če želimo, da bodo njihovi rezultati verodostojni oziroma jih bomo lahko uporabili tudi za napoved, kako se bodo obnašale med potresom konstrukcije v naravnem merilu.



Slika 1 • Shematični prikaz največje potresne mize na svetu (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Miki, Japonska)

mehanskih lastnosti zidovja, pač pa tudi za preverjanje predpostavk računskih modelov. S preiskavami obnašanja zidov kot osnovnih elementov zidanih konstrukcij s ciklično vodoravno obtežbo sicer dobimo nekatere osnovne podatke, vendar ti zaradi kompleksnosti in različnosti sistemov zidanja največkrat niso dovolj. Da bi dobili podatke, ki so odvisni od zasnove konstrukcije, moramo v pogojih potresne obtežbe raziskati obnašanje celotnih konstrukcijskih sistemov. Za to je na razpolago več možnosti. Konstrukcije lahko preiščemo bodisi tako, da jih postavimo na naprave, s katerimi ponazorimo gibanje tal med potresom – potresne mize, in raziskujemo njihov odziv, bodisi jih preiščemo tako, da jih pritrdimo na tla in jih

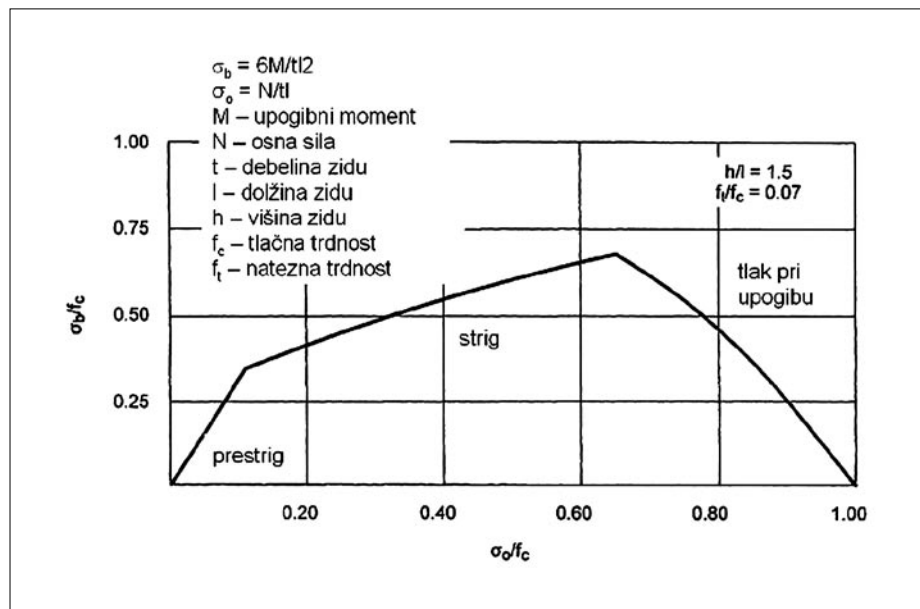
da ne preizkušajo konstrukcij v naravnem merilu oziroma prototipov, pač pa njihove pomanjšane modele. Tudi te potresne mize so bolj ali manj tehnološko zahtevne naprave, saj nekatere ravno tako zmorejo simulacijo prostorskega gibanja tal, medtem ko se druge zadovoljijo z dvema komponentama ali pa celo z eno samo. V odvisnosti od velikosti lahko pomanjšane konstrukcije (modeli) bolj ali manj natančno ponazorijo prototip.

Enostavno mizo, katere predhodnica je bila celo med prvimi v Evropi (Turnšek in Reiser, 1970) in s katero lahko ponazorimo eno samo komponento gibanja tal, imamo tudi na Zavodu za gradbeništvo Slovenije. Na njej smo v zadnjih desetletjih izvedli

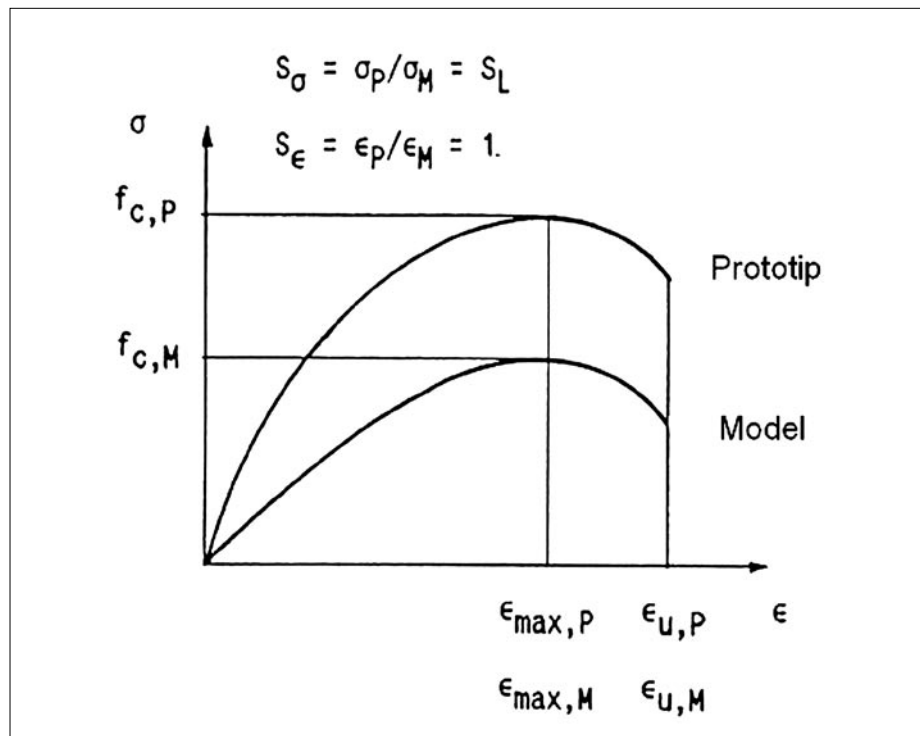
2 • FIZIKALNO MODELIRANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJ

Če raziskujemo obnašanje zidanih stavb s preiskavo njihovih modelov na potresnih mizah, je podobnost med mehanizmi obnašanja, ki smo jih ugotovili na stavbah, ki so jih prizadeli

potresi, in mehanizmi, ki smo jih ugotovili med preiskavo njihovih modelov na potresni mizi, prav gotovo najmerodajnejše merilo za oceno zanesljivosti takšnih preiskav. Potek poškodb



Slika 3 • Odvisnost porušnega mehanizma od razmerja med tlačnimi napetostmi v zidu in tlačno trdnostjo zidovja ((Tomaževič in Turnšek, 1980), (Mann in Müller, 1982), (Mann in sod., 1988))



Slika 3 • Odvisnost med napetostmi in deformacijami materialov prototipa in popolnega modela

in porušni mehanizmi, ki jih dobimo z modelno preiskavo, morajo biti podobni tistim, ki smo jih po potresu ugotovili na stavbah.

Če nam bo to uspelo in če hkrati poznamo robne pogoje in smo izmerili vse potrebne fizikalne veličine, lahko rečemo, da smo z modelno preiskavo dobili vse potrebne podatke za vrednotenje parametrov, ki jih rabimo za oceno odziva prototipne stavbe na potres. Podatki, ki jih dobimo z modelno preiskavo, bodo uporabni, čeprav morda nismo v celoti izpolnili vseh pogojev, na podlagi katerih smo načrtovali izdelavo modela in njegovo preiskavo.

Osnovno težavo pri modelnih preiskavah konstrukcij na potresni mizi predstavlja dejstvo, da raziskujemo, kako se obnaša konstrukcija v nelinearnem področju pri dinamični obtežbi. Če bi raziskovali obnašanje konstrukcije v elastičnem področju pri statični obtežbi, bi bile modelne preiskave precej enostavnejše, saj bi modele lahko izdelali iz kakršnega koli elastičnega materiala. Poznati bi morali le osnovna razmerja med mehanskimi lastnostmi materialov prototipa in modela.

Da bi zadostili osnovnemu pogoju za verodostojnost modelne preiskave na potresni mizi, podobnosti med porušnim mehanizmom prototipa in modela pri potresu, je treba izpolniti pri izdelavi modela dveje:

- da bi dosegli podoben dinamični odziv na potres, morajo biti mase in togosti po višini modela porazdeljene podobno kot v prototipni stavbi;
- da bi dosegli podoben porušni mehanizem, morajo v elementih konstrukcije modela vladati podobna razmerja med napetostnim stanjem zaradi vplivov gravitacijske in potresne obtežbe in trdnostnimi lastnostmi kot v elementih konstrukcije prototipa. Znano je, da so od teh razmerij odvisni lokalni porušni mehanizmi (slika 2).

O tem, kako modelirati potresno gibanje tal, bomo govorili v posebnem poglavju.

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 korelacije med fizikalnimi veličinami, izmerjenimi na modelu, in pripadajočimi veličinami na prototipu.



Slika 4 • Izdelava modelnih zidakov z jeklenim opažem

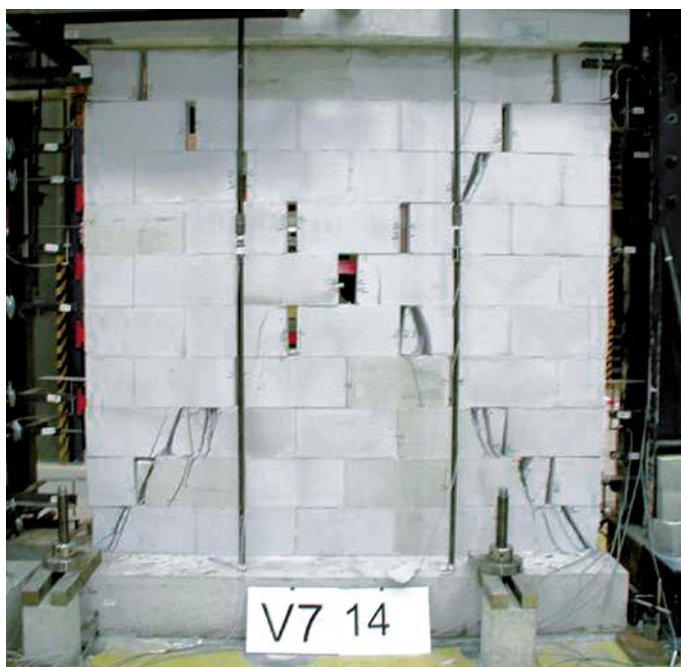
Lahko izdelamo t.i. popolni model (angleško »complete« ali »true model«), za katerega uporabimo materiale, katerih diagram σ - ε je v smeri napetosti zmanjšan v merilu modeliranja ($S_\sigma = S_\varepsilon$), v smeri deformacij pa je enak kot prototipni material ($S_\varepsilon = 1$). Z drugimi besedami: popolni model izdelamo iz materialov, katerih trdnost zmanjšamo v geometrijskem merilu, medtem ko njihove deformacijske last-

nosti ostanejo nespremenjene (slika 3). To pa še ni vse: takšni materiali morajo imeti enako kot prototip tudi specifično maso ($S_\rho = 1$), Poissonov količnik ($S_\mu = 1$) oziroma pri zidanih konstrukcijah razmerje med strižnim in modulom elastičnosti G/E in dušenje ($S_\zeta = 1$). Tehnološke omejitve omejujejo najmanjše še možno merilo, saj se z manjšanjem trdnosti materialov praviloma zmanjša tudi njihova

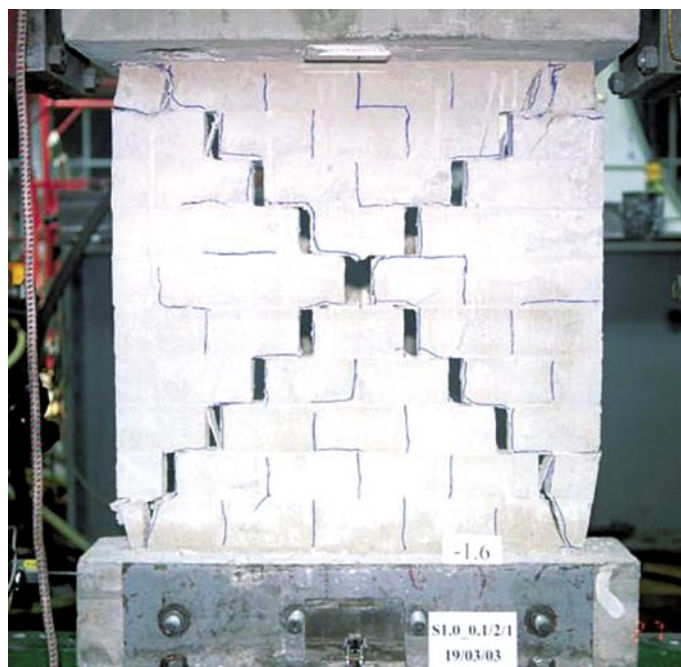


Slika 5 • Preiskava modelnega zidu v posebej zasnovani napravi

specifična masa. Da bi jo obdržali enako kot v prototipu, materialom dodajamo težke, tudi kovinske agregate, kar pa spet vpliva na trd-

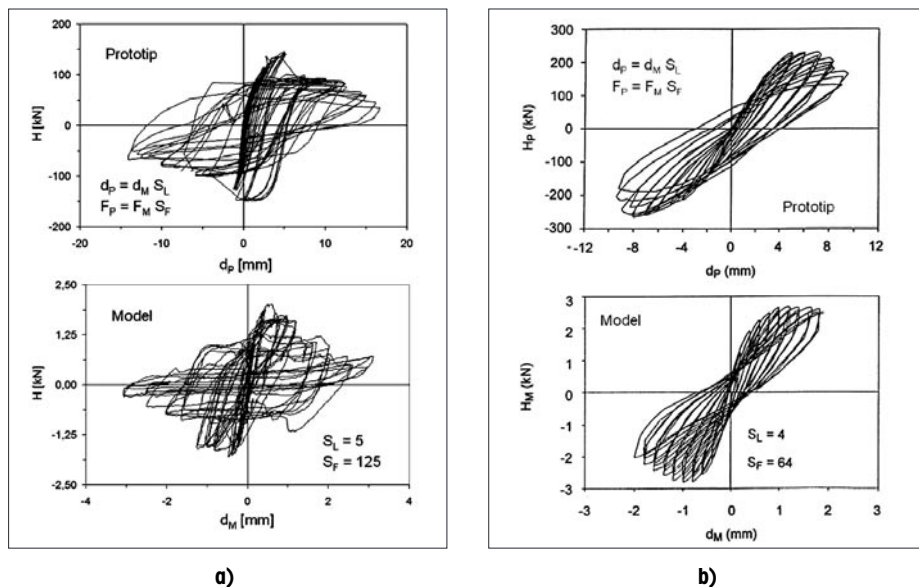


a)



b)

Slika 6 • Podobnost mehanizma porušitve: a) strižne razpoke v prototipnem zidu in b) strižne razpoke v modelu ((Tomaževič in sod., 2004), (Oetes in Loering, 2006))



Slika 7 • Podobnost histerezne odvisnosti med vodoravno silo in pomiki: a) zid iz sodobnih zidakov, prikazan na sliki 6, merilo 1 : 5, in b) kamniti zid hiše v Posočju, merilo 1 : 4 ((Tomažević in sod., 2004), (Oefes in Loering, 2006), (Tomažević in Velechovsky, 1992))

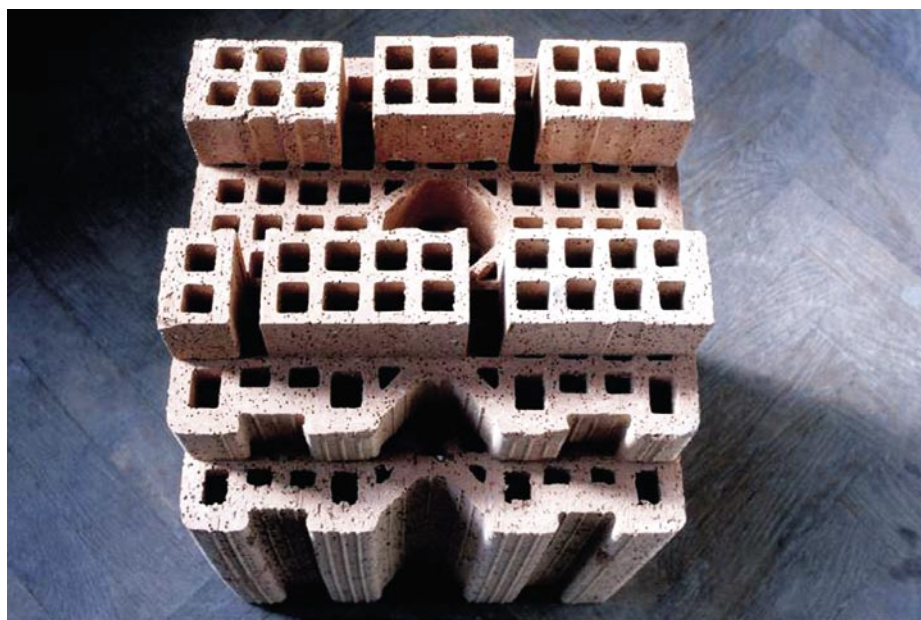
nost. Pred leti smo za izdelavo zidakov za zidanje popolnega modela v merilu 1 : 7 uporabili mešanico elektrofiltrskega pepela, perlit, žgane gline, korundnega prahu in kalvena, ki smo jo pod tlakom primerno oblikovali in žgali v peči za keramiko ((Boštjančič, 1977), (Tomažević, 1987)). Ker je izdelava takšnih zidakov zelo zamudna in draga, potresna miza pa omogoča tudi preiskave precej večjih modelov (merila 1 : 5 do 1 : 3), v zadnjih letih modelne zidake izdelamo iz posebej projektirane malte, sestavljene iz zmesi zdrobljene opeke ali drugega agregata, apna, cementa, drugih dodatkov in vode (slika 4). Trdnost malte lahko projektiramo, o dejanskih lastnostih pa se pred serijsko izdelavo zidakov prepričamo s predhodnimi preiskavami. Z uporabo zdrobljene opeke zagotovimo ustrezno specifično maso, z drugimi komponentami pa reguliramo zahtevano trdnost ((Tomažević in sod., 1996), (Tomažević in Klemenc, 1997), (Tomažević in sod., 2004, 2008)). Zahtevane dimenzije oziroma obliko zidakov zagotovimo z od primera do primera izdelanim jeklenim opazem na vibracijski mizi, v katerega vlijemo malto, in ki omogoča, da vsak dan izdelamo tudi po nekaj sto zidakov. V odvisnosti od velikosti lahko porabimo za izdelavo posameznega modela celo več kot 10.000 zidakov, zato je pomemben tudi čas, v katerem jih lahko izdelamo.

