

GRADBENI VESTNIK

maj 2014



GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana



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, maj 2014, letnik 63, str. 109-132

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 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 RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
prof. dr. Matjaž Mikoš
Jakob Presečnik
Dušan Jukič
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
FGG Ljubljana: **izr. prof. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **doc. dr. Milan Kuhta**
ZAG: **akad. prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3550 izvodov

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

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojenca 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteta DDV.

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

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

Vsebina • Contents

In memoriam

stran 110

Dušan Zajc, univ. dipl. inž. grad.

JANEZ NERED, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1930–2014

Članki • Papers

stran 111

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

prof. dr. Marko Polič, univ. dipl. psih.

asist. dr. Robert Klinc, univ. dipl. inž. grad.

ZAZNAVANJE POTRESNE OGROŽENOSTI PRI STROKOVNJAKIH IN NESTROKOVNJAKIH

PERCEPTION OF SEISMIC RISK BY EXPERTS AND LAY PEOPLE

stran 119

Patricia Cotič, univ. dipl. inž. grad.

Primož Murn, univ. dipl. inž. grad.

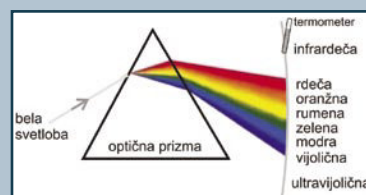
doc. dr. Dejan Kolarič, univ. dipl. mat.

izr. prof. dr. Zvonko Jagličič, dipl. inž. fiz.

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, dipl. inž. grad.

UPORABA PULZNE TERMOGRAFIJE ZA NEPORUŠNE PREISKAVE V GRADBENIŠTVU

APPLICATION OF PULSED THERMOGRAPHY IN NON-DESTRUCTIVE TESTING IN CIVIL ENGINEERING



Odmev

stran 130

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

ODGOVOR NA PRISPEVEK O STROKOVNOSTI IN STROKOVNI RAZPRAVI PROF. DR. BRILLYJA V GRADBENEM VESTNIKU FEBRUARJA 2014

Obvestilo ZDGITS

stran 131

Seminar za strokovni izpit

Novi diplomanti

stran 132

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Vabilo

Informativni dan na FGG

Slika na naslovnici: KSEVT – Kulturno središče evropskih vesoljskih tehnologij v Vitanjah, foto Janez Duhovnik

IN MEMORIAM



JANEZ NERED, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1930–2014

Marec 2014. Iz naše sredine je odšel upokojenec Janez Nered. Minilo je 84 pomladi, odkar se je 27. decembra 1930 v Ljubljani rodil Janez Nered, univ. dipl. inž. gradbeništva. Po osnovni šoli in končani gimnaziji v Ljubljani se je vpisal na Univerzo v Ljubljani, na Fakulteto za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, kjer je uspešno diplomiral leta 1957.

Še istega leta se je zaposlil v takratnem Železniškem projektivnem podjetju Ljubljana, ki mu je ostal zvest vse življenje, ne glede na transformacije, ki jih je podjetje doživljalo. Leta 1967 je opravil strokovni izpit pri Republiškem sekretariatu za industrijo in v tem času začel svojo kreativno projektantsko življenjsko pot. Leta 1998 je postal tudi pooblaščen inženir Inženirske zbornice Slovenije.

Janeza pozna slovenska stroka kot velikega poznavalca konstrukcij železniških mostov in kot človeka, ki je svoje znanje delil in nesebično priskočil na pomoč mnogim slovenskim inženirjem.

Njegovega prispevka k stroki ne bomo našli v člankih, ampak v izdelkih, ki jih vidimo kot objekte, ki služijo namenu – mostovih na železnicah in cestah. Kljub njegovemu priimku je slovel kot izredni sistematik in stroke vredni strokovnjak, ki je bil do konca svojih dni predan gradbeništvu z izrednim občutkom za dimenzije. Spominjamo se ga kot natančnega revidenta, ki zaradi odgovornosti, ki jo imajo projektanti, ni prepuščal stroke slabim rešitvam in kompromisom.