Ker je zidovje neelastičen, nehomogen in neizotropen material, še ni rečeno, da smo s tem, če smo v zahtevanem razmerju zmanj-

šali trdnost zidakov in malte, že kar uspešno modelirali tudi lastnosti zidovja prototipne stavbe. In narobe: če nismo uspeli z modeliranjem trdnosti osnovnega materiala, še ni rečeno, da nismo uspeli z modeliranjem zidovja. Ker so bolj kot lastnosti sestavnih materialov, zidakov in malte pomembne lastnosti zidovja, pred dokončno odločitvijo o izbiri materiala za zidanje modelov v posebej zasnovanih napravah preiščemo še v modelnem merilu sezidane zidove

(slika 5), njihovo obnašanje pa primerjamo z obnašanjem prototipnih zidov. Ker nas zanima obnašanje zidov pri potresni obtežbi, pozornost posvetimo bolj natezni kot tlačni trdnosti zidovja, še posebej pa s prototipom primerjamo ugotovljeni porušni mehanizem, tj. potek in porazdelitev poškodb, sposobnost disipacije energije in duktilnost ter druge parametre, ki vplivajo na obnašanje zidanih konstrukcij med potresom. Na sliki 6 prikazujemo porušno stanje prototipnega in modelnega zidu, ki smo ju preiskali v okviru raziskav vrednosti faktorja obnašanja q , s katerim po Evrokodu 8 določamo projektne potresne sile za zidane konstrukcije in pri katerih je bila podobnost med obnašanjem prototipnega in modelnega zidovja ključnega pomena. Na sliki 7 primerjamo histerezne odvisnosti med vodoravno silo in pomiki, ki smo jih ugotovili tako s preiskavo zidov, ki ju prikazuje slika 6, kot tudi s preiskavo kamnitega zidovja v okviru raziskav mehanizma delovanja jeklenih zidnih vezi, kjer podobnost obnašanja prototipnega in modelnega zidovja sicer ni bila tako pomembna, vendar smo kljub temu uspeli zelo dobro modelirati celo lastnosti kamnitega zidovja.

Če uspemo izdelati materiale, s katerimi lahko sezidamo popolni model, med preiskavo avtomatično izpolnimo pogoje za podobnost dinamičnega obnašanja in porušnega mehanizma. Razmerje med lastno težo oziroma maso konstrukcije bo ostalo takšno, kot zahtevajo osnovne zahteve za modeliranje. Če bomo na modele dodali še uteži, s katerimi



Slika 8 • Za izdelavo enostavnega modela lahko uporabimo kar razžagane prototipne votlake

bomo ponazorili koristno obtežbo, bomo v zidovih modela ustvarili tudi podobne nape-
tostne razmere kot pri prototipu.

Druga možnost je, da za izdelavo modela uporabimo kar prototipne materiale (slika 8) (Tomaževič in sod., 1989). Tak model ime-
nujemo enostavni model (angleško »simple model«). Tudi s preiskavo enostavnega mo-
dela dobimo rezultate, ki jih lahko preslikamo na prototipno konstrukcijo. Ker uporaba pro-
totipnih materialov ne zahteva predhodnih raziskav, je izdelava modela v resnici razmero-
ma enostavna. Da bi pa ustregli pogojem za podobnost dinamičnega odziva in porušnega
mehanizma ter rezultate preiskave verodostoj-
no preslikali na prototip, moramo tak model na preiskavo navadno posebej pripraviti.
Paziti moramo predvsem na to, da s tem, ko v zidovih ustvarimo razmere, s katerimi
zagotovimo podobnost porušnega mehaniz-
ma, ne pokvarimo podobnosti dinamičnega obnašanja.

Faktorje meril za posamezne fizikalne veličine teoretično določimo s pomočjo t.i. dimenzi-
onalne analize (Langhaar, 1951). Faktorji modelnega merila so za posamezne ključne
fizikalne veličine, ki določajo dinamično obnašanje konstrukcij, navedeni v preglednici
1. V preglednici so navedeni splošni izrazi pa tudi enačbe, ki veljajo v primeru popolnih in
enostavnih modelov.

V praksi se nam večinoma zgodi, da ne uspe-
mo izdelati materiala, ki bi v vseh pogledih
ustrezal zahtevam, ki jih postavljajo pravila

Veličina	Splošna enačba	Popolni model	Enostavni model
Dolžina (L)	$S_L = L_P / L_M$	S_L	S_L
Deformacija (ε)	$S_\varepsilon = \varepsilon_P / \varepsilon_M$	1	1
Trdnost (f)	$S_f = f_P / f_M$	S_L	1
Napetost (σ)	$S_\sigma = f_P / f_M$	S_L	1
Modul elastičnosti (E)	$S_E = S_\sigma / S_\varepsilon$	S_L	1
Specifična masa (γ)	$S_\gamma = \gamma_P / \gamma_M$	1	1
Sila (F)	$S_F = S_\sigma^2 S_f$	S_L^3	S_L^2
Čas (t)	$S_t = S_L \sqrt{S_\gamma S_\varepsilon} / S_f$	$\sqrt{S_L}$	S_L
Frekvenca (ν)	$S_\nu = 1 / S_L$	$1/\sqrt{S_L}$	$1/S_L$
Pomik (d)	$S_d = S_L S_\varepsilon$	S_L	S_L
Hitrost (v)	$S_v = S_\varepsilon \sqrt{S_f / S_\gamma}$	$\sqrt{S_L}$	1
Pospešek (a)	$S_a = S_f / S_L S_\gamma$	1	$1/S_L$

Preglednica 1 • Faktorji merila za popolno in enostavno modelno podobnost

za popolno modeliranje. Če se na primer z
modelnim materialom uspemo približati za-
htevani vrednosti natezne trdnosti zidovja, bo
morda tlačna trdnost ustrezala zahtevanemu
merilu nekoliko manj. Ravno tako je manj
verjetno, da bi hkrati uspeli v zahtevanem
razmerju zmanjšati modul elastičnosti in
strižni modul. Pri zidanih konstrukcijah, kjer
prevladuje strižni mehanizem obnašanja,
bomo poskušali čim doslednejše izpolniti za-
hteve pri veličinah, s katerimi opišemo strižni
mehanizem, pri drugih veličinah pa z mode-
liranjem ne bomo tako uspešni. Tak model
včasih imenujemo popačen model (angleško

»distorted model«). Da bomo vrednosti, iz-
merjene na modelu, preslikali na prototip,
bomo morebitna odstopanja upoštevali tako,
da bomo namesto modelnih meril, ki veljajo
za popolne ali enostavne modele, upoštevali
vrednosti, izračunane s splošnimi enačbami.
V te enačbe – tipične so navedene v pre-
glednici 1 – bomo vstavili dejanska razmerja
med lastnostmi modelnih in prototipnih mate-
rialov.



Slika 9 • Koristno obtežbo predstavljajo jekleni bloki, ki so z vijaki pritrjeni na stropne plošče modela



Slika 10 • Pri enostavnem modelu zahtevana napetostna razmerja ustvarimo s prednapetjem zidov. Silo vnašamo z mehkimi vzmetmi

Povedali smo že, da pri popolnem modelu oba ključna pogoja za verodostojnost rezultatov modelnih preiskav na potresni mizi izpolnimo tako, da na model dodamo le mase, s katerimi ponazorimo koristno obtežbo stropov. Dodatno maso v obliki betonskih blokov, svinčenih opek ali jeklenih ingotov z vijaki togo pritrdimo na stropne konstrukcije modelov. Če podajnost stropnih konstrukcij pomembno vpliva na dinamični odziv, moramo poskrbeti, da je dodatna masa pritrjena tako, da ne spremeni togosti stropov. Zato raje kot v enem samem kosu maso na strope pritrdimo v več manjših kosih (slika 9). Dodatna masa v drugačni obliki, na primer v obliki svinčenih kroglic ali težkega agregata (peska) v vrečah, ni primerna, saj se zaradi dinamičnih vplivov pri razmeroma visokih frekvencah nihanja zgoščeni agregat v vrečah med preiskavo razrahlja, kar pokvari rezultate meritev. Pri enostavnih modelih z dodajanjem mase do mere, potrebne, da se izpolni pogoj podobnosti porazdelitve mas in s tem dinamičnega obnašanja, velikost tlačnih napetosti v zidovju navadno še ne doseže vrednosti, ki jo zahteva podobnost porušnega mehanizma.

Če bi potrebni nivo napetosti v zidovih ustvarili z dodajanjem mas, bi porušili podobnost dinamičnega obnašanja. Lastna frekvenca nihanja modela bi se nesorazmerno zmanjšala, s tem pa bi se spremenil tudi njegov odziv na modelirani potres. Če bi nas zanimal odziv konkretne konstrukcije na konkretni potres, bi s takšno modelno preiskavo seveda prišli do napačnih sklepov. Žal so takšne napake precej pogoste.

Koliko se lahko spremenijo lastne nihajne frekvence, če potrebne napetosti v zidovih ustvarimo z dodajanjem mase, tj. koristne obtežbe, bomo prikazali na primeru enostavnega modela, ki smo ga preiskali pred leti (Tomaževič in Velechovsky, 1992). Izmerjena lastna frekvenca modela z masami, ki zagotavljajo podobnost dinamičnega obnašanja, je bila $v_M = 13,81$ Hz, z računom ocenjena vrednost pa $v_M = 13,43$ Hz. Če z istim računskim modelom izračunamo lastno frekvenco prototipa, dobimo $v_P = 2,64$ Hz, kar ustreza zahtevi $v_M = v_P S_L$ (model je bil izdelan v merilu 1 : 5). Če pa na strope modela pritrdimo toliko mase, da bodo tudi tlačne napetosti ustrezale zahtevanemu razmerju, se z

istim računskim modelom izračunana lastna frekvenca modela zmanjša na $v_M = 7,47$ Hz. Lastna frekvenca prototipne stavbe bi bila v tem primeru $v_P = 1,48$ Hz, torej skoraj dvakrat manjša, kot bi morala biti, kar seveda ne bi bilo zanemarljivo in bi vplivalo na interpretacijo dinamičnega odziva modela glede na prototip.

Zato moramo pri enostavnih modelih napetosti v zidovih povečati tako, da s tem ne vplivamo na dinamične lastnosti modela. Kot najučinkovitejša metoda se je izkazalo zunanje prednapetje zidov z jeklenimi pletenimi vrvmi, ki so sidrane v temelj, na vrhu modela pa do zahtevane sile prednapete. Da se zaradi spremembe položaja med nihanjem modela med preiskavo v vrveh ne bi ustvarile dodatne sile, silo v vrveh vzdržujejo mehke vzmeti (slika 10). Preiskave in izračuni so pokazali, da prednapetje praktično ne vpliva na dinamični odziv modelov. Ravno tako so zaradi nagiba vrvi nastale vodoravne komponente sile prednapetja zanemarljivo majhne v primerjavi s prečnimi silami, nastalimi v modelu med odzivom na potres (Tomaževič in Velechovsky, 1992).

3 • POTRESNA MIZA

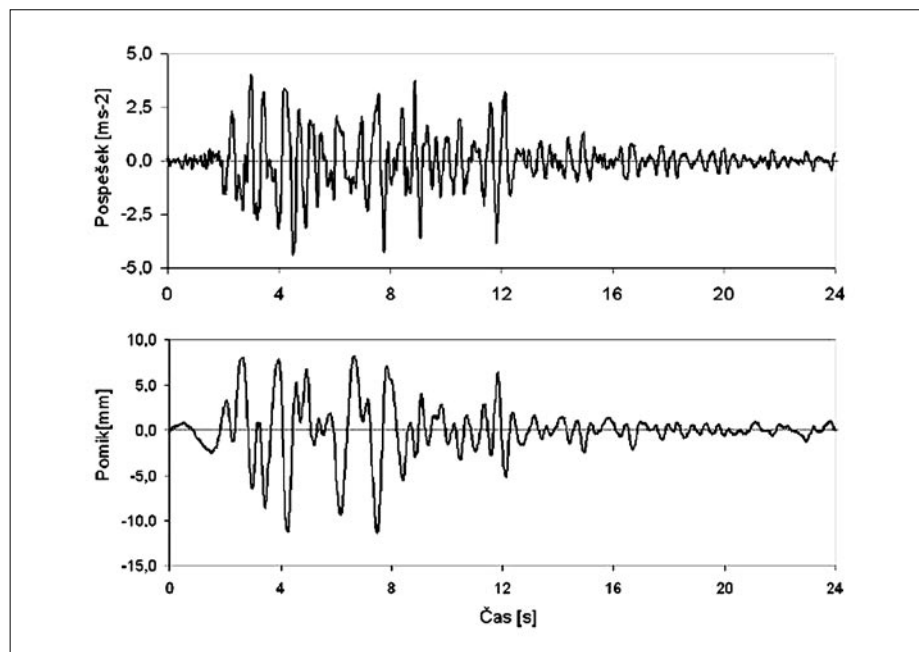
Ideja, da se za simulacijo potresnega gibanja tal lahko koristno uporabijo tudi enosmerno delujoče enostavne potresne mize, ki jih poganja večnamenska preizkuševalna oprema, je osnovana na razmišljanjih, predstavljenih v nadaljevanju.

Čeprav je dejansko gibanje tal med potresom prostorsko, njegove navpične komponente nimajo pomembnejšega vpliva na obnašanje običajnih konstrukcij pravilne zasnove, kot so zidane konstrukcije. Tudi načela potresno-odpornega projektiranja dopuščajo, da se pravilne konstrukcije preverijo na delovanje vodoravne projektne potresne obtežbe v vsaki glavni smeri posebej. Zato lahko večino podatkov, pomembnih za obnašanje konstrukcije pri potresu, dobimo že tako, da preiščemo obnašanje konstrukcije pri simulirani obtežbi, ki deluje le v eni od obeh glavnih smeri ali pa poševno nanju.

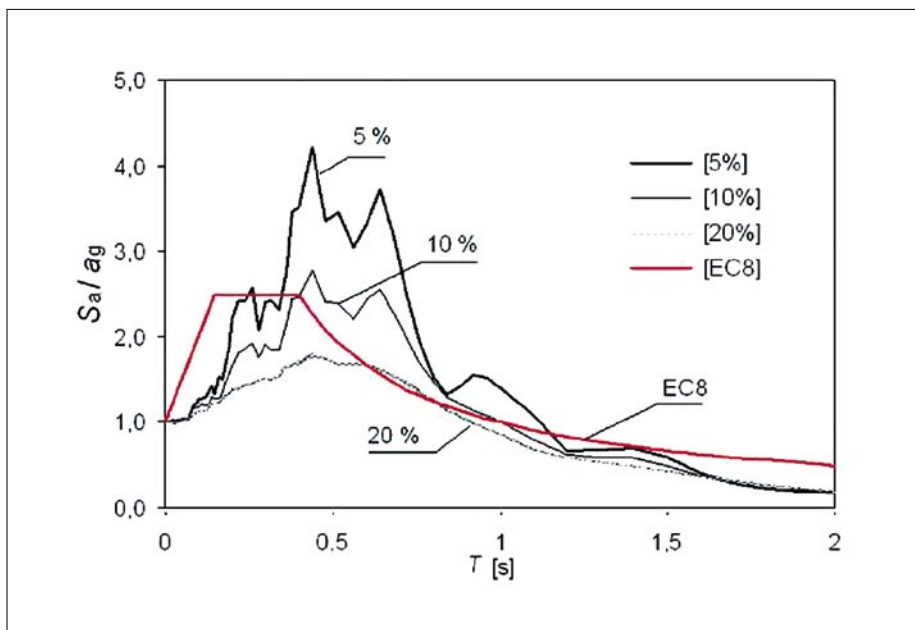
Potresno gibanje tal je stohastični pojav, katerega lastnosti so odvisne od žariščnega mehanizma, lastnosti zemeljske skorje, skozi katero se širi seizmično valovanje in ne nazadnje od lastnosti temeljnih tal, na katerih stoji opazovana konstrukcija. Kot deterministični

pojav, kakršnega upoštevamo v naših dinamičnih analizah, se privzeti potres ne bo nikoli

več dogodil. Zato niti ne bi bilo treba, da bi znali že zabeleženo potresno gibanje tal z našimi preizkuševalnimi napravami popolnoma natančno ponazoriti. To je bolj izziv za načrtovalce teh naprav, za uporabnike rezultatov preiskav pa ni ključnega pomena. Za upo-



Slika 11 • Močni del zapisa pospeškov tal N-S komponente potresa 15. 4. 1979 v Petrovcu, Črna gora, in izračunani časovni potek pomikov tal

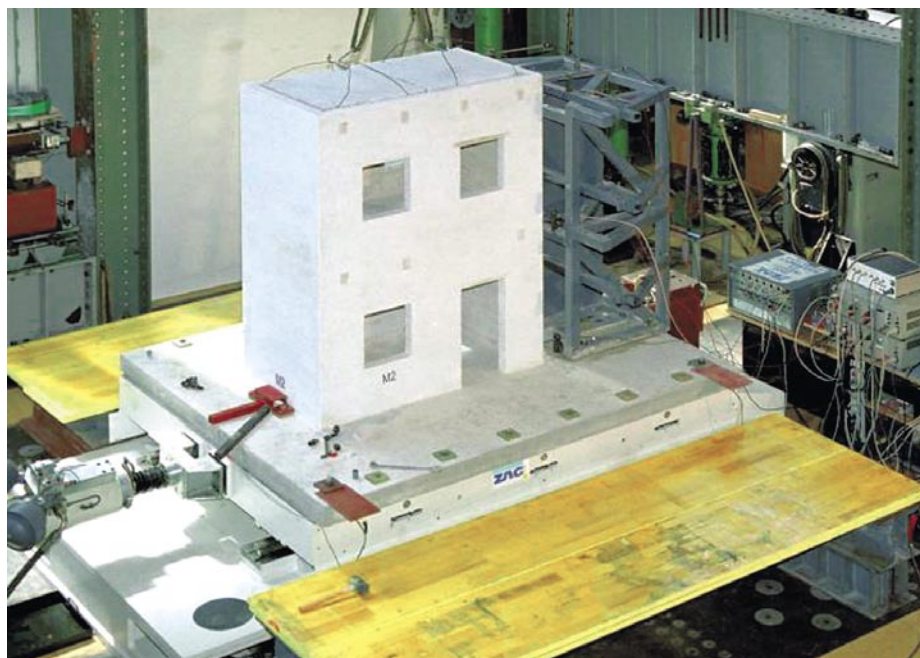


Slika 12 • Primerjava elastičnega spektra odziva po Evrokodu 8 za koeficient tal $S = 1,0$ s spektrom odziva pospeškov črnogorskega potresa za 5 %, 10 % in 20 % kritičnega dušenja

rabnike je pomembno, da vemo, s kakšnim gibanjem smo vzbudili nihanje konstrukcije, ki jo preizkušamo. Seveda mora imeti gibanje potresne mize ključne značilnosti potresnega gibanja tal. Kar se tiče odziva na potres in ne na kakršno koli dinamično vzbujanje (npr. na vzbujanje s sinusnim nihanjem), dobimo verodostojne rezultate, če so simulatorji potresa sposobni v statističnem smislu ponazoriti značilnost dejanskega gibanja tal med potresom v časovni in frekvenčni domeni. Toliko bolje seveda, če jih lahko natančno krmilimo. Kako izbrati potres, ki ga uporabimo za krmiljenje potresne mize? Navadno izberemo kar eno od registracij rušilnih potresov, ki so prizadeli podobne prototipne stavbe, katerih obnašanje raziskujemo. Kot kriterij za izbiro lahko privzamemo tudi podobnost spektra odziva potresa s projektnim spektrom, ki ga najdemo v predpisih za projektiranje potresno-odpornih konstrukcij, na primer v Evrokodu 8. Potres, s katerim bomo krmilili potresno mizo, lahko tudi umetno generiramo. Pri tem navadno osnovne značilnosti umetnega potresa izberemo tako, da se bo njegov spekter odziva ujemal s projektnim spektrom, ki ga dobimo v predpisih.

Na Zavodu za gradbeništvo Slovenije že dalj časa kot eno od primernih registracij za preiskavo modelov zidanih konstrukcij na potresni mizi uporabljamo 24 sekund trajajoči zapis močne faze N-S komponente črnogorskega potresa iz leta 1979 (registracija potresa:

15. 4. 1979 v Petrovcu), z maksimalnim izmerjenim pospeškom v velikosti 0,43 g (slika 11). Zapis potresa sicer traja 48 s, vendar smo za krmiljenje potresne mize odrezali tisti del zapisa, kjer nihanje tal po naši oceni ne bi več pomembno vplivalo na odziv zidanih konstrukcij. Uporabljamo le del registracije v času od 3,5 s do 27,5 s.



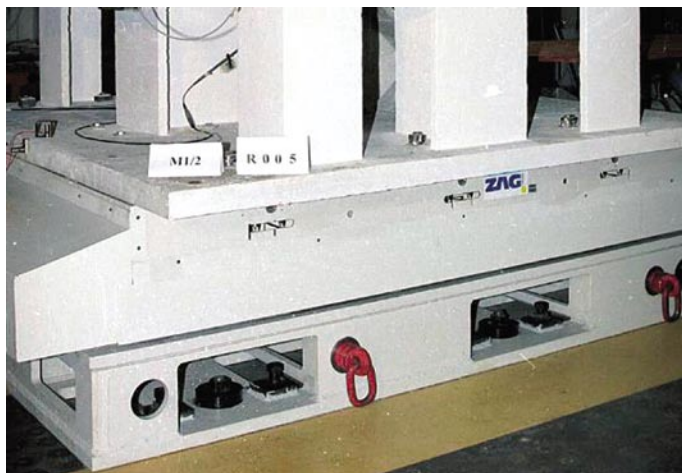
Slika 13 • Pogled na potresno mizo ZAG med preiskavo modela zidane stavbe; armiranobetonska temeljna plošča, na kateri je sezidan model, je z vijaki pritrjena na potresno mizo; ob mizi je postavljen lesen oder za lažje opazovanje modela

Kot prikazuje slika 12, se spekter odziva za pisa pospeškov gibanja tal med črnogorskim potresom, ki ga uporabljamo za krmiljenje potresne mize med preiskavo modelov, pri 5 % kritičnega dušenja ne ujema najbolje z elastičnim spektrom odziva po Evrokodu 8 za trdna tla. Območje največjega ojačenja, ki je pri 5 % kritičnega dušenja večje kot predpostavlja Evrokodov elastični spekter odziva, leži poleg tega v območju daljših lastnih nihajnih časov (nižjih lastnih frekvenc nihanja). Da bi se med preiskavo na potresni mizi nihajni časi, ki so značilni za zidane konstrukcije, ujeli z območjem največjega ojačenja, čas trajanja prototipnega potresa včasih namenoma skrajšamo. Zato se izogibamo primerjavam s črnogorskim potresom, saj je modelirani potres, preslikan v naravno velikost, največkrat podoben črnogorskemu samo po obliki zapisa pospeškov in maksimalnih pospeških, ne pa tudi glede na ostale parametre.

3.1 Opis naprave

Potresna miza, ki jo uporabljamo na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (slika 13), je enostavna naprava, ki omogoča simulacijo potresnega gibanja tal v eni sami smeri. Sestavlja jo trije glavni sklopi:

- mehanski sklop, sestavljen iz v eni smeri gibljive mize, na katero pritrdimo model oziroma temeljno ploščo, na kateri sezidamo model, in podstavka, ki ga pritrdimo na



Slika 14 • Potresna miza na ZAG: pritrditev spodnje plošče na preizkuševalno ploščad; temeljna plošča modela sega čez potresno mizo



Slika 15 • Potresna miza na ZAG s programskim hidravličnim batom za pogon mize; vidi se tudi eno od drsnih vodil

laboratorijsko preizkuševalno ploščad in po katerem drsi miza,

- hidravlični pogonski sklop, ki premika mizo po poljubnem programu in ga sestavljata dvosmerno delujoči programski hidravlični bat s servovalventom in hidravlična črpalka,
- elektronski krmilni sklop, s katerim programiramo in kontroliramo časovni potek premikov mize.

Za uspešno preiskavo seveda potrebujemo tudi sklop merilnikov različnih dinamičnih in drugih fizikalnih veličin in merilnega sistema, s katerim izmerjene podatke neprekinjeno zajemamo, beležimo in spremenimo v obliko, primerno za analizo (angleško »data acquisition«, »data processing«).

Glede na to, da delovne razmere v laboratoriju ne dopuščajo, da bi bila miza fiksna, je bila zasnovana kot sestavljiva naprava. Podstavek, temeljni del mize, je toga jeklena škatlasta konstrukcija, ki se z vijaki pritrdi na laboratorijsko armiranobetonsko preizkuševalno ploščad (slika 14). Na zgornji strani ima pritrdjena vodila, po katerih drsi gibljivi del naprave, potresna miza. Vodila so izdelana tako, da omogočajo natančno mehansko vodenje mize v vzdolžni smeri in ne dopuščajo nagibov in pomikov v ostalih smereh. Da bi bilo trenje v vodilih čim manjše, so drsni ležaji teflonski. Potresna miza je ravno tako toga, jeklena, z rebri ojačena škatlasta konstrukcija velikosti 2,5 m x 2,0 m, ki ima v zgornji jekleni plošči vrezane luknje z navoji za pritrditev temeljne plošče modela. Ta je navadno izdelana iz armiranega betona. Luknje so razporejene enakomerno po celotni zgornji površini mize, tako da se način pritrditve temeljne plošče modela lahko

prilagodi njegovi velikosti in tlorisni zasnovi. Zaradi potrebne togosti, ki jo mora imeti za obvladovanje vpetosti modelov, premični del potresne mize ni lahek in predstavlja pomemben delež koristne mase, ki jo mora premikati hidravlični bat med simulacijo potresa z zahtevanimi dinamičnimi karakteristikami. Mizo je po naših idejnih rešitvah projektiralo in izdelalo podjetje Unior, d. d., Program strojna oprema, iz Zreč.

Drugi sklop naprave je programski, dvosmerno delujoči hidravlični bat s servovalventom in hidravličnim agregatom (črpalko), ki premika potresno mizo. Bat je na eni strani vpet v jekleno oporno steno, na drugi pa se s posebnim vmesnim delom pritrdi na gibljivo ploščad (slika 15). Krmili ga računalniško vodeni krmilni sistem.

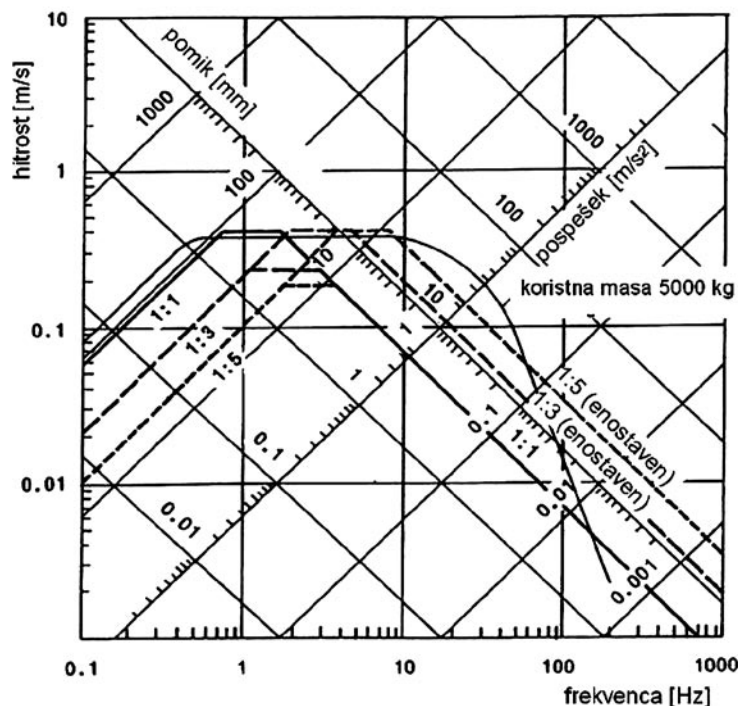
3.2 Zahteve in zmogljivosti

Zahteve, ki jih mora izpolnjevati naprava za simulacijo potresnega gibanja tal, so odvisne od fizikalnih modelov stavb, ki jih preizkušamo

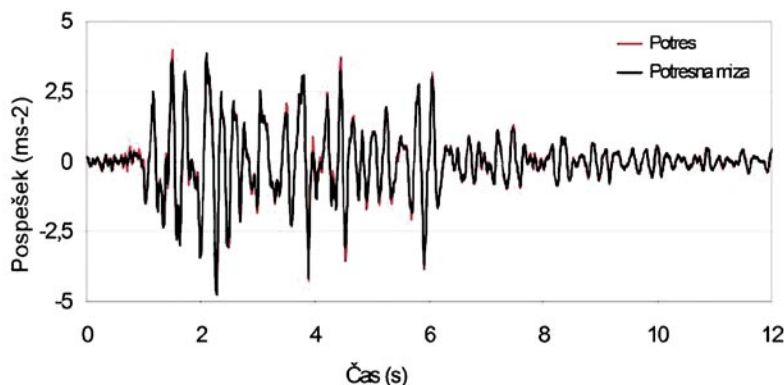
na mizi. Odvisne so od merila, v katerem je izdelan model, od vrste modela oziroma od načina, kako smo prototip modelirali (popolni model na eni in enostavni model na drugi strani), in seveda tudi od velikosti modela oziroma koristne mase, ki jo mora spraviti v gibanje naprava, tj. seštevka mas potresne mize, temeljne plošče modela in modela samega. Osnovne zahteve dobimo kar s primerjavo dinamičnih lastnosti tipičnih potresov oziroma spektrov odziva potresov in faktorji modeliranja, ki jih najdemo v preglednici 1. Če predpostavimo, da je čas trajanja potresa v povprečju 30 s, da leži frekvenčno območje tipičnega spektra odziva potresa, v katerem je vpliv potresa na konstrukcijo še pomemben, med 25 Hz in 0,25 Hz (nihajni časi med 0,04 s in 4 s, glej spekter odziva po Evrokodu 8 na sliki 12), in da se največji pospeški potresov gibljejo okrog 0,5 g, potem zahtev ni težko preslikati na model. Za posamezno vrsto modelne podobnosti in tipična merila so zahteve navedene v preglednici 2.

Merilo	Vrsta modela	Čas	Frekvenca	Pospešek	Pomik
Prototip		30 s	25 Hz–0,25 Hz	0,5 g	50 mm
1 : 3	popoln enostaven	17,3 s	43,3 Hz–0,43 Hz	0,5 g	16,7 mm
		10,0 s	75 Hz–0,75 Hz	1,5 g	16,7 mm
1 : 4	popoln enostaven	15,0 s	50 Hz–0,50 Hz	0,5 g	12,5 mm
		7,5 s	100 Hz–1,00 Hz	2,0 g	12,5 mm
1 : 5	popoln enostaven	13,4 s	55,9 Hz–0,56 Hz	0,5 g	10 mm
		6,0 s	125 Hz–1,25 Hz	2,5 g	10 mm

Preglednica 2 • Zahtevane dinamične lastnosti potresne mize pri preiskavah popolnih in enostavnih modelov



Slika 16 • Primerjava dinamičnih zmogljivosti hidravličnega sistema za pogon potresne mize z batom 160 kN in koristno maso 5000 kg z zahtevami pri različnih merilih modeliranja



Slika 17 • Primerjava med akceleroگرامom črnogorskega potresa, uporabljenim za izračun pomikov za krmiljenje potresne mize (rdeče), in izmerjenimi vrednostmi pospeškov na potresi mizi (črno); popoln model, merilo 1 : 4, masa 3000 kg

Na zavodu uporabljamo za pogon potresne mize programska hidravlična bata znamke Schenck statične zmogljivosti 160 kN oziroma 250 kN in s hodom ± 125 mm oziroma ± 200 mm. Šibkejši bat potrebuje za simulacijo enakega gibanja tal manjši pretok olja kot močnejši bat, zato ga lahko krmilimo natančneje. Ker se masa modelov, ki jih po dimenzijah še lahko postavimo na potresno

mizo, giblje v območju zmogljivosti bata, zadošča pa tudi razpoložljivi hod ± 125 mm, navadno za pogon mize uporabljamo bat s statično zmogljivostjo 160 kN. Razpoložljiva moč dveh hidravličnih agregatov – črpalk, ki se lahko med seboj tudi povežeta in pri delovnem tlaku 280 barov zagotavljata pretok olja do 245 l/min., je 140 kW. To je dovolj, da hidravlični sistem poganja s pospeški

do velikosti 5 g koristno maso do velikosti 5000 kg.

Zmogljivost sistema z batom 160 kN je prikazana na sliki 16 pri pogoju, da mora bat premikati koristno maso v velikosti 5000 kg. Kot je videti, naprava izpolnjuje pogoje za preiskave popolnih modelov tudi pri merilu 1 : 5, medtem ko med preiskavo enostavnih modelov pri višjih frekvencah in visokih pospeških že lahko pride do popačenja želenega gibanja tal. Tipično ujemanje med akceleroگرامom potresa, uporabljenim za izračun pomikov za krmiljenje potresne mize, in izmerjenimi vrednostmi pospeškov na potresi mizi med preiskavo popolnega modela, izdelanega v merilu 1 : 4, prikazuje slika 17. Vhodni akceleroگرام (želeni vrednosti) in dejanski časovni odziv mize pri popolnem modeliranju se zelo dobro ujemata med seboj. Do popačenja pride šele potem, ko se intenziteta modeliranega potresa močno poveča in preseže intenziteto prototipnega potresa za več kot dva- do trikrat.

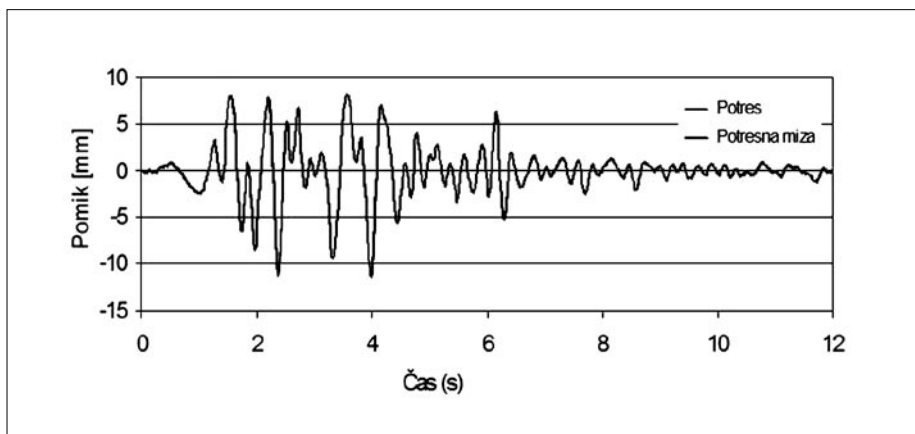
Tudi medsebojna primerjava drugih parametrov, s katerimi se opiše potresno gibanje tal, kot so Ariasova intenziteta (Arias, 1970), spektri odziva, vhodna energija in podobno, kaže, da s potresno mizo dosežemo zadovoljivo ujemanje značilnosti gibanja potresne mize z značilnostmi prototipnega, vhodnega potresa. Primerjava med maksimalnimi pospeški in pomiki potresne mize, Ariasovo intenziteto in vhodno energijo je prikazana v preglednici 3 za primer, ko smo črnogorski potres modelirali za preiskavo popolnega modela v merilu 1 : 4, celotna gibajoča se masa pa je bila približno 3000 kg. Vrednosti so primerjane za vsako posamezno fazo preiskave posebej (glej naslednje poglavje), korelacija med modeliranim vhodnim potresom in dejanskim gibanjem potresne mize pa je zadovoljiva celo takrat, ko intenziteta vzbujanja preseže intenziteto modeliranega prototipnega potresa za dva- do trikrat. Čeprav pri ekstremnih povečanjih intenzitete pride po popačenja vršnih vrednosti pospeškov in zato tudi do sprememb razmerij med Ariasovo intenziteto in vhodno energijo, gibanje potresne mize zadrži osnovne značilnosti vhodnega, prototipnega potresa.

3.3 Krmiljenje potresne mize in potek preiskave

Čeprav je kontrolni sistem za pogon programskih hidravličnih batov prirejen bodisi za krmiljenje sil bodisi pomikov, se je izkazalo, da je krmiljenje batov s pomiki v dinamičnih pogojih precej enostavnejše kot krmiljenje s silami oziroma pospeški (sila = masa $\cdot$ pospešek).

Faza	$a_{\max}$ (g)	$\frac{a_{\max,Ri}}{a_{\max,R100}}$	$d_{\max}$ (mm)	$\frac{d_{\max,Ri}}{d_{\max,R100}}$	I_A (m/s)	$\frac{I_{A,Ri}}{I_{A,R100}}$	E_{inp} (Nm)	$\frac{E_{\text{inp},Ri}}{E_{\text{inp},R100}}$
R005	0,027	0,06	0,600	0,05	0,0051	0,00	0,8	0,00
R025	0,109	0,23	2,854	0,25	0,1380	0,06	20,4	0,06
R050	0,239	0,49	5,660	0,50	0,5437	0,25	81,6	0,26
R075	0,380	0,79	8,509	0,75	1,2221	0,56	180,1	0,57
R100	0,483	1,00	11,322	1,00	2,1638	1,00	318,0	1,00
R150	0,727	1,51	17,034	1,50	4,8413	2,24	711,6	2,23
R200	1,015	2,10	22,721	2,00	8,5955	3,97	1259,2	3,96
R300	2,682	5,55	34,002	3,00	21,6463	10,00	2658,8	8,36
R350	3,555	7,36	39,492	3,49	30,7944	14,23	3411,1	10,72

Preglednica 3 • Primerjava med maksimalnimi pospeški, $a_{\max}$, in pomiki potresne mize, $d_{\max}$, Ariasovo intenziteto, I_A , in vhodno energijo, E_{inp} , potresne mize v posameznih fazah preiskave popolnega modela v merilu 1 : 4



Slika 18 • Primerjava med izračunanimi pomiki črnogorskega potresa, s katerimi krmilimo potresno mizo (rdeče), in izmerjenimi pomiki potresne mize (črno); popoln model, merilo 1 : 4, masa 3000 kg

Krmiljenje s silami oziroma pospeški bi v dinamičnih pogojih zahtevalo vsakokrat posebej upoštevanje interakcije med potresno mizo in preiskovanega modela.