Njegov opus opravljenih projektov je obsežen. Vanj spadajo objekti križanj železnice z vodotoki, cestnimi vpadnicami v večja slovenska mesta, veliko število podvozov in nadvozov kakor tudi zahtevne sanacije starih objektov, ki še danes služijo namenu. Njemu gre zasluga za uvajanje različnih tehnologij gradenj pod železniškim prometom, ki jih je razvijal skupaj z mlajšimi projektanti in izvajalci. Družbi, v kateri je deloval, je zapustil veliko slikovno dediščino, saj je bil navdušen fotograf, in urejeno zbirko predpisov tako slovenskih kot tujih, ki jih je do pozne starosti urejal in kot mentor mladim projektantom razlagal njihovo vsakdanjo uporabo. Bil je zaljubljen v gore, ki jih je obiskoval s svojimi prijatelji. Tudi tam ga je spremljal fotografski aparat, brez njega ni odšel nikamor.

Pri svojem delu je uporabljal veliko logike, podkrepnjene z znanjem, ki ga je na tem področju ponesla med znane slovenske inženirje, ti pa so mu izkazali svoje spoštovanje tudi na njegovi zadnji poti, za kar se vsem zahvaljujem.

25. marca 2014 je umrl človek, ki ga bomo težko nadomestili, predvsem kot nesebičnega in razumnega sočloveka, ki je z veliko mero premisleka reševal različne situacije v stroki kot tudi v svojem življenju.

Hvala ti, Janez, za vse, kar si nas naučil in nam dal v svojem življenju. Ohranili te bomo v trajnem spominu.

Dušan Zajc, univ. dipl. inž. grad.

ZAZNAVANJE POTRESNE OGROŽENOSTI PRI STROKOVNJAKIH IN NESTROKOVNJAKIH

PERCEPTION OF SEISMIC RISK BY EXPERTS AND LAY PEOPLE

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

peter.fajfar@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR

prof. dr. Marko Polič, univ. dipl. psih.

marko.polic@guest.arnes.si

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, oddelek za psihologijo

asist. dr. Robert Klinc, univ. dipl. inž. grad.

robert.klinc@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR

Znanstveni članek

UDK 624.042.7(078.7)

Povzetek | Članek prikazuje rezultate ankete o zaznavi potresne ogroženosti na sploh in ogroženosti posameznih tipov stavb posebej, opravljene med 240 gradbenimi strokovnjaki in 502 nestrokovnjakoma. V uvodu najprej predstavljamo nekaj splošnih ugotovitev o spoprijemanju ljudi s potresi in njihovimi posledicami. Nato podajamo rezultate ankete, ki kažejo, da so nestrokovnjaki manj zaskrbljeni od strokovnjakov zaradi potresne ogroženosti Slovenije. Glede zaznave potresne ogroženosti različnih vrst stavb se pri strokovnjakih pričakovano kažejo kot pomembna tako obdobje gradnje kot vrsta konstrukcije.

Ključne besede: potres, ogroženost, tveganje, vrsta gradnje, zaznava ogroženosti

Summary | The results of a survey on perception of earthquake risk in general and risk to different types of constructions in particular, which was carried out on a sample of 240 engineers and 502 lay persons, are presented. In the introduction, some general findings about people's coping with earthquakes and their consequences are given. The results of the survey show that lay people feel less worried because of earthquake threat to Slovenia than experts. Regarding the perception of seismic risk to different types of buildings, for experts both the time period and the type of construction are important, as expected.

Keywords: earthquake, endangerment, risk, type of construction, threat perception

1 • UVOD

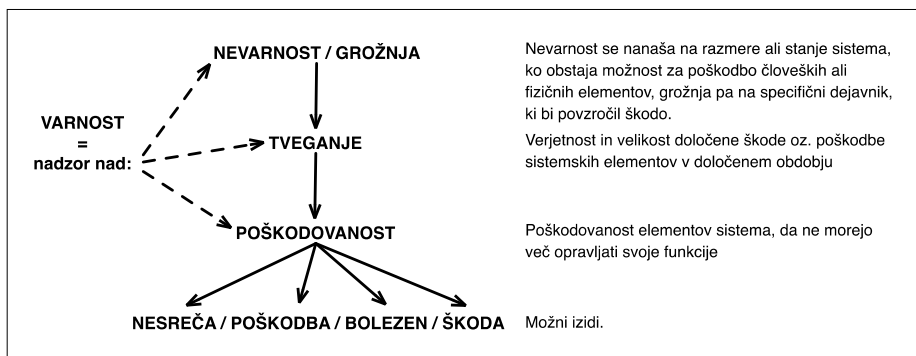
Ljudje se potresov bojijo bolj kot katerekoli druge naravne nesreče. Potresi se namreč pojavljajo nepričakovano in v obliki, ki vzbuja v ljudeh temeljne strahove (izguba trdne podlage ipd.). Prizadene lahko obsežna območja. Žrtve se spoprijemajo z nenadno in veliko spremembo razmer, ko iz vsakdanjega