Med potresom se beleži časovni potek pospeškov tal. Ker neposredno zapisanih informacij o poteku hitrosti in pomikov gibanja tal ni, časovni potek pospeškov tal za hitrosti enkrat, za izračun pomikov pa dvakrat integriramo. Postopek numerično ni zapleten, vendar je treba pri računu upoštevati celo vrsto parametrov, od lastnosti instrumentov – akcelero metrov, t.i. prenosno funkcijo, načina, kako interpoliramo vrednosti digitaliziranih podatkov, če niso zapisane v enakih časovnih intervalih oziroma če so ti predolgi, do napak, ki nastanejo zaradi izbrane metode integracije in nepoznatih začetnih pogojev. V našem primeru, ko so vrednosti pospeškov

zapisane v enakih časovnih intervalih, dolgih 0,02 s, smo za integracijo uporabili trapezno metodo, napake zaradi začetnih pogojev pa korigirali z enostavno linearno korekcijo osnovne linije. Slika 18 prikazuje časovni potek pomikov gibanja potresne mize, ki odgovarja časovnemu poteku črnogorskega potresa, modeliranega za preiskavo popolnega modela v merilu 1 : 4. Seveda je ujemanje med želenimi in dejanskimi pomiki še boljše kot ujemanje pospeškov, skoraj popolno.

Da bi med preiskavo dobili čim večje število pomembnih podatkov, se tudi na zavodu držimo nenapisanega pravila, da model preiščemo z nizom zaporednih vzbujanj, ki jim postopoma povečujemo intenziteto, med posameznimi fazami preiskave pa ugotavljamo, kako se spreminjajo stanje modela in njegove dinamične lastnosti. Faze navadno

označujemo s števkami, ki pomenijo odstotke polne intenzitete prototipnega potresa. Faza z oznako R100 tako pri nas pomeni, da je bil model preiskan s potresom, ki je na modelu pustil enake posledice, kot bi jih na njegovem prototipu pustil npr. črnogorski potres. Oznaka R200 pomeni, da je bilo vzbujanje dvakrat močnejše, oznaka R50 pa, da je bilo vzbujanje za polovico šibkejše.

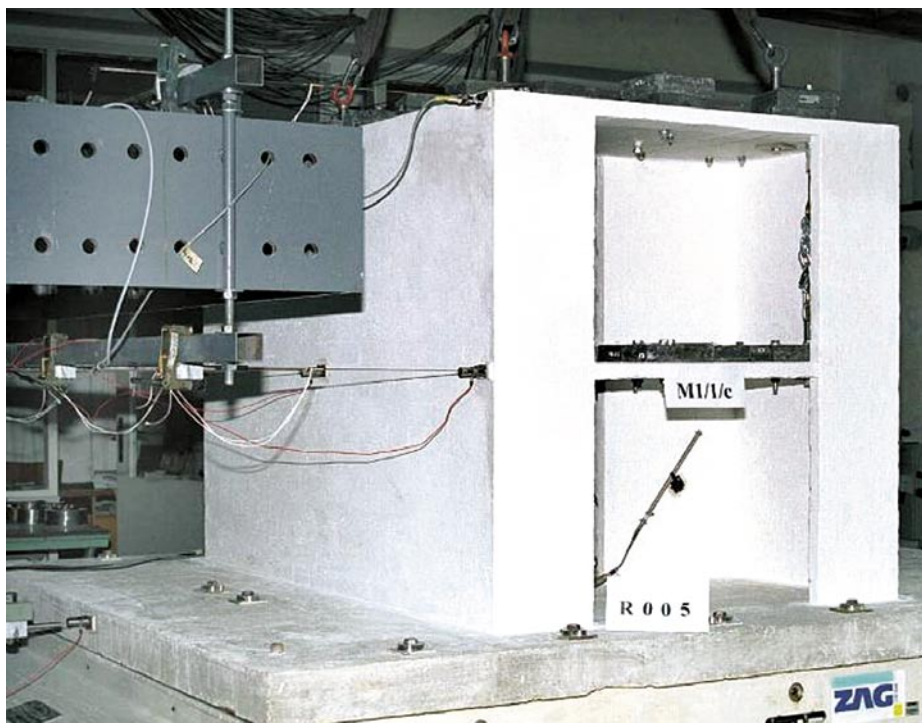
Ker je proces krmiljenja zelo natančen, pospeški v območju zmogljivosti hidravličnega bata naraščajo premo sorazmerno s povečanjem krmilnih pomikov. Ravno tako naraščajo vsi ostali parametri, vključno z amplitudami spektrov odziva. Podatki v preglednici 3 kažejo, da je v analiziranem primeru do popačenja prišlo šele takrat, ko so pospeški potresne mize več kot trikrat presegli vrednosti prototipnega potresa.

Med posameznimi fazami vzbujanja s potresno mizo izmerimo tudi spremembo dinamičnih lastnosti preiskovanega modela. Preiskava je enostavna: z udarcem s posebnim kladivom vzbudimo nihanje modela, z analizo zapisanega iznihanja pa ugotovimo lastne frekvence nihanja in dušenja. S Fourierovo analizo časovnega poteka odziva modela med samim vzbujanjem lahko ugotovimo (analiziramo posamezne, med seboj prekrivajoče se dele odziva – okna), da se lastna frekvenca nihanja modela spreminja tudi med samim odzivom.

3.4 Meritve, zajemanje in obdelava podatkov

Dinamične veličine, s katerimi opišemo nihanje konstrukcije med potresom in ki jih merimo med preiskavo na potresni mizi, so predvsem pospeški in pomiki. Včasih nas zanima, kako se med nihanjem spreminjajo deformacije materialov v prerezi, kritičnih za obnašanje konstrukcije in za nastanek porušnih mehanizmov (zidovje, armatura in zalivni beton), včasih nas zanimajo tudi druge fizikalne veličine oziroma nas zanima, kako se obnašajo elementi za utrditev, ki jih vgradimo za izboljšanje obnašanja konstrukcije med potresom (vezi, izolatorji ipd.). Ne glede na to, da nam sodobna merilna tehnika omogoča, da ni treba več skopariti z merilniki, moramo skrbno premisliti, kam jih pritrditi, da bodo čim dlje delovali. Čeprav so razmeroma poceni, pa večino merilnikov pred pričakovano porušitvijo odstranimo z modela, da se pri padcu modela ne bi preveč poškodovali ali celo uničili.

Medtem ko večino merilnikov pritrdimo na model, pri čemer pazimo, da so mesta, kjer jih pritrdimo, čim manj izpostavljena

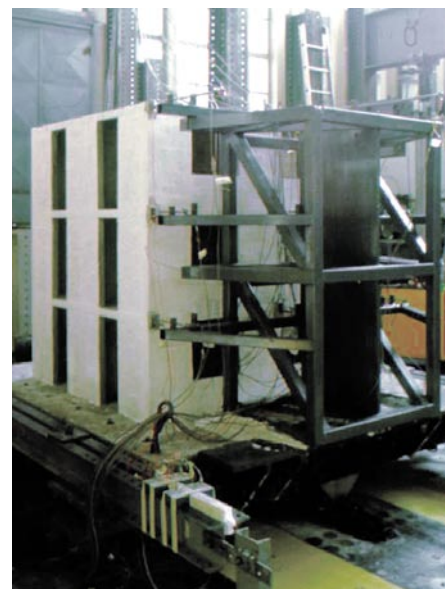


Slika 19 • Model med preiskavo na potresni mizi. Ogrodje za namestitev merilnikov je pritrjeno zunaj mize; merijo se absolutni pomiki modela

možnosti nastanka poškodb, merilnike pomikov pritrdimo na posebno konstrukcijo. Ta je lahko postavljena izven območja vpliva potresne mize, tako da merimo absolutne pomike modela, od katerih v vsakem trenutku odštejemo pomik potresne mize (slika 19). Konstrukcijo za namestitev merilnikov pomika lahko pritrdimo tudi na potresno mizo in merimo pomike modela glede na potresno mizo (slika 20). Konstrukcija za namestitev merilnikov mora biti v tem primeru

izredno toga, saj njen odziv ne sme pokvariti meritev. Izkazalo se je, da mora biti njena lastna frekvenca vsaj 100- do 200-krat višja od lastne frekvence modela, sicer so z vrednotenjem rezultatov meritev težave. Medtem ko z laserskimi merilniki ni treba vzpostaviti neposredne povezave z modelom, imajo vsi ostali merilniki pomikov tipala pritrjena na model.

Posebni sistemi za zajemanje podatkov skrbijo, da se električni signali, ki jih oddajajo



Slika 20 • Model med preiskavo na potresni mizi; ogrodje za namestitev merilnikov je pritrjeno na mizo; merijo se relativni pomiki modela glede na temelj

merilniki, ustrezno ojačijo in z veliko hitrostjo v pravilnem vrstnem redu zapišejo v spomin. Sodobni merilni sistemi in krmilni računalniki so sposobni obdelati izredno veliko število podatkov. Če je bilo včasih treba zelo premisliti, kam namestiti morda le deset razpoložljivih merilnikov, da bodo meritve kolikor toliko dobro opisale obnašanje modela, je danes vprašanje, kako obdelati množico izmerjenih podatkov oziroma kako izločiti nepotrebne meritve.

4 • TIPIČNI PRIMERI

Na Zavodu za gradbeništvo Slovenije smo na potresni mizi preiskali že lepo število modelov zidanih stavb in raziskali že marsikatero lastnost, ki vpliva na obnašanje zidanih konstrukcij pri potresni obtežbi. Kaj raziskujemo na modelih in kako analiziramo podatke meritev, bomo poskusili opisati na nekaterih značilnih primerih, ki jih bomo predstavili v nadaljevanju. Da bi prikazali njihovo uporabno vrednost, bomo tudi pokazali, da so rezultati modelnih preiskav lahko podlaga za ustrezne sklepe celo takrat, ko ne izpolnimo v celoti vseh pravil modeliranja. Le interpretirati jih moramo na pravi način.

4.1 Vpliv zidnih vezi

Analiza poškodb starih zidanih stavb po potresih pokaže, da je treba za ustrezno obnašanje stavb med potresi zagotoviti celovitost konstrukcije in skupno delovanje vseh nosilnih elementov. Da bi raziskali, kako delujejo naknadno vgrajene zidne vezi, smo na potresni mizi preiskali dve seriji modelov kamnitih in opečnih zidanih hiš z lesenimi stropi. Modeli, ki smo jih sezidali kot popolne modele v merilu 1 : 4, so predstavljali enostavne enoprostorske, dvoetažne hiše, ki so imeli v zidovih, ki so stali pravokotno na smer delovanja potresa, okenske in vratne odprtine.

Da bi raziskali mehanizem delovanja vezi, smo v vsaki seriji najprej preiskali referenčni model z lesenimi stropi brez vezi, nato pa še po dva modela, od katerih je imel eden zidove, povezane z vezmi, drugi pa namesto vezi in lesenih stropov armiranobetonske plošče (Tomaževič in sod., 1992).

Za izdelavo modelov kamnitih hiš smo uporabili kar naravni kamen, odvzet iz dejanske hiše, ki smo ga zdrobili na primerno majhne kose, primerne mehanske lastnosti zidovja pa smo dosegli s prilagojeno sestavo malte (glej sliko 6b). Modele opečnih hiš smo sezidali iz opek, ki smo jih ulili iz malte ustrezne sestave. Za jeklene vezi, ki smo jih vgradili enako kot v prototipnih hišah in jih sidrali s podložnimi ploščami v vogalih, pa smo uporabili žgano žico, ki smo ji ustrezno zmanjšali premer.



Slika 21 • Črna gora, 1979: porušitev kamnite hiše z nepovezanim zidovjem

Zidne vezi smo opremili z merilnimi lističi, saj je bil cilj raziskave ugotoviti, kaj se med potresom dogaja v vezeh.

Ugotovili smo, da leseni stropi, ki niso sidrani v zidovje, ne morejo preprečiti ločevanja zidov, zaradi česar lahko pride do porušitve zgornjih nadstropij (sliki 21 in 22). Če pa zidove povežemo z jeklenimi vezmi, se stavba odzove na potres kot celovita konstrukcija, čeprav lesenih stropov ne zamenjamo s togimi armiranobetonskimi diafragmami (slika



Slika 22 • Mehanizem porušitve modela kamnite hiše z nepovezanim zidovjem

23). Rezultati raziskav so dali tudi podatke za dimenzioniranje jeklenih zidnih vezi. Med preiskavo smo merili deformacije zidnih vezi (slika 24). Ugotovili smo, da pri nihanju zidu pravokotno na ravnino lahko uporabimo analogijo z armiranobetonsko zidno vezjo (upogib) in profil zidne vezi izračunamo na podlagi predpostavke, da se med nihanjem ustvari armiran upogibni nosilec, katerega statična višina je enaka debelini zidu, obremenitev pa predstavljajo enakomerno po-

razdeljene vztrajnostne sile, ki nastanejo v višini stropa, kjer leži vez. Za oceno obtežbe upoštevamo pospešek v višini stropa in pripadajočo maso zidu (polovico višine etaže pod vezjo in polovico nad njo).

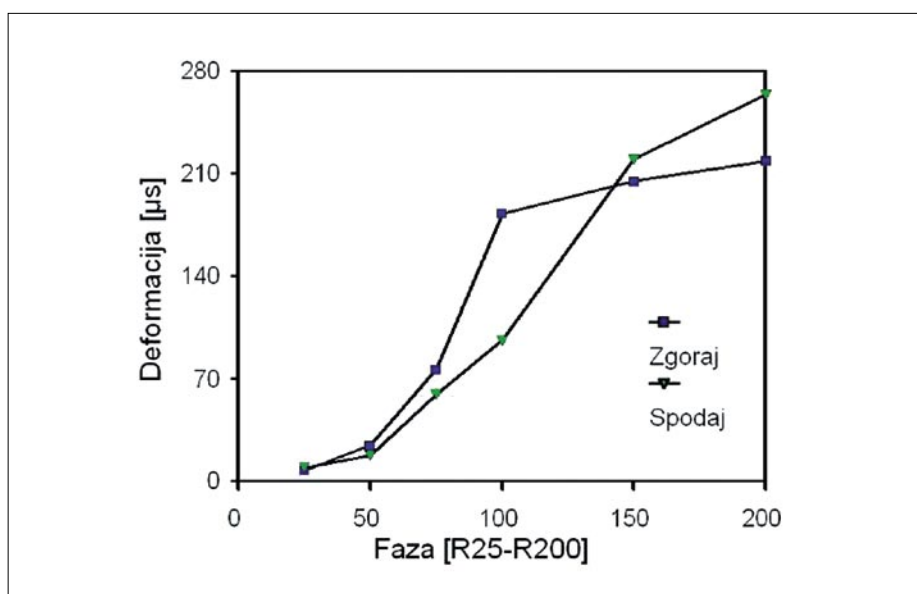
Če vez povezuje zidove v ravnini delovanja potresa, jo dimenzioniramo na podlagi predpostavke, da se v končnem mejnem stanju ustvari mehanizem paličja, kjer končno prečno silo, ki nastane pri doseženi strižni nosilnosti dela povezanega dela stavbe, prevzame vez. Meritve deformacij v zidnih vezeh med preiskavo modelov na potresni mizi (slika 24) so namreč pokazale, da v vezeh nastane sila, enaka prečni sili v nadstropju nad vezmi v trenutku, ko doseže zidovje svojo strižno odpornost.

4.2 Potresna izolacija in povezovanje z laminatnimi trakovi CFRP

Pred nedavnim smo poročali o raziskavah možnosti zamenjave običajnih jeklenih vezi s trakovi iz s karbonskimi vlakni ojačenih polimernih laminatov (CFRP) in o možnosti, če se da s potresno izolacijo nadomestiti običajne posege v konstrukcijo (Tomažević in sod., 2008). Preiskali smo pet po zasnovi enakih modelov dvonadstropne opečne hiše z lesenimi stropi brez zidnih vezi, izdelanih v merilu 1 : 4, ki so bili na preiskavo pripravljeni na različne načine: Medtem ko je bil referenčni model sezidan neposredno na temeljno ploščo, sta bila dva modela od nje ločena, prvi z vlagozapornim slojem v obliki polietilenske folije, vložene med drugo in tretjo



Slika 23 • Mehanizem porušitve modela kamnite hiše s povezanim zidovjem



Slika 24 • Deformacije v vzdolžnih jeklenih zidnih vezeh povezanega modela, izmerjene v posameznih fazah preiskave

vrsto zidakov, drugi pa s potresnimi izolatorji, vloženi med temeljno ploščo in nosilnim zidovjem. V nadaljevanju raziskave smo četrti in peti model utrdili s trakovi CFRP, s katerimi smo ponazorili navpične in vodoravne zidne vezi in utrdili zidovje. Četrti model je bil sezidan neposredno na temeljni plošči, medtem ko je bil peti s potresnimi izolatorji ločen od nje. Ker bi pri izdelavi popolnih modelov z modeliranjem lastnosti polimernih laminatov in vlagozapornega sloja naleteli na težko premostljive težave, smo izdelali modelne materiale, katerih mehanske lastnosti so se gibale v okviru razpona vrednosti, ki smo jih s preiskavami ugotovili na zidovju starih opečnih stavb. Tako smo v modelih ustvarili podobna razmerja med lastnostmi laminatov, lepil, zidovja in drugih uporabljenih materialov, kot v pravi konstrukciji. Prototipno konstrukcijo smo ponazorili z enostavnim modelom. Mehanske lastnosti prototipnega in modelnega zidovja so primerjane v preglednici 4.

Kot smo že povedali, sta za zagotavljanje podobnosti dinamičnega obnašanja in porušnega mehanizma med modelom in prototipom ključni dve zahtevi: podobna porazdelitev mas in togosti po višini prototipa in modela in podobno razmerje med napetostmi v zidovih in tlačno oziroma natezno trdnostjo zidovja. Ker v danem primeru nismo preiskovali popolnih, pač pa enostavne modele, smo se morali prepričati, če so potrebni dodatni ukrepi za zagotavljanje teh zahtev. Pri tipičnih opečnih stavbah s podobnim razstojem med zidovi kot pri preiskanih modelih, se vrednosti razmerja med maso stropov in pripadajočo maso zidov gibljejo v območju 1 : 2,5–1 : 3. Pri preiskanih modelih je bilo to razmerje 1 : 4,1 v prvem in 1 : 2,1 v drugem nadstropju.

Po oceni se gibljejo tipične vrednosti tlačnih napetosti v zidovju pri dvonadstropnih opečnih stavbah v območju 0,12 MPa–0,15 MPa, kar pomeni širok razpon 1,2 %–10 % pričakovanih vrednosti tlačne trdnosti zidovja. Vrednosti so odvisne od teže stropov, etažne višine in razstoja med zidovi. V obravnavanem primeru so bile tlačne napetosti na spodnji meji pričakovanega območja, tj. 0,12 MPa, kar pomeni 2 % tlačne trdnosti modelnega zidovja. Čeprav je vrednost na spodnji meji, je razmerje med dejansko tlačno napetostjo in trdnostjo zidovja še vedno v pričakovanem območju. Zato lahko sklepamo, da bodo ne glede na to, da smo brez posebnih dodatnih ukrepov preiskali enostavne modele, izpolnjeni vsi pogoji za doseganje podobnosti obnašanja modelov in prototipne konstrukcije.

Fizikalna veličina	Prototip	Model
Tlačna trdnost (f_c)	1,5–10,0 MPa	6,1 MPa
Natezna trdnosti (f_t)	0,10–0,70 MPa	0,23 MPa
Modul elastičnosti (E)	1500–3800 MPa	1864 MPa
Strižni modul (G)	60–165 MPa	68 MPa
Specifična masa (γ)	1600 kg/m ³	1685 kg/m ³

Preglednica 4 • Razmerja med trdnostnimi lastnostmi zidovja prototipne in modelne stavbe

Kot kažeta sliki 25 in 26, smo med preiskavo referenčnega modela z lesenimi stropi in nepovezanim zidovjem (slika 26) ugotovili enak mehanizem porušitve, kot smo ga opazili na starih stavbah podobne zasnove po potresu (slika 25).

Tudi pri tej študiji smo za krmiljenje potresne mize uporabili 24 s dolgo registracijo poteka pospeškov močne faze potresa v Črni gori leta 1979. Vendar smo pri preiskavi prvega modela zaradi procesne napake mizo krmilili s potresom, modeliranim v skladu s pravili, ki veljajo za popolne modele: čas trajanja smo zmanjšali za polovico (s kvadratnim korenom merila dolžin), pospeški pa so ostali enaki kot pri prototipnem potresu. Glede na to, da smo preiskovali enostavne modele, bi morali čas skrajšati z merilom dolžin, tj. štirikrat, pospeške pa enakokrat povečati.

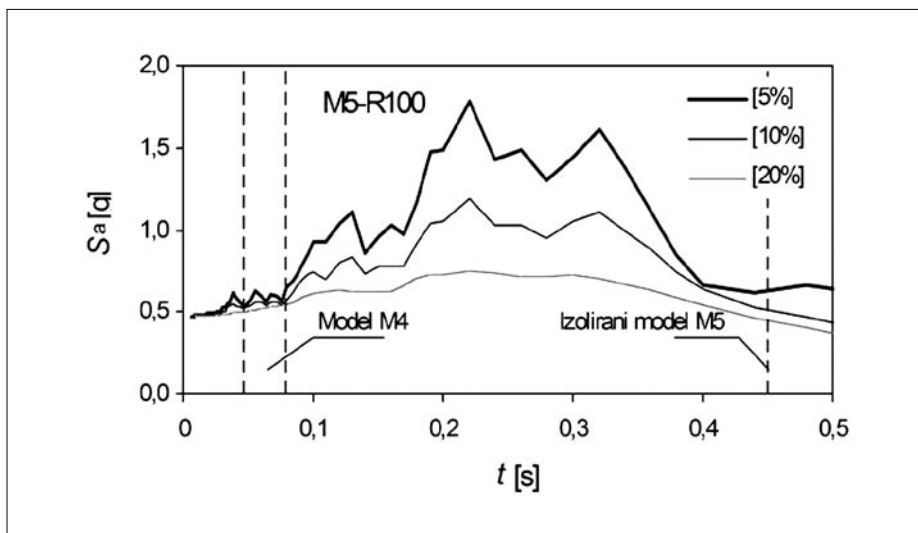
Kako je napaka vplivala na rezultat preiskav? Predvsem na podlagi meritev ne moremo sklepati, kako bi se prototipne stavbe odzvale na 24 s dolgo močno fazo črnogorskega potresa. V danem primeru bi bil prototipni potres po obliki sicer podoben črnogorskemu, vendar bi namesto 24 s trajal 48 s, največji pospešek tal pa bi bil enak le 0,11 g. Zato interpretacija rezultatov, v kateri bi se sklicevali na črnogorski potres, nima smisla. Ker velja, da je rezultat vsakega eksperimenta uporaben, le interpretirati ga moramo na pravilen način, to storimo tudi v danem primeru. Če želimo sklepati, kaj se bo med potresom zgodilo s prototipno konstrukcijo, moramo posebej analizirati dinamične lastnosti vzbujanja s potresno mizo in njihov vpliv na preiskane modele. Pri analizi gibanja potresne mize velikost pospeškov niti ni toliko pomembna, saj intenziteto vzbujanja v posameznih fazah postopno povečujemo. Pozornost pa moramo posvetiti dejstvu, da časa trajanja nismo



Slika 25 • Umbrija, 1997: tipične poškodbe kamnite hiše z nepovezanim zidovjem



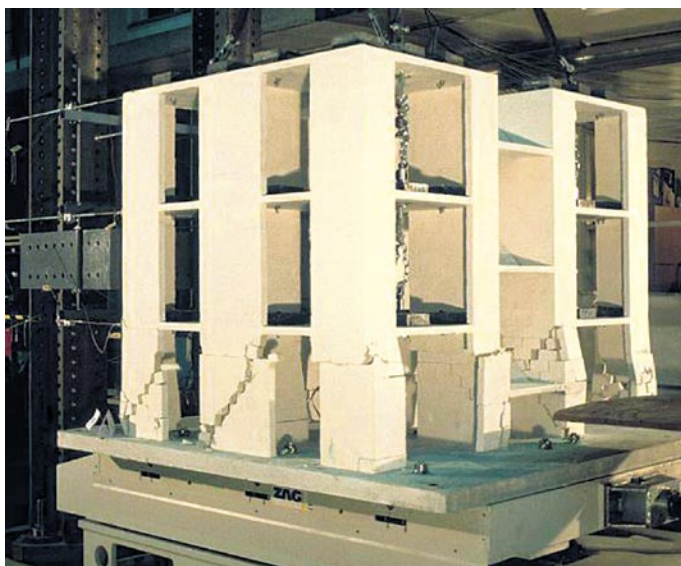
Slika 26 • Mehanizem porušitve modela kamnite hiše z nepovezanim zidovjem



Slika 27 • Spekter odziva pospeškov potresne mize z vrisanim območjem lastnih nihajnih časov preiskanih modelov (čas trajanja vzbujanja 12 s)

Oznaka	Tip	Material	Opomba
M1-1	vrstna hiša	kalcijev silikat	brez vezi
M1-2	vrstna hiša	opečni votlak	brez vezi
M1-1c	vrstna hiša	kalcijev silikat	vezi ob stopnišču
M1-1d	vrstna hiša	kalcijev silikat	v celoti povezana
M2-1	stan. hiša	kalcijev silikat	brez vezi
M2-2	stan. hiša	opečni votlak	brez vezi

Preglednica 5 • Opis modelov, preiskanih na potresni mizi



Slika 28 • Etažni strižni mehanizem porušitve modela trietažne stanovanjske hiše iz navadnega zidovja



Slika 29 • Črna gora, 1979: etažni strižni mehanizem porušitve navadne opečne stavbe

skrajšali, s čimer območje maksimalnega ojačanja v spektru odziva potresa ni več sovpadalo z lastnim nihajnim časom modelov, kot je bilo načrtovano (slika 27).

Z dodatno analizo gibanja potresne mize, ki ne bi bila potrebna, če bi izbrani prototipni potres modelirali v skladu z zakonitostmi modeliranja, smo ugotovili, da so bili učinki vzbujanja na preiskane modele podobni, kot bi bili v primeru pravilno modeliranega potresa. Kot merilo za intenziteto vzbujanja lahko uporabimo pospeške tal, kot merilo za primerjavo obnašanja pa prečno silo v pritličju, ki jo izračunamo iz izmerjenega časovnega odziva pospeškov in poznane mase modelov. Seveda moramo pri takšni primerjavi paziti, da pri vrednotenju ne upoštevamo meritev v fazi, ko so nepovezani modeli začeli razpadati, in predpostavke, na podlagi katerih izračunamo prečno silo, ne veljajo več. Čeprav so v tej fazi preiskave še delovali merilniki pospeškov in pomikov, izmerjene vrednosti niso več uporabne za analizo.

4.3 Faktor obnašanja konstrukcije

Da bi preverili v EC 8 priporočene vrednosti faktorja obnašanja konstrukcije q za zidane konstrukcije, smo na potresni mizi preiskali 6 modelov, ki so predstavljali stavbe dveh različnih zasnov, sezidanih iz dveh vrst zidakov (Tomaževič in sod., 2004): izsek dvonadstropne vrstne hiše z glavnimi nosilnimi zidovi, pravokotnimi na smer delovanja potresa (model prikazuje slika 19), in trinadstropno stanovanjsko hišo z enakomerno razporejenimi nosilnimi zidovi v obeh pravokotnih smereh (slika 28). V primeru vrstne hiše so bili zidovi dveh modelov delno ali v celoti povezani z navpičnimi vezmi (preglednica 5).

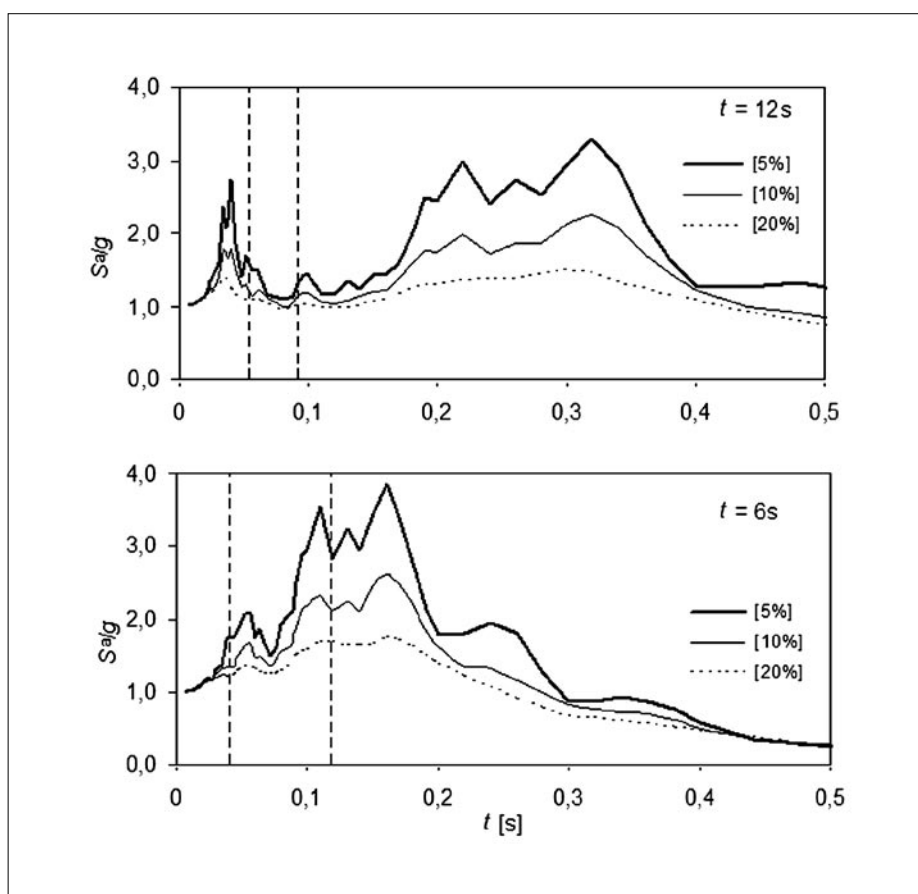
Modeli so bili izdelani v merilu 1 : 5. Načrtovali smo jih kot popolne modele, zato smo izde-

lali modelne zidake, s katerimi smo dosegli, da je bilo obnašanje zidov modela podobno obnašanju zidov iz prototipnih materialov (sliki 6 in 7a). Da bi izpolnili pogoje popolne modelne podobnosti, smo na stropne plošče z vijaki pritrdili dodatno maso v obliki jeklenih kvadrov (slika 9). V preglednici 6 navajamo, kako se je pri preiskanih modelih z razmerami na prototipni konstrukciji ujemalo razmerje med maso stropov in koristne obtežbe ter maso zidov, skoncentrirano v višini stropov. Ravno tako prikazujemo podobnost razmerij med tlačnimi napetostmi v zidovih in tlačno trdnostjo zidovja v prototipni konstrukciji in modelu. Lahko ugotovimo, da smo v danem primeru točno modelirali podobnost porazdelitve mas, nekoliko manj, vendar še vedno dovolj natančno, da lahko obravnavamo fizikalne modele konstrukcij kot popolne modele, pa razmerja med dejanskimi napetostmi in tlačno trdnostjo zidovja. Zato lahko sklepamo, da smo s preiskavo verodostojno ponazorili strižni etažni porušni mehanizem, tipičen za navadne zidane konstrukcije s podobno zasnovo konstrukcije (slika 29).

Tako kot v prej opisanem primeru tudi pri tej seriji preiskav modeliranje izbranega potresnega gibanja tal ni potekalo v celoti v skladu z izbrano tehniko modeliranja. Medtem ko je bil prototipni potres pri prvih treh modelih skrajšan z merilom $S_i = 2$, in ne z merilom $S_i = \sqrt{5} = 2,24$, kot bi zahtevalo popolno modeliranje, je bil pri drugih treh modeli še dvakrat krajši. Vzbujanje pri modelih M2-1, M2-2 in M1-1 je namesto 10,7 s ($24/\sqrt{5}$) trajalo 12 s. Ker je analiza spektrov odziva pokazala, da lastni nihajni časi modelov ležijo izven območja največjega spektralnega ojačanja, je bil pri modelih M1-2, M1-1c in M1-1d čas vzbujanja skrajšan na 6 s. S tem so se nihajni časi preostalih treh modelov približali resonančnemu območju modelnega potresa. Če razlike zaradi napake pri faktorju merila časa pri prvih treh modelih niti niso pomembne (lahko bi celo rekli, da smo modelirali 27 s dolgo močno fazo črnogorskega potresa: $27/\sqrt{5} = 12$ s), pa dodatno dvakratno skrajšanje pomeni tolikšne spremembe spektra odziva, da tudi tokrat ne moremo govoriti, kako bi se prototipi, ki jih predstavljajo sicer skoraj popolno fizikalno modelirani modeli, odzvali na črnogorski potres. Še več, v tem primeru ne moremo neposredno – samo na podlagi nominalne intenzitete vzbujanja s potresno mizo – primerjati niti obnašanja modelov. Trije modeli so bili namreč preiskani s potresom, ki je trajal 12 s, trije pa s potresom, ki je trajal 6 s. Tipična spektra odziva

Model	m_{wp} (kg)	m_{ip} (kg)	m_{wp}/m_{ip}	m_{wm} (kg)	m_{im} (kg)	m_{wm}/m_{im}	σ_{op} (MPa)	σ_{om} (MPa)	σ_{op}/σ_{om}
M1-1	22200	35300	0,63	178	288	0,62	0,26	0,06	4,3
M1-2	10000	35300	0,28	61	288	0,21	0,20	0,05	4,0
M2-1	25700	67900	0,38	206	518	0,40	0,55	0,11	5,0
M2-2	11600	67900	0,17	70	518	0,14	0,46	0,11	4,2

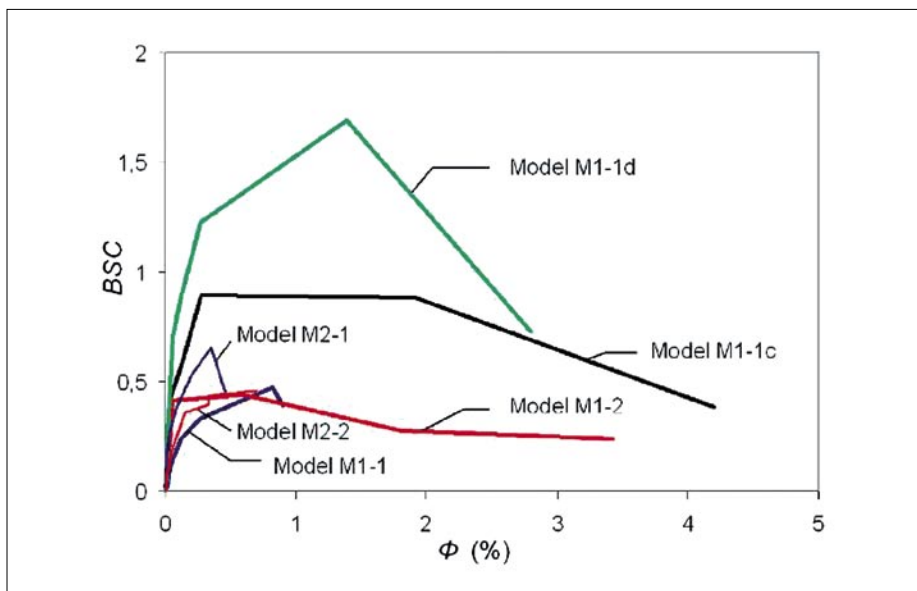
Preglednica 6 • Mase zidovja (m_w) in stropov (m_i), skoncentrirane v višini stropov, in povprečne tlačne napetosti v zidovih (σ_o) prototipnih konstrukcij (indeks P) in modelov (indeks M)