življenja lahko naglo preidejo v manjše ali večje uničenje. Omeniti je treba, da škoda in poškodbe ne nastanejo le zaradi zemeljskih premikov, ampak potresi sprožijo tudi veliko drugih nevarnosti (npr. požare, eksplozije, poplave). Popotresni sunki lahko vztrajajo še dolgo po potresu in plašijo prebivalce. Ob-

vestila o nesreči so pogosto neskladna, nejasna in nepopolna. Vse to povzroča občutke nemoči in psihične travme, ki so še toliko hujše, ker lahko potresi prizadenejo izjemno velika območja. Pri tem se srečujemo s pojmi nevarnost, tveganje, škoda ipd., in je prav, da jih skušamo razlikovati.

Za zagotavljanje večje potresne varnosti je pomembno tudi lastno ukrepanje prebivalcev, kar je v veliki meri odvisno od njihove zaznave ogroženosti. Zato nas zanima, kako

prebivalci zaznavajo potresno ogroženost različnih objektov in kakšno se jim zdi sprejemljivo tveganje. Domnevamo namreč, da neustrezna zaznava ogroženosti lahko prispeva k neustreznemu vedenju oz. točneje k nepripravljenosti na preventivno ukrepanje. Leta 2013 smo opravili spletno anketo, s katero smo hoteli pridobiti podatke o zaznavanju potresne ogroženosti Slovenije in o sprejemljivem tveganju ter o pripravljenosti za ukrepanje. Glede na pričakovane razlike med strokovnjaki in splošno javnostjo smo v raziskavo vključili tri skupine udeležencev, ki se razlikujejo predvsem po svoji strokovnosti na področju projektiranja in gradnje objektov. Za odgovore smo zaprosili člane Inženirske zbornice Slovenije (IZS) in gradbenike na FGG, ki niso člani IZS in se torej večinoma ne ukvarjajo s projektiranjem in gradnjo potresnoodpornih objektov, z nekoliko poenostavljenim vprašalnikom pa smo anketirali tudi skupino



Slika 1 • Odnos med varnostjo, nevarnostjo in drugimi pojmi (po Hale in Glendon, 1987).
Opomba: Ogroženost se včasih izenačuje s tveganjem, lahko jo pa pojmuje tudi kot prisotnost ali možnost grožnje oziroma nevarnosti

nestrokovnjakov, udeležencev iz splošne populacije. Članek zajema prikaz in poskus razlage rezultatov dela ankete, ki se nanaša na zaznavanje ogroženosti in tveganja. V uvodnem delu je zbranih nekaj splošnih ugotovitev o zaznavanju ogroženosti in tveganja ter ravnanju med potresi. V drugem članku (Fajfar, 2014) prikazujemo rezultate preostalega dela ankete, ki se nanašajo na pripravljenost za ukrepanje in odgovornost zanj.

vitev o zaznavanju ogroženosti in tveganja ter ravnanju med potresi. V drugem članku (Fajfar, 2014) prikazujemo rezultate preostalega dela ankete, ki se nanašajo na pripravljenost za ukrepanje in odgovornost zanj.

2 • ZAZNAVANJE OGROŽENOSTI IN TVEGANJA ZARADI POTRESA

Nesreče so negotovi dogodki, presoja njihove verjetnosti pa vpliva na vedenje prizadetih in ustreznost njihovega spoprijemanja z nevarnostjo. Velika objektivna nevarnost ni nujno povezana z njeno ustrezno subjektivno zaznavo. Mnoge raziskave so pokazale, da se včasih prebivalci krajev, kjer so naravne nesreče pogoste, nič bolj ne menijo za nevarnost kot tisti iz varnejših predelov. Zaznavanje tveganja je zelo subjektivno; od tega je odvisna tudi pripravljenost ljudi na krizni dogodek. O tem pričajo zgodovinski in arheološki podatki (Gerrard, 2013). Že srednjeveške skupnosti so se bolj ali manj uspešno spoprijemale z nesrečami in njihovimi posledicami in niso bile tako nemočne, kot danes včasih mislimo. Odzivi na okoljske grožnje so bili kompleksni in včasih presenetljivo sodobni, ugotavljata Gerrard in Petley (Gerrard, 2013). Tako je bilo npr. večkratno prekrivanje streh v Bazlu po potresu leta 1356 (slika 2) potrjeno z dendrohronologijo, marsikje pa so skupke podobno datiranih popravil in obnov uporabili za ustvarjanje izoseizmičnih zemljevidov. Veliko več je seveda podatkov o sodobnih dogodkih in različni centri za raziskovanje nesreč so podrobno zabeležili dogajanja ob različnih naravnih nesrečah (gl. npr. (Quarantelli, 1998), (Drabek, 1986)), in to vključno z vedenjem ljudi in skupnosti, povezanih z njimi. Rušilni potresi so v nekaterih krajih razmerno pogosti in pomembno vplivajo na go-