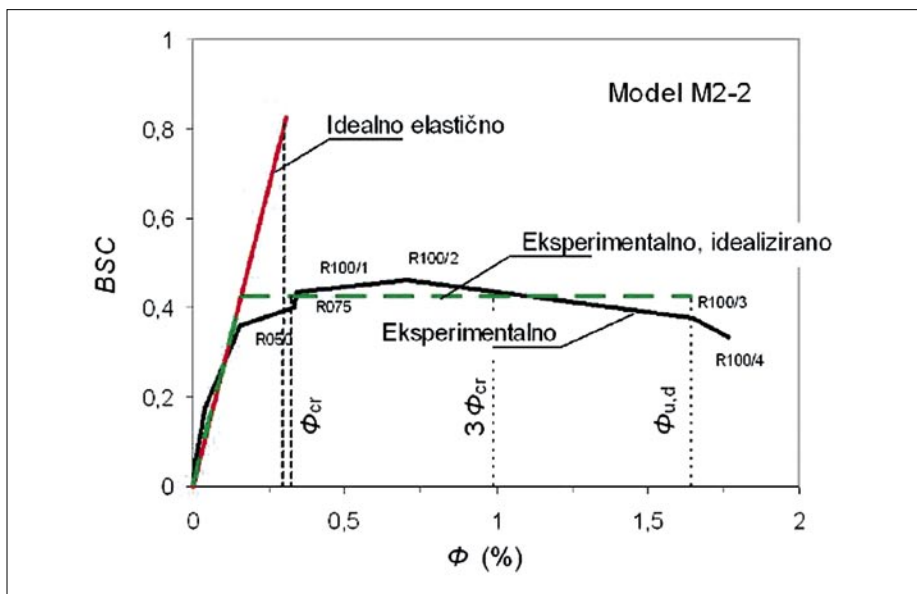
Slika 30 • Spektra odziva pospeškov 12 s in 6 s dolgega vzbujanja s potresno mizo z vrisanim območjem lastnih nihajnih časov preiskanih modelov

za čas trajanja potresa 12 s oziroma 6 s, v katerih so vrisana tudi območja lastnih nihajnih časov preiskanih modelov, sta v obliki spektralnega ojačanja prikazana na sliki 30. Razlike v učinkih na odziv modelov so očitne. Za medsebojno primerjavo obnašanja modelov moramo v danem primeru uporabiti druga merila. Bolj ali manj univerzalno merilo, ki ni toliko odvisno od načina vzbujanja, so krivulje odpornosti konstrukcije oziroma krivulje odvisnosti med nastalo prečno silo

v pritličju in njej odgovarjajočo deformacijo (etažnim pomikom oziroma zasukom), ki jih izvednotimo na podlagi izmerjenega odziva pomikov in pospeškov ter mase modelov (slika 31). Seveda se moramo tudi pri takšni primerjavi prepričati, kakšna so bila razmerja med vhodno energijo vzbujanja v posameznih fazah preiskave, pa tudi nekatere drugimi parametri, pomembnimi za odziv preiskane konstrukcije na potresno vzbujanje. Analiza teh parametrov je pokazala, da so po-



Slika 31 • Primerjava krivulj odpornosti za preiskane modele



Slika 32 • Vrednotenje faktorja obnašanja konstrukcije q na podlagi izmerjene krivulje odpornosti modela

5 • SKLEPI

V prispevku smo predstavili prednosti in pomanjkljivosti preiskav modelov zidanih stavb v pomanjšanem merilu na enostavni potresni mizi, ki jo imamo v laboratoriju za konstrukcije na Zavodu za gradbeništvo Slovenije. Kot kaže primerjava eksperimentalnih rezultatov z učinki potresa na zidane stavbe, ki smo jih ugotovili po potresih, lahko dobimo s preiskavami modelov zanesljive podatke

o pričakovanem splošnem obnašanju in porušnih mehanizmih, čeprav niti fizikalnega modela stavbe ne izdelamo popolnoma v skladu z zahtevami modelne podobnosti niti ne modeliramo izbranega potresnega gibanja tal povsem natančno.

Modele lahko izdelamo bodisi kot popolne, pri katerih trdnostne lastnosti materialov zmanjšamo v modelnem merilu, bodisi kot

datki o obnašanju modelov, čeprav dobljeni z različnim vzbujanjem, med seboj primerljivi. Z upoštevanjem dejanskih razmerij med vsakokratno modelirano potresno obtežbo in dejanskim potresom jih lahko tudi preslikamo na ustrezne prototipe.

Tu smo prikazali samo nekatere probleme, ki smo jih morali rešiti pred interpretacijo rezultatov preiskav zaradi nedoslednosti pri modeliranju potresnega vzbujanja. Na sliki 31 za ilustracijo prikazujemo povzetek primerjave obnašanja vseh preiskanih modelov s krivuljami odpornosti, na sliki 32 pa način, kako smo na podlagi krivulje odpornosti posameznega modela z uporabo definicije faktorja obnašanja konstrukcije q izvednotili razpoložljivo vrednost. Prispevek, v katerem bomo podrobno poročali o rezultatih raziskav, še pripravljamo.

enostavne, pri čemer uporabimo kar prototipne materiale. Največkrat je stanje nekje vmes: če nam uspe modelirati posamezni parameter, imamo lahko pri modeliranju drugega manj uspeha. Govorimo o popačenih modelih, pri katerih so mehanske in druge lastnosti materialov med zahtevanimi za popolno modeliranje in lastnostmi prototipa. Glede na to, koliko smo se približali popolnosti, se nam lahko zapletejo tudi priprave na preiskavo. Če želimo rezultate preiskave preslikati na konkretni prototip, moramo pri preslikavi vsekakor upoštevati dejanska razmerja med modelnimi

in prototipnimi materiali in vse druge faktorje, ki nam lahko popačijo sicer enostavne korelacije.

Glede na tehnološke in ekonomske možnosti za izdelavo materialov, ki jih lahko uporabimo za zidanje popolnih modelov zidanih konstrukcij, so študije in raziskave pokazale, da merilo 1 : 7 predstavlja spodnjo mejo za modele opečnih, merilo 1 : 4 pa kamnitih zidanih stavb. Za simulacijo enosmernega potresnega gibanja tal lahko uporabimo enostavno potresno mizo, ki jo poganja univerzalni dvosmerni delujoči programski bat, ki je priključen na zmogljivo hidravlično črpalko. Primerjava dinamičnih lastnosti gibanja potresne mize in potresa, ki se uporablja za krmiljenje, pokaže, da je odstopanje med želenimi in dejanskimi vrednostmi parametrov gibanja potresne mize

pri merilih modeliranja, ki jih običajno uporabljamo pri modelnih preiskavah, tj. 1 : 3 do 1 : 5, minimalno.

Medtem ko preiskava nelinearnega dinamičnega obnašanja popolnega modela ne zahteva nobenih prilagoditev, moramo pri enostavnem modelu poskrbeti za ustrezna napetostno-trdnostna razmerja v nosilnih elementih in ustrezno porazdelitev mas in togosti po višini. To včasih zahteva razmeroma zahtevne tehnične rešitve.

Zaradi praktičnih omejitev, ki jih pred nas postavljajo različne tehnike fizikalnega modeliranja konstrukcij in simulacije potresnega gibanja tal, moramo pred preiskavo modela na potresni mizi izvesti celo vrsto predhodnih raziskav, s katerimi določimo mehanske in druge lastnosti sestavnih materialov in zi-

dovja. Izvesti moramo tudi kalibracijske preiskave potresne mize, s katerimi ugotovimo lastnosti modeliranega potresnega gibanja tal in njegovo skladnost s prototipnim potresom. Ker je odločitev o velikosti modela odvisna od tehničnih omejitev potresne mize, velikosti ploščadi in zmogljivosti hidravlične opreme, batov in črpalk, moramo poznati tudi velikost večjih motenj in odstopanj med krmilnim in dejanskim časovnim potekom gibanja tal. Ravno tako moramo poznati resonančno frekvenco sistema, včasih pa tudi, kako samo nihanje modela (odziv) vpliva na krmiljenje gibanja potresne mize (interakcija model – potresna miza). Vse to – pa še marsikaj drugega – moramo raziskati pred vsako serijo preiskav modelov na potresni mizi.

6 • ZAHVALA

Avtor je pri pisanju prispevka uporabil podatke, pridobljene med pripravo in izvedbo številnih raziskav, ki so bile pod njegovim vodstvom izvedene na Zavodu za gradbeništvo Slovenije

in ki jih je večinoma financiralo zdajšnje Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo RS oziroma Agencija RS za raziskovalno dejavnost. Del opisanih raziskav je bil izveden

v okviru programa P2-0274 Gradbeni objekti, del pa v okviru sodelovanja s podjetjem Sika Slovenija, d. o. o., in z nemškim združenjem opekarjev Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, e. V. Podrobnosti o raziskavah, omenjenih v prispevku, bo bralec, ki ga problematika zanima, našel v objavljenih člankih in razpravah, ki jih avtor navaja v literaturi.

7 • LITERATURA

- Arias, A., A measure of earthquake intensity, V: Hanson, R. (ur.), *Seismic Design of Nuclear Power Plants*, MIT Press, Cambridge, 1970.
- Boštjančič, J., Model materials suitable for dynamic testing of models in the plastic range, V: *Proceedings, 6th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 3, New Delhi, 2745–2752, 1977.
- 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.
- Langhaar, H. L., *Dimensional analysis and theory of models*, John Wiley & Sons, New York, 1951.
- Mann, W., Müller, H., Failure of shear-stressed masonry – an enlarged theory, tests and application to shear walls, *Proceedings of the British Ceramic Society*, No. 30, Shelton House, Stoke-on-Trent, 223–235, 1982.
- Mann, W., Koenig, G., Oetes, A., Tests of masonry walls subjected to seismic forces, V: *Proceedings, 8th International Brick/Block Masonry Conference*, Dublin, Vol. 2, Elsevier Applied Science, London, 764–773, 1988.
- Oetes, A., Loering, S., On the behavior of masonry buildings subjected to seismic loads, *Bautechnik*, 83 (2), 125–138, 2006.
- Terčelj, S., Turnšek, V., Tomaževič, M., Sheppard, P., Laboratorijske preiskave pri reševanju problemov grajenja na potresnem področju, *Materiali i konstrukcije*, 21 (4), 3–11, 1978.
- Tomaževič, M., Turnšek, V., Lateral load distribution as a basis for the seismic resistance analysis of masonry buildings, V: *Proceedings, Research Conference on Earthquake Engineering*, Skopje, 455–488, 1980.
- Tomaževič, M., Dynamic modelling of masonry buildings: storey mechanism model as a simple alternative, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 15 (6), 731–749, 1987.
- Tomaževič, T., Velechovsky, T., Weiss, P., Raziskave potresne odpornosti zidanih zgradb z mešanim konstrukcijskim sistemom, *Gradbeni vestnik*, 38 (11–12), 311–318, 1989.

- Tomaževič, M., Velechovsky, T., Some aspects of testing small scale masonry building models on simple earthquake simulators, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 21 (11), 945–963, 1992.
- Tomaževič, M., Weiss, P., Velechovsky, T., Vpliv togosti stropov na potresno odpornost starih zidanih zgradb, *Gradbeni vestnik*, 41 (3–4), 73–84, 1992.
- Tomaževič, M., Lutman, M., Weiss, P., Seismic upgrading of old brick-masonry urban houses: tying of walls with steel ties, *Earthquake Spectra*, 12 (3), Earthquake Engineering Research Center, Oakland, 599–622, 1996.
- Tomaževič, M., Klemenc, I., Potresna odpornost zidanih stavb z navpičnimi vezmi: raziskave in računska analiza. *Gradbeni vestnik*, 46 (11–12), Informacije ZAG (320), 1997.
- Tomaževič, M., Bosiljkov, V., Weiss, P., Klemenc, I., Experimental research for identification of structural behaviour factor for masonry buildings, Part I, Poročilo ZAG, P 115/00-650-1, 2004.
- Tomaževič, M., Klemenc, I., Weiss, P., Protipotresna utrditev starih zidanih stavb s sodobnimi metodami: raziskave obnašanja modelov na potresni miz, *Gradbeni vestnik*, 57 (2), 30–42, 2008.
- Turnšek, V., Reisner, J., Aparatura za seizmičke opite, *Materiali i konstrukcije*, Beograd, 15 (2), 15–19, 1970.

PREGLED UPORABE RAZLIČNIH MATERIALOV ZA VODOVODNE CEVI TER POTENCIALNE MOŽNOSTI ONESNAŽEVANJA VODE ZARADI NJIHOVE SESTAVE

THE OVERVIEW OF THE USE OF DIFFERENT MATERIALS FOR PIPES OF WATER DISTRIBUTION SYSTEMS AND POTENTIAL POSSIBILITY OF THE POLLUTION OF WATER DUE TO THEIR COMPONENTS

dr. Darko Drev, univ. dipl. inž. kem.

Mitja Peček, univ. dipl. inž. vki.

Inštitut za vode RS

izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Strokovni članek

UDK: 628.14:628.19

Povzetek | Vodooskrbni sistemi so sestavljeni iz različnih gradbenih objektov, instalacijskih vodov in tehnološke opreme. Velik del teh objektov, instalacijskih vodov in tehnološke opreme je v neposrednem stiku z vodo iz vodooskrbnega sistema. Zato obstaja nevarnost, da pride do raztapljanja določenih snovi iz teh materialov v vodo. Posebej problematično je lahko raztapljanje določenih kovinskih ionov zaradi korozije ali pa migracija aditivov in razkrojnih produktov iz nekvalitetnih plastičnih materialov v vodo. Vsi materiali, ki so v kontaktu z vodo, morajo biti kemijsko zelo odporni. Vendar pa v Sloveniji in v drugih razvitih državah določene komponente vodooskrbnih sistemov še vedno vsebujejo neustrezne materiale. Pogoje za razpadne procese materialov ni težko vzpostaviti, saj pri kontaktu različnih kovin hitro nastanejo galvanški člani. Tudi plastika ni povsem odporna na izluženje različnih nevarnih snovi v vodo (mehčala, stabilizatorji itd.), še posebej, če je izbrani material napačen ali neustrezne kakovosti. V vodooskrbnih sistemih lahko občasno nastanejo pogoji, ki bistveno pospešijo korozijo (pH, temperatura itd.), zato obstaja možnost, da iz lokalnega vodovodnega omrežja priteče kontaminirana voda. Na glavnem vodovodnem omrežju je takšna možnost majhna, vendar pa jo kljub temu ne moremo zanemariti. Veliko vodovodnega omrežja je še vedno izdelanega iz pocinkanih jeklenih cevi, salonita, plastike vprašljive kakovosti itd. Pri tem ne smemo pozabiti tudi na betonske bazene, različne plastične in kovinske rezervoarje, tesnilne materiale, izmenjevalce toplote, ventile, pipe ipd. Da so omenjeni korozijski procesi resnično prisotni, se lahko prepričamo v vsakdanjem življenju, ko moramo zamenjati grelnik ali del lokalnega vodovoda. Znaki korozije so očitno prisotni. Še najočitnejši znaki propadanja vodovodov se kažejo pri izgubah načrpane vode, ki znašajo na vodovodih tudi do 30 %.

Summary | Water distribution systems consist of several components: civil engineering structures, water pipes, shafts, and purpose-built technological equipment. Several of these components of the water distribution system maintain constant contact with water. This represents a potential danger for water contamination as there exists a possibility that materials contained by some of these components might dissolve in water. Metallic ions released by corrosion of metals and the migration of additives and decomposition products from plastic materials represent the main threat in this context. This creates a necessity for high chemical resistance of all water-exposed materials used in water distribution. However, in Slovenia and other developed countries components of water distribution systems still consist of inadequate materials. This is troubling because the conditions necessary for decomposition processes to take place are easily met. When inadequate plastic materials are used, the migration of potentially dangerous materials (plasticizers, stabilizers, etc) into water can take place. As conditions in local water distribution systems are often conducive to corrosion, co-location of different types of metal can also quickly produce galvanic cells. Such contamination processes are less of a threat to main water distribution systems as they usually do not contain inadequate materials as local water distribution systems do. Good examples of inadequate construction are zinc-coated and »salonit« pipes, concrete water reservoirs, and inadequate-quality seals, vents, and water fountains. It is easy to see the prevalence of such corrosion processes in every-day life. For example, when we replace a water heater, the signs of corrosion are typically present, and all the decomposition products of this process make their way into our drinking water. Arguably, the most visible sign of water distribution system decay is loss of water through leakage, which can amount up to 30 %.

1 • UVOD

Vodooskrbni sistemi so običajno sestavljeni iz vodnih zajetij (črpališč), na katerih se vrši čiščenje in priprava vode, vodovodnega omrežja, vodohranov, hidroforjev, lokalnega vodovodnega omrežja itd. Voda je lahko na samem izvoru, iz katerega se napaja vodooskrbni sistem, zelo čista, lahko pa tudi precej onesnažena. V odvisnosti od čistoče vode so nato potrebni bolj ali manj zahtevni tehnološki postopki priprave vode (Havelaer, 2003). Vsi materiali, ki pridejo v stik z vodo, morajo biti kemijsko in mehansko dovolj odporni, da ne pride do onesnaževanja vode ali motnje pri oskrbi z vodo. Materialov, ki so primerni za izdelavo vodooskrbnih sistemov, je več vrst, odvisno od konkretnih zahtev na posameznem vodooskrbnem sistemu. Uporabljeni materiali morajo ustrezati zahtevam Zakona o zdravstveni ustreznosti živil in izdelkov ter snovi, ki prihajajo v stik z živilom (Uradni list RS, št. 52/00, 42/02 in 47/04). Voda v vodovodnem omrežju pa mora ustrezati kriterijem Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04 in 35/04) in Pravilnika o spremembi pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 26/2006). Poleg tega je za materiale, ki pridejo v stik z vodo, treba upoštevati tudi Uredbo Komisije (ES), št. 372/2007, z dne 2. aprila 2007, idr.

Pri velikih pretokih vode se ne pojavljajo omembe vredne količine snovi, ki pridejo v vodo z izluženjem iz materialov, s katerimi je prišla v stik. To pa ne velja za lokalne veje vodovodov, kjer so pretoki majhni, zaradi česar se lahko povečajo koncentracije izlužkov.

Materiale, iz katerih so zgrajeni vodooskrbni sistemi, lahko razdelimo v naslednje skupine ((Spellman, 1999), (Zilch, 2001)):

- anorganski materiali (beton, opeka, keramika, steklo, azbest, pesek, kremenčeva siga, apnenec itd.);
- polimerni materiali (PE, PP, PVC, PET, PETF, PA, PUR, PES, guma, silikon itd.);
- naravni organski materiali (juta, les, oglje itd.);
- kovine (nerjavno železo, železo, aluminij, medenina, cink, baker, svinec, krom, nikelj itd.).

Na vodnih zajetjih so običajno zgrajeni bazeni iz betona. Podobno velja tudi za večje vodohrane. Zaradi večje kemijske odpornosti in gladkejše površine so betonske površine, ki pridejo v stik z vodo, pogosto zaščitene s polimernimi premazi. Posamezni rezervoarji in deli tehnološke opreme za pripravo vode so običajno izdelani iz okrepljenih polimernih materialov, včasih pa tudi iz nerjavnega

jekla. Redkeje se uporablja običajna jeklena pločevina, ki je površinsko zaščitena z ustreznimi materiali. Ustrezne površinske zaščite rjavčih jeklenih površin so lahko naslednje ((Spellman, 2005), (Nürnberg, 2002)):

- anorganski emalji (pogosto v grelnikih),
- vroče pocinkana površina (cevi itd.),
- galvanski nanosi kovin (krom, nikelj, cink),
- polimerni zaščitni sloji (epoksidni premazi, alkidni premazi, akrilni premazi itd.),
- oblaganje s keramičnimi ploščicami.

Vodovodne cevi so v zadnjem obdobju izdelane večinoma iz polimernih materialov (PE, PP, PVC itd.) in delno tudi jeklenih cevi. V obstoječih vodooskrbnih sistemih je vgrajenih še vedno veliko salonitnih cevi, katerih glavni sestavini sta azbestno vlakno in cement. Na lokalnih vodovodnih omrežjih obstajajo tudi kovinske cevi, pri katerih lahko prihaja do korozije. Pri tem je najbolj problematičen svinec. Vendar pa tudi bakrene in pocinkane cevi lahko onesnažijo vodo.

Veliki viri onesnaževanja vode so lahko tudi neustrezna tesnila, neprimerni materiali za pripravo vode itd. Pogosto pa se povsem spregleda zadnji del vodovodnega omrežja, s katerim je voda v stiku, preden jo uporabimo. To so pipe, tesnila in razni čistilni elementi na mestu uporabe. Tudi iz teh materialov lahko pride do izluženja strupenih snovi v vodo.

2 • PROCESI DEGRADACIJE MATERIALOV IN IZLUŽEVANJA STRUPENIH SNOVI V VODO

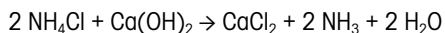
Korozija betona

Kvaliteten neporozen beton je bistveno odpornejši proti koroziji od poroznega betona. Pri koroziji lahko pride do razpada kalcijevih vezi, kot so na primer: CaCO_3 , $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, CaO in Ca(OH)_2 (Rauch, 1984). Razlog za to so lahko kisline in soli z vrednostjo pH 6 ali manj:

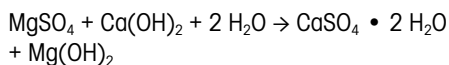
- Mehka voda z majhno vsebnostjo kalcija ima dobre sposobnosti raztapljanja Ca(OH)_2 iz cementa.
- Med agresivnimi snovmi in cementom pride do kemijskih reakcij, pri čemer nastanejo spojine, ki se lahko delno raztapljajo v vodi. Te reakcije lahko vplivajo na MgCl_2 , MgSO_4 ali proste ogljikove kisline (H_2CO_3) v betonu. Pri reakcijah lahko nastane voda topni CaCl_2 ali $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (mavec).
- Pri kemičnih reakcijah med agresivnimi snovmi in betonom nastanejo tudi netopne snovi, ki ostanejo v betonu. Te ostanejo v porah in zmanjšujejo mehanske lastnosti betona. Med takšne snovi štejemo tudi kalcijev aluminijev sulfat ($3 \text{CaAl}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{CaSO}_4 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$).

Primeri korozijskih reakcij betona:

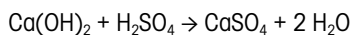
1. Amonijak in amonijeve soli lahko raztapljajo beton. Takšne spojine so prisotne v odpadni vodi in bazenski vodi (kloramin), v pitni vodi pa redkeje. Amonijev klorid lahko nastane pri kloriranju vode, ki vsebuje amonijak. NH_4Cl raztopi Ca(OH)_2 , ki je prisoten v vodi, po sledeči reakciji:



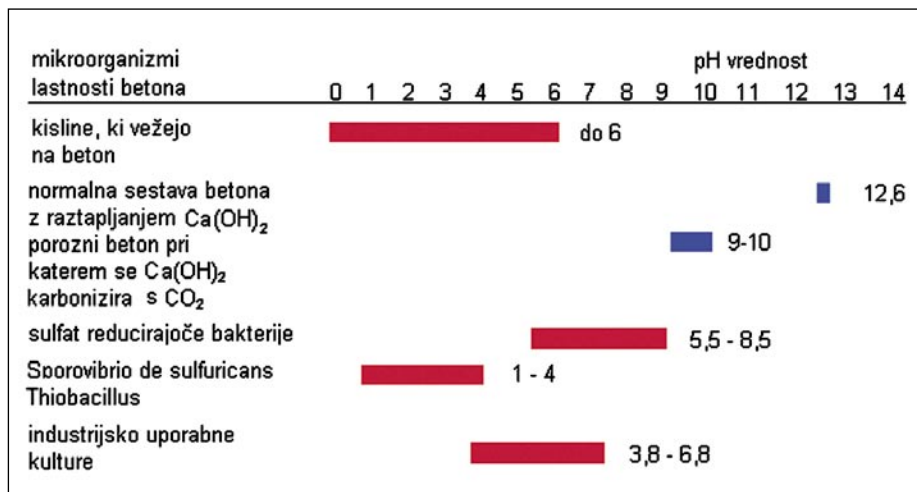
2. V mnogih kemijskih snoveh so prisotni sulfati. Sulfati reagirajo s steno betona in tvorijo topne produkte. V naslednji reakciji je prikazan primer takšne korozije:



3. Žveplove (VI) kislina je lahko prisotna v vodi zaradi raztapljanja sadre ali pa na kakšen drug način. Reagira s Ca(OH)_2 in tvori delno topen CaSO_4 , ki je glavna sestavina sadre.

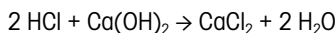


4. V vodi se lahko pojavijo tudi klorovi ioni. Klorove ione vsebuje natrijev klorid, ki se uporablja za soljenje cest. Vsebujejo jih različni minerali, in nastanejo tudi pri kloriranju. Klorove ione vsebuje tudi PVC, ki je pogosto



Slika 1 • Vpliv kislin in mikroorganizmov na železobetonsko cev v odvisnosti od vrednosti pH (Rauch, 1984)

uporabljena plastika za izdelavo cevi. Klorovodikova kislina reagira s Ca(OH)_2 in tvori topni CaCl_2 .



Tudi mikroorganizmi lahko vplivajo na razkroj betona, kar je razvidno iz slike 1. Njihov vpliv je odvisen od vrednosti pH.

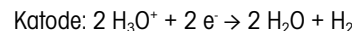
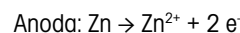
Korozija železa in drugih kovin

Veliko vodovodnih cevi in drugih delov v vodovodnih sistemih je izdelanih iz jekla. Hišna vodovodna napeljava je izdelana običajno iz pocinkanih jeklenih cevi. Vsi ti deli pa bolj ali manj korodirajo. Nastali produkti korozije povzročajo onesnaževanje vode z direktnim onesnaževanjem ali pa posredno kot gojišča mikroorganizmov.

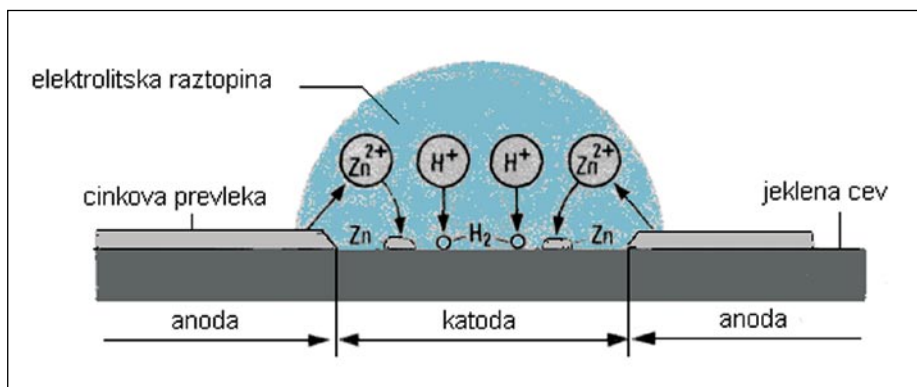
Pri železu nastane več različnih mehanizmov korozije, odvisno od sestave vode ter vrste

galvanskega člena, ki omogoča korozijo (Ladetzki, 2007).

Pri pocinkanih ceveh se vzpostavi galvanski člen tako, da je anoda cinkova prevleka, ki je manj žlahtna kovina in se pri tem raztaplja, železo pa je katoda in se ne porablja, dokler je na razpolago dovolj cinka (Boeckmann, 1999). To je tudi osnovna naloga cinkove prevleke, da ščiti železo pred korozijo s tem, da se sam raztaplja. Kot posledica takšnega raztapljanja cinka se pojavijo v vodi cinkovi ioni. Na sliki 2 je prikazana korozija pri galvanskem členu cinkova prevleka – jeklena cev.



Železova katoda sprejema elektrone, ki jih oddaja hidronijevim ionom, pri čemer se sproščata voda in vodik.



Slika 2 • Prikaz galvanskega člena med jekleno cevjo in cinkovo prevleko (Sommer, 1991)

Pri vodovodnih sistemih je lahko jeklo tudi v kombinaciji s kakšno drugo kovino in tvori galvanski člen. Takšne kovine so na primer: kositer, baker, svinec itd. V primeru kombinacije z žlahtnejšo kovino (baker, kositer itd.) postane anoda železo, katoda pa žlahtnejša kovina. V tem primeru se raztoplja železo tako, da nastajajo železovi ioni in elektroni. Železovi ioni tvorijo hidroksid. Žlahtnejša kovina ostane nedotaknjena, saj deluje le kot pospeševalec razpada železa. Na sliki 3 je prikazan galvanski člen, ki nastane pri jekleni površini s kositrovim slojem. Kositer se zelo pogosto uporablja pri spajkanju.

Anoda: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

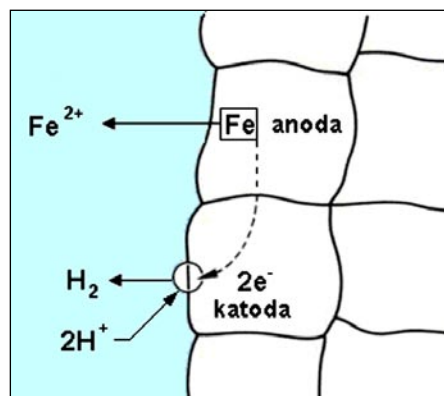
$4\text{Fe}^{2+} + 18\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{H}_3\text{O}^+$

Katoda: $2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$

V toplotnih izmenjevalcih se pogosto uporablja pocinkana pločevina. Če pa je toplotni izmenjevalec izdelan iz bakra, nastane galvanski člen pri priključitvi na jekleno cev vodovodnega omrežja.

Korozija železa pa lahko poteka brez tvorbe galvanskega člena z drugo kovino, če so dani ustrezni pogoji (Boeckmann, 1999). Takšne pogoje pa zagotavlja vsak običajni vodovod. Pri tem poznamo dve vrsti korozije:

- vodikova korozija (slika 4)
- kisikova korozija (slika 5)



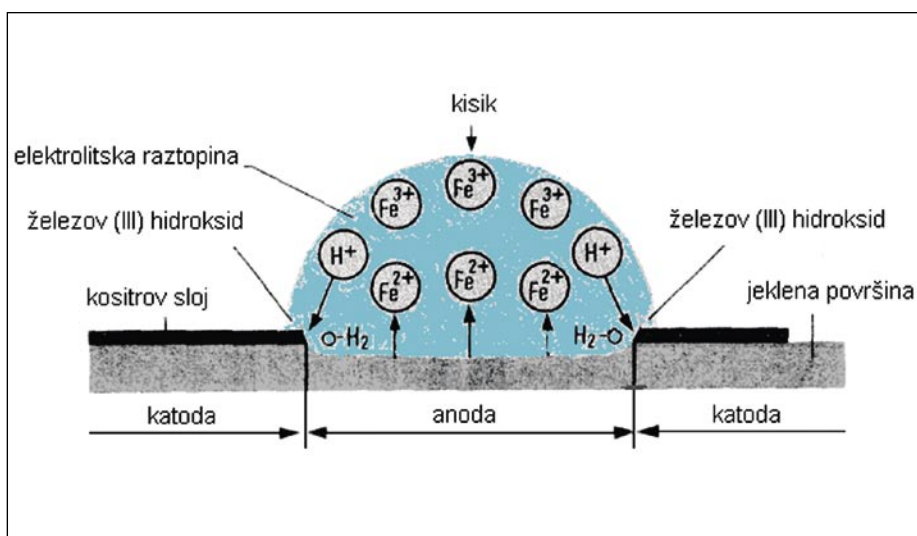
Slika 4 • Prikaz vodikove korozije železa (Korrosion/Korrosionsschutz, 1994)

Anoda: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

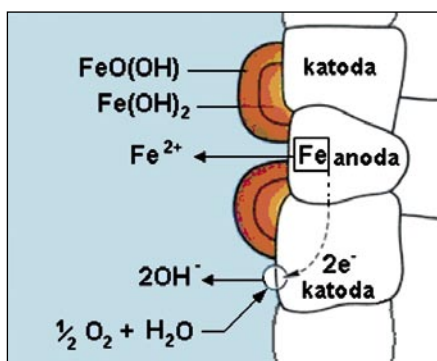
Katoda: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

$\text{Fe} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2$

Vodikova korozija je prisotna v kislih pogojih. Posebej intenzivna je pri vrednosti pH 4 in manj. Pojavlja se tudi pri nekoliko višjih vrednostih pH, vendar je bistveno počasnejša. Kisle pogoje se doseže v vodovodni vodi relativno hitro pri kloriranju.



Slika 3 • Prikaz galvanskega člena med jekleno površino in kositrovo prevleko (Sommer, 1991)



Slika 5 • Prikaz kisikove korozije železa (Korrosion/Korrosionsschutz, 1994)

Katoda: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$

Anoda: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

$\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$

$2\text{Fe}(\text{OH})_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}(\text{OH}) + \text{H}_2\text{O}$

Kisikova korozija je prisotna pri nevtralnih in alkalnih pogojih. V praksi je zato ta korozija pomembnejša od vodikove korozije, saj je več pogojev za njen nastanek.

Raztapljanje različni snovi iz plastike

Pri vodooskrbnih sistemih se že dolgo uporabljajo različne vrste plastike. Poleg teh osnovnih plastičnih materialov pa moramo upoštevati različne polimerne premaze in tesnilne materiale, ki prav tako sodijo v širšo skupino polimerov. V največji meri se uporablja naslednje vrste polimerov:

polietilen (PE) $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$

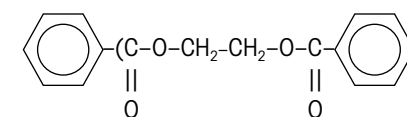
polipropilen (PP) $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$
|
CH₃

polivinilklorid (PVC) $-(\text{CH}_2-\text{CH})_n-$
|
Cl

polistiren (PS) $-(\text{CH}_2-\text{CH})_n-$
|

poliamid 6 (PA6) $-(\text{C}-\text{CH}_2)_5-\text{NH})_n-$
||
O

polietilentereftalat (PET)



Posamezni plastični materiali imajo lahko enako osnovno kemijsko sestavo, vendar se med seboj bistveno razlikujejo (Ehrnstein, 2001). Postopki polimerizacije imajo odločilen vpliv na lastnosti polimerov. S postopki polimerizacije se doseže dolžina verig (molekularna teža), razvejanost verig, oblika delcev itd. Pri postopkih polimerizacije se uporabljajo različni dodatki (iniciatorji, regulatorji, zaščitni

koloidi, emulgatorji itd.), ki lahko v majhnih količinah ostanejo v polimerih.

Poleg lastnosti, ki izhajajo iz postopkov polimerizacije, imajo velik vpliv na lastnosti polimernega materiala razni aditivi. Ti se dodajajo polimerom za doseganje ustreznih predelovalnih in končnih lastnosti (termostabilizatorji, UV-stabilizatorji, mehčala, drsna sredstva, barvila, polnila itd.).

Polimerni materiali lahko vsebujejo različne aditive (Domininghaus, 2005). Posamezni aditivi lahko prehajajo v vodo. Če so ti aditivi strupeni, pride do kontaminacije vode. Poleg aditivov (dodatkov) se nahajajo v polimernih materialih tudi ostanki reaktantov od polimerizacije. Ostanki, ki so običajno prisotni v minimalnih količinah, so: ostanki iniciatorjev (K₂S₂O₈, benzoilperoksid, naftalidi alkalijskih kovin itd.), ostanki emulgatorjev (mila, tenzidi itd.), ostanki regulatorjev, ostanki zaščitnih koloidov, ostanki pufrov, ostanki monomerov ...

Vrste aditivov, ki se lahko nahajajo v polimernih in kompozitnih materialih, so: antioksidanti, kovinski deaktivatorji, UV-stabilizatorji, primarna mehčala, sekundarna mehčala, drsna sredstva, visokomolekularni aditivi za izboljšanje udarne trdnosti, barvila, aditivi za doseg odpornosti proti gorenju, aditivi za doseg antistatičnih lastnosti, zamreževalci, polnila in ojačitveni materiali ter vlaknasti ojačitveni materiali.

Glavne skupine termostabilizatorjev so: tio-bisfenoli (molekulskih mas od 300 do 600), alkiliden-bisfenoli (molekulskih mas od 300 do 600), alkiliden-bisfenili (molekulskih mas > 600), alkilfenoli, di-(3-tert-butil-4-hidroksi-5-metilfenil)-diciiklopentan, hidroksibencilne spojine (molekulske mase 300–600), hidroksibencilne spojine (molekulske mase > 600) oktadecil-3-(3,5-di-tert-butil-4-hidrifetil)-propionat, polihidroksifenilpropionat (molske mase > 600), amini, tioetri, fosfiti in fosfoniti, Zn-dibutil-ditiokarbamat, mešanice primarnih in sekundarnih antioksidantov.

Termoplastični materiali, ki se največkrat uporabljajo za embalaranje živil (polietilen, polipropilen, polistiren, polivinilklorid, polietilentereftalat itd.), in tudi vodovodne cevi niso najstabilnejši, zato jim proizvajalci dodajo razne stabilizatorje že v fazi priprave granulatov.

Glavne skupine drsnih sredstev so: alkoholi masti in estri dikarbonskih kislin, estri mastnih kislin glicerina in ostali alkoholi s kratkimi verigami, mastne kisline, amidi mastnih kislin, kovinske soli mastnih kislin, oligomeri mastnih kislin, mastni alkoholi – estri mastnih ki-

slin, kisline voskov, njeni estri in mila, polarni polietilenski voski in podobni produkti, nepolarni, poliolefinski voski, naravni in sintetični parafini, fluorirani polimeri, kombinirana drsna sredstva ...

Pigmenti in barvila so lahko anorganskega in organskega izvora (Smith, 1999). Med najpogostejše anorganske pigmente spadajo: TiO₂ – bela barva, ZnO – bela barva, (FeO)_x (Fe₂O₃)_y – rjava barva, Cr₂O₃ – zelena barva, (Cd, Zn)S – rumena barva, Cd(S,Se) – rdeča barva, PbCrO₄ – rumena barva, Pb (Cr, Mo, S)O₄ – rdeča barva, Na₆₋₈(Al₆Si₆O₂₄)S₂₋₄ – ultramarin modra, saje – črna barva, itd.