Slika 2 • Domišljajska rekonstrukcija potresa v Bazlu v Konstanzer Weltchronik, Bayerische Staatsbibliothek Munchen Cgm 426, fol. 44r (Gerrard, 2013)

spodarsko, družbeno, zdravstveno in psihično blagostanje velikega števila ljudi. Tudi v precejšnjem delu Slovenije so možni močni potresi. Zgodovina jih pomni kar nekaj.

Lindell in Perry (Lindell, 1992) menita, da prejšnja prepričanja o nevarnosti pomembno določajo prepoznavo tveganja (opozorilno prepričanje) in oceno tveganja (zaznano tveganje), medtem ko so prejšnja prepričanja o alternativnih zaščitnih dejavnostih pomembni določevalci zmanjšanja tveganja (izbira zaščitnih dejavnosti). Ta prejšnja prepričanja so posplošene zaznave nevarnosti ali zaščitnih dejavnosti, ki obstajajo pred nevarnostjo, situacijska prepričanja pa nastajajo v povezavi s posameznim dogodkom. Pri tem velja omeniti, da se prepričanja nestrokovnjakov in strokovnjakov pogosto razlikujejo. To lahko vodi v

napačno domnevo odgovornih za ukrepanje, da bodo prizadeti prebivalci takoj upoštevali dana opozorila in se po njih ravnali.

Obdobje pred potresom je razmeroma slabo raziskano, saj se raziskovalci praviloma lotevajo potresov šele, ko nastanejo. V določenih delih sveta, kjer so potresi pogosti, pa je to aktivno psihološko obdobje. Ljudje iz zelo ogroženih krajev vedo, da so njihova tveganja (smrt, poškodbe, škoda) velika. Kljub mnenju nekaterih, da ne bi smeli živeti na tako nevarnih območjih, vztrajajo. Tako npr. v Turčiji ljudje živijo na območju, kjer so v 30 letih doživeli 11 potresov ((Nichols, 1974) po (McCaughey, 1994)). In zakaj je tako? Nekateri se nedvomno ne zavedajo grožnje, druge bolj zanimajo vsakdanji življenjski problemi. Le 1,7 % prebivalcev Los Angelesa, Vancouvra in Anchoraga

(potresno zelo ogroženih območij) je med pomanjkljivostmi življenja v svojem kraju omenilo potres (pomembnejši so bili onesnaženje ozračja, gneča in kriminal). Mnogi ostajajo v kraju zaradi socialnih, gospodarskih in kulturnih prednosti, ki imajo večjo težo od pomanjkljivosti. Navsezadnje, koliko Ljubljančanov bi se zaradi možnega potresa izselilo iz mesta? Potresna izkušnja je grozljiva, in čeprav je potresni sunek navadno krajši od minute, se zdi prizadetim veliko daljši. V raziskavi po nekem potresu so npr. trajanje 30-sekundnega sunka ocenili v povprečju za 61 sekund (razpon od 1 do 300 sekund). Odzivi se gibljejo od strahu in groze do ravnodušnosti in zanikanja in niso nujno v sorazmerju z močjo dogodka. Potres Loma Prieta je bil npr. zmeren, pa vendar so bili pogosti močni odzivi.