Med najpogostejše organske pigmente spadajo: azopigmenti (monoazopigmenti, diazopigmenti, kondenzirani diazopigmenti, soli azo-barvnih kislin), ne-azopigmenti (ftalocianidni pigmenti, cianakridoni, perilenski pigmenti, derivati naftalintetrakarbonskih kislin, Cu-ftalocianin, izoindoli, antrakinonski pigmenti, diazo-Sn-pigmenti itd.

Polnila in ojačitveni materiali so lahko anorganskega ali organskega izvora. Delno lahko v to skupino štejemo tudi pigmente.

Najpogostejša anorganska polnila so: kreda, smukec, stekleni prah, kremenov prah ipd. Kot organsko polnilo se najpogostejše uporabljata lesna moka in škrob.

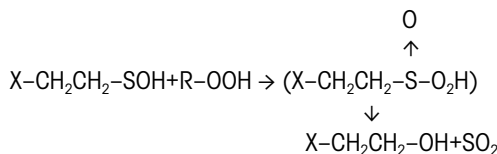
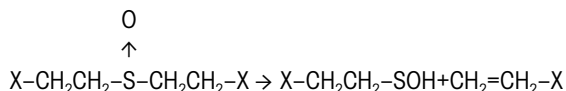
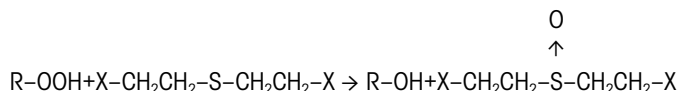
Kot ojačitveni materiali se uporabljajo: steklena vlakna, ogljikova vlakna, tekstilna vlakna

itd. Pogosto se na polimerno folijo oblepljajo ojačitvene tekstilne mreže.

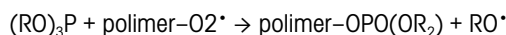
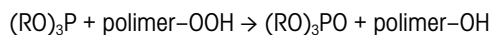
Pri vseh polimernih materialih se pojavljajo procesi degradacije (Domininghaus, 2005). To je glavni razlog za to, da se jim dodajajo različni stabilizatorji. Ti stabilizatorji so namenjeni njihovi termostabilnosti v fazi termičnega preoblikovanja, pozneje pa tudi odpornosti izdelkov. Izdelki iz plastike so zato praviloma zelo obstojni in v naravi zelo počasi razpadajo. Pri plastiki, ki se uporablja pri vodooskrbnih sistemih, pa je njihova stabilnost proti razpadanju še pomembnejša. Ker v večini primerov niso izpostavljeni atmosferi in sončni svetlobi, je njihova kemijska stabilnost še toliko večja. Kljub temu pa moramo v določenih primerih upoštevati tudi degradacijske procese, ki povzročajo poslabšanje kemijskih in mehanskih lastnosti, ter tudi raztapljanje določenih strupenih snovi v vodi. Še pomembnejše od tega pa je dejstvo, da so lahko stabilizatorji strupene snovi, ki lahko prehajajo v vodo. Zaradi tega je zelo pomembno kakšen PVC ali PE izberemo.

Pri avtooksidaciji so prisotni polimerni hidroperoksidi z reaktivnimi skupinami: –OH, –CO in –OOH (Ehrnstein, 2001). Te reaktivne skupine pospešujejo razpad polimera. Stabilizatorji delujejo tako, da izločijo reaktivne skupine, na ta način pa preprečijo nadaljnji razpad. Kot najboljši stabilizatorji so: tiospojine, fosforjeve spojine in kovinski deaktivatorji.

Mehanizem stabilizacije s tiospojini:



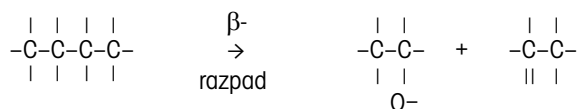
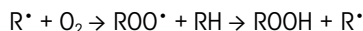
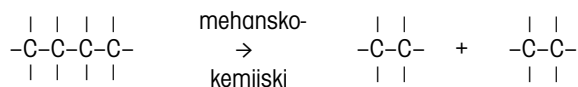
Mehanizem stabilizacije s fosforjevimi spojinami:



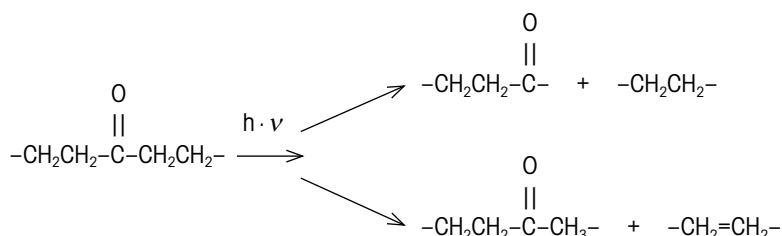
Kovinski deaktivatorji sami ne stabilizirajo, temveč morajo biti v kombinaciji z drugimi antioksidanti.

Pri fotooksidaciji pride do poškodbe polimernih verig zaradi UV-žarkov, zaradi česar se na nestabilna mesta veže kisik iz zraka. Pri poliolefinih poteka fotooksidacija preko radikalov: $R^\bullet$, $RO^\bullet$, $ROO^\bullet$, pri čemer nastajajo hidroperoksidi, karbonil- in karboksivinilne spojine, voda itd.

Nastajanje reaktivnih mest pri predelavi polimerov:



Razpadne reakcije pod vplivom UV



Navedeni so le najpomembnejši procesi degradacije in stabilizacije polimernih materialov, ki so bolj ali manj prisotni pri vseh vrstah plastike. Na lokalnem vodovodnem omrežju se lahko pogosto pojavijo povišane temperature od 30 °C do 90 °C, zato je pomembno, da so izbrani polimerni materiali dovolj termično stabilni. Pri tem je bistvenega pomena, kateri

stabilizatorji omogočajo takšno termično stabilnost.

Ostali materiali

Med pomembne materiale, iz katerih so zgrajeni vodooskrbni sistemi, lahko štejemo tudi: keramiko, salonit, juto, oglje, les itd. Od teh materialov v negativnem smislu najbolj

izstopa le salonit, ki vsebuje azbest. Vsi ostali materiali so bolj ali manj neproblematični. Morda je lahko problematična samo še juta, ki se uporablja kot tesnilni material pri spajanju cevi. Vendar pa je njen stik z vodo zelo majhen in zato nepomemben. Iz jute se lahko izlužijo različne snovi. Problematična snov pri tem je vretensko olje, ki se dodaja juti v fazi njene predelave v predilnici. Služi za lažje drsenje vlaken v fazi pređenja.

Salonit je sestavljen iz azbestnih vlaken in cementnega veziva. Korozijo cementa smo obravnavali v predhodnem poglavju, ostanejo pa nam še azbestna vlakna. Azbestna vlakna so po svoji kemijski sestavi aluminijevi silikati. Zato so kemijsko zelo stabilna in ne povzročajo kakršnih koli kemijskih negativnih vplivov na človeka. Problematična je le njihova igličasta struktura, če pridejo v pljuča (Rossenmayer, 1999). Zelo drobna in ostra vlakna se zapičijo v pljučne mehurčke in povzročajo težke posledice za zdravje ljudi (azbestoza, rak). Če so azbestna vlakna prisotna v vodovodni vodi in pridejo v človeški organizem oralno, pa niso znani negativni vplivi na zdravje ljudi. Kontaminacija z azbestom je zato verjetna le pri vzdrževalnih in gradbenih delih, ko nastanejo prašni delci, ne pa pri zaužitju vode, v kateri je prisoten azbest.

Pri pripravi vode pridejo v stik z vodo tudi nekateri drugi materiali, ki niso sestavni deli inštalacijskih vodov in rezervoarjev. Takšni materiali so: različni filtrirni mediji, flokulanti, koagulant, ionski izmenjevalci, sredstva za dezinfekcijo itd. Tudi pri teh materialih je treba upoštevati možnost, da lahko vsebujejo določene problematične snovi, ki ostanejo v vodi.

nem omrežju. Za plastiko je bistvenega pomena, da ne vsebuje nevarnih snovi, ki bi lahko prehajale v vodo.

Pogosto se pri projektiranju in izgradnji vodooskrbnih sistemov premalo upošteva, kakšni materiali bodo vgrajeni. Sanacije lokalnih vodovodnih omrežij pa so večinoma prepuščene mojstrom, ki ne poznajo dovolj materialov, ki jih vgrajujejo, in tudi ne nevarnosti, ki lahko pri tem nastajajo. Nehote lahko ustvarijo galvanski člen, vročo vodo spustijo skozi premalo odporno plastično cev, uporabijo neustrezno tesnilo itd. Še celo pri nestrokovni uporabi filtra, ki je namenjen za čiščenje vode pred neposredno uporabo, lahko naredimo več škode kot koristi.

3 • SKLEP

Za zagotavljanje zadostnih količin kvalitetne pitne vode ne zadostujejo samo naravne danosti, temveč mora biti ustrezno zgrajen in vzdrževan tudi vodooskrbni sistem. Bistveno pri tem je tudi, da uporabimo ustrezne materiale. Pri nevodotesnem vodovodnem omrežju lahko nastane kontaminacija od zunaj, še posebej, če je v bližini nevodotesna kanalizacija. V korodiranih in nevodotesnih ceveh so lahko odlični pogoji za razvoj mikroorganizmov. Kontaminacija zaradi izluževanja kemijskih snovi v vodo je možna le v lokalnih

vodah z majhnimi pretoki. Opaznejši vplivi razpada materialov so zmanjšanje vodotesnosti vodovodnih omrežij. V Sloveniji znašajo povprečne izgube načrpane vode na vodooskrbnih sistemih med 10–30 %. Za procese razpadanja vodovodnih omrežij so krivi predvsem kovinski in cementni izdelki (salonit), medtem ko je plastika kemijsko precej stabilnejša. Pri plastiki so lahko intenzivnejši razpadni procesi samo pod vplivom sončne svetlobe ali pa pri povišani temperaturi. Takšnih pogojev pa običajno ni na vodovod-

4 • LITERATURA

- Boeckmann, W., Schwenk, W., Handbuch des katodischen Korrosionsschutz, Wiley, 1999.
- Domininghaus, H., Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, Springer Verlag, 2005.
- Ehrnstein, G. W., Polymeric Materials, Hauser Fachbuch, München, 2001.
- Korrosion/Korrosionsschutz, Fonds der Chemischen Industrie, 1994, Informationsserie Nr. 08, <http://fonds.vci.de>.
- Havelaer, A. H., Melse, J. M., Quantifying public health risk in the WHO, Guidelines for. Drinking – Water Quality, RIVM report 73401022/2003.
- Sommer, K., Wissensspeicher Chemie, Volk und Wissen Verlag, Berlin, 1991.
- Ladetzki, K., disertacija, Oberflächenuntersuchung von Edelstahlfeilen nach chemisch – physikalischer Belastung, Universität Marburg/Lahn, 2007.
- Nürnberg, U., Korrosion und Korrosionsschutz in Bauwesen, Bauverlag, 2002.
- Rauch, P., Korrosion von Beton und Stahlbeton durch chemische Verbindungen und Mikroorganismen, Institut für technische Mikrobiologie, Mannheim, 1984.
- Rossenmayer, H. J., Schzmm, H. P., Tepasse, R., Asbest-Handbuch, Erich Schmidt Verlag, 1999.
- Spellman, F. R., The Drinking Water Handbok, CRC PRESS, 1999.
- Zilch, K., Diederich, C. J., Katzenbach, R., Handbuch für Bauingeniere, Springer, 2001.



KOČEVSKI TISK

KOČEVJE d.d.

Ljubljanska cesta 18a, 1330 Kočevje

REPROSTUDIO ●

TISK ●

KNJIGOVEZNICA ●

Ljubljanska c. 18/a
1330 Kočevje

Tel.: 01 89 30 120

Fax: 01 89 30 130

E-mail: info@kocevski-tisk.si

<http://www.kocevski-tisk.si>

PONUDBA ZA OGLAŠEVANJE V GRADBENEM VESTNIKU

Spoštovani bralci!

GRADBENI VESTNIK je strokovno-znanstvena revija, ki nepretrgoma izhaja že 56 let in s katero predstavljamo slovenski in tuji strokovni javnosti dosežke z vseh področij gradbeništva. Revija je tudi člansko glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije ter Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije. Revija izhaja mesečno (zadnje dni v mesecu) v nakladi 3000 izvodov. Med naročniki je tudi 52 naslovov iz tujine, z nekaterimi tujimi naslovi pa si revijo izmenjujemo.

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

Ovitek: zadnja stran 1/1	834,59 EUR
Notranja stran 1/1	625,94 EUR
Notranja stran 2/3	542,48 EUR
Notranja stran 1/2	417,29 EUR
Notranja stran 1/3	312,97 EUR
Notranja stran 1/4	166,92 EUR

V cenah ni upoštevan 20 % DDV!

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

Razpoložljivost oglaševalskega prostora:

- 1/1 stran obsega 165 x 245 mm
- 2/3 108 x 223 mm
- 1/2 165 x 115 mm
- 1/3 52 x 223 mm
- 1/4 165 x 60 mm

Oglas lahko oddate kot:

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

Vsebine je mogoče poslati z redno pošto na naslov: GRADBENI VESTNIK, Leskova 9E, 1000 Ljubljana ali po e-pošti na naslednji naslov:

- gradb.zveza@siol.net

Gradivo pričakujemo do 1. dneva v vsakem mesecu!

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

ZDGITS – izdajateljica
GRADBENEGA VESTNIKA

Vabilo na 30. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije Bled hotel Golf 9.–10. oktobor 2008 Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev www.sdgk.si

SDGK

30

Program zborovanja

Predvidena tematika zborovanja tudi letos obsega celotno področje dejavnosti gradbenih konstruktorjev. Poleg prispevkov s področja snovanja, graditve, rekonstrukcij, vzdrževanja, vodenja in nadzora izvedbe vseh vrst gradbenih konstrukcij, vabimo tudi prispevke s področja razvojno raziskovalne dejavnosti, standardizacije in gradbene regulative s posebnim poudarkom na vaših izkušnjah pri uporabi novih evropskih standardov za gradbene konstrukcije, ki so pri nas obvezni od 1. 1. 2008. Med eminentnimi tujimi gosti se bosta z vabljenimi predavanji predstavila dr. Michel Virlogeux, glavni projektant objektov kot sta viadukt »Millau« in »Pont de Normandie« ter profesor s tehnične univerze v Brnu dr. Jiri Strasky, ki predava tudi na drugih univerzah po vsem svetu in je projektant številnih nagrajenih mostov.

Prijava

Svojo udeležbo na zborovanju prijavite s tem, da nam pošljete izpolnjeno prijavo, ki jo odrežete od tega vabila in nakažete potrebno kotizacijo. Kotizacijo nakažite na tekoči račun Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev **02085-0015319187** s pripisom za 30. zborovanje gradbenih konstruktorjev. Prijavi priložite potrdilo o plačani kotizaciji.

Kotizacija

Kotizacija za udeležbo na zborovanju, v kateri so zajeti stroški organizacije in publikacije zborovanja, kakor tudi stroški družabnega srečanja, znaša **190 EUR**. Za upokojence in študente znaša kotizacija 95 EUR. Kotizacija je prenosljiva na drugo osebo, ne bomo pa je vračali.

Promocija dejavnosti

Na podlagi dogovora z organizatorjem bo na zborovanju mogoča tudi promocija vaših izdelkov in storitev.

Dodatne informacije

Aktualni podatki povezani z organizacijo in potekom zborovanja bodo objavljeni na spletni strani društva **www.sdgk.si**.

Za morebitne dodatne informacije pa lahko pokličete tudi Jožeta Lopatiča po telefonu na št.: **01 476 8600** ali pošljete elektronsko pošto na naslov **info@sdgk.si**.

Prijava za **30.** zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije 9.in 10.oktobra 2008

Ime in priimek: _____

Davčna številka: _____

Podjetje oz. ustanova: _____

Podpis: _____

Naslov: _____

Kotizacija je bila nakazana na transakcijski račun Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev, Jamova 2, Ljubljana, št. 02085-0015319187.

Telefon: _____

E-mail: _____

Potrdilo o plačani kotizaciji je priloženo.

KOLEDAR PRIREDITEV

6. in 8.10.2008

Obtežbe mostov (Evrokodi)

FGG, Ljubljana, Slovenija
www.izs.si

7. in 14.10.2008

Bauen im Bestand

Standardsicherheit und Brandschutz

Stuttgart in München, Nemčija
www.betonverein.de

7. in 15.10.2008

DIFISEK+

Projektiranje požarno varnih jeklenih in sovprežnih konstrukcij v skladu s standardi Evrokod

IZS, Ljubljana, Slovenija
www.difisek.eu
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/difisek>

9.-10.10.2008

Deutscher Stahlbautag 2008

Mainz, Congress Centrum, Nemčija
vowe@deutscherstahlbau.de

9.-10.10.2008

SDGK 2008

30. zborovanje gradbenih konstrukterjev
Bled, Slovenija
www.sdgk.si

10.10.2008

Wiße Wannen – technisch und juristisch immer wieder problematisch

München, Nemčija
www.betonverein.de

15.-18.10.2008

T&DI Pavement Conference

Bellevue, Washington, ZDA
<http://content.asce.org/conferences/pavements2008/index.html>

20.-22.10.2008

SURF 2008

6th symposium on pavement surfaces characteristics
Portorož, Slovenija
www.surf2008.si

20., 22., 27. in 29.10.2008

Jekleni in sovprežni mostovi (Evrokodi)

FGG, Ljubljana, Slovenija
www.izs.si

22.-24.10.2008

9. slovenski kongres o cestah in prometu

Portorož, Slovenija
www.drc.si
drc@drc.si

4. in 14.11.2008

Typische Schäden im Stahlbetonbau –

Vermeidung von Mängeln als Aufgabe der Bauleitung

Hamburg in Berlin, Nemčija
www.betonverein.de

4., 6., 11. in 13.11.2008

Betonski mostovi (Evrokodi)

FGG, Ljubljana, Slovenija
www.izs.si

18., 20., 25. in 27.11.2008

Projektiranje potresno varnih betonskih stavb (Evrokodi)

FGG, Ljubljana, Slovenija
www.izs.si

24.-26.11.2008

2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR 2008)

Cape Town, Južna Afrika
www.civil.uct.ac.za/icrrr

15.-16.1.2009

Spritzbeton – Tagung 2009

Alpbach, Tirolska, Avstrija
<http://www.ovbb.at/>

21.-22.1.2009

7. Österreichische Geotechniktagung mit Fachausstellung

Dunaj, Avstrija
<http://www.ovbb.at/>

10.-12.2.2009

53. Betontage

Ulm, Nemčija
<http://www.ovbb.at/>

20.-22.5.2009

5th International Conference on Construction in the 21st Century

CITC-V, Carigrad, Turčija
www.fiu.edu/~citic

5.-9.10.2009

17th International Conference for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

Alexandria, Egipt
www.2009icmge-egypt.org

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