3 • METODA

3.1 Udeleženci

Pri izbiri vzorca smo izbrali neslučajno vzorčenje, pri čemer je šlo v primeru strokovne javnosti za vzorčenje po načelu kvota (karakteristika: vključenost v IZS), v drugem primeru pa smo izbrali namensko vzorčenje po načelu snežene kepe s širjenjem preko elektronske pošte, interesnih novičarskih strani in družbenih omrežij. Vzorčenje po načelu snežne kepe je specializiran tip vzorčenja, ki se uporablja, kadar druge metode iz praktičnih razlogov niso uporabne. Pri uporabi te vrste vzorčenja se za izgradnjo vzorca preučevane skupine uporabijo osebna poznanstva (Haralambos, 1995). Po metodi snežne kepe se na začetku izbere manjši vzorec ljudi, ki odgovorijo na vprašalnik, obenem pa k izpolnjevanju povabijo svoje znance. Proces se nadaljuje tudi pri višjih stopnjah ločenosti (vsak naslednji anketiranec naj bi zagotovil nekaj novih anketirancev). Prednost te vrste vzorčenja je predvsem v hitrem popolnjevanju vzorca, ki je odvisen samo od začetne izbrane populacije. To je obenem tudi slabost, saj po začetni izbiri nimamo več nadzora nad vzorcem. Dodatna slabost je tudi odvisnost od posameznikovega mreženja v horizontalni in predvsem v vertikalni smeri. Ne glede na pomanjkljivosti ocenjujemo, da dobljeno število in relativna razpršenost odgovorov zagotavljata dovolj dober vpogled v mnenja nestrokovnjakov o potresih.

Vzorec splošne populacije (nestrokovnjaki) je vključeval 502 osebi. Od tega jih ima kar 71 % izobrazbo sedme stopnje (visoko strokovno, univerzitetno dodiplomsko izobraževanje, magistririj) ali doktorat. Glede na kraj bivanja močno prevladuje Ljubljana (72 %). 29 anketirancev (6 %) je kot kraj bivanja navedlo goriško regijo (podvzorec GO). Predvidevamo, da je precejšen del teh anketirancev iz Posočja in imajo več izkušenj s potresi in njihovimi posledicami kot splošna laična populacija, zato smo posebej preverili odgovore te podskupine in jih primerjali z odgovori celotnega vzorca splošne populacije. Izkazalo se je, da so pri veliki večini vprašanih odgovori te podskupine zelo podobni odgovorom celotnega vzorca splošne populacije, zato navajamo rezultate za to podskupino predvsem tam, kjer se pojavlja nekaj večje odstopanje. Pri anketirancih, članih IZS (vzorec IZS, 217 anketirancev), jih ima 86 % izobrazbo sedme stopnje ali višjo, medtem ko pri sodelavcih FGG (vzorec FGG) to velja za vseh 23 anketirancev. Pri članih IZS jih je 55 % navedlo, da se ukvarjajo s projektiranjem, 41 % pa z opravljanjem gradbenih del. Pri sodelavcih FGG ta dva odstotka znašata 35 in 13.

3.2 Gradivo

Uporabili smo elektronsko različico vprašalnika, ki ga je sestavljalo 75 vprašanj zaprtega tipa, razdeljenih v več podskupin: demografska vprašanja (starost, spol, izo-

brazba, poklicna dejavnost), zaznava splošne ogroženosti zaradi potresov, zaznane posledice nasploh in na posameznih tipih zgradb, sprejemljive posledice, ocena znanja o potresih pri različnih deležnikih, vzroki za neustrezno potresno odpornost objektov, zaznana učinkovitost ukrepov, zaznana odgovornost za ukrepanje, potrebni ukrepi in pomanjkljivosti zaščite pred potresi. Na večino vprašanj so udeleženci odgovarjali ob pomoči petstopenjske ocenjevalne lestvice (kjer praviloma ocena 1 pomeni malo ali nič neke lastnosti, 5 pa veliko), na nekaj pa tudi s štiri-, šest- in sedemstopenjsko. Udeleženci iz laične javnosti so odgovarjali na nekaj skrajšani (poenostavljeni) vprašalnik s 43 vprašanji. Pri obdelavi rezultatov smo za enostavno primerjavo med odgovori na različna vprašanja in med različnimi vzorci vsakemu od možnih odgovorov po vrsti pripisali številčno vrednost od 1 do možnega števila odgovorov in izračunali povprečno numerično vrednost za odgovore vseh anketirancev.

3.3 Postopek

Glede na dostopnost skupin smo se odločili za zbiranje podatkov z elektronskim vprašalnikom, ki je bil zgrajen ob pomoči spletnega servisa Google Dokumenti. Vprašalnik smo najprej testirali na manjšem vzorcu podiplomskih študentov FGG ter tako preverili razumljivost postavljenih vprašanj in pridobili prve povratne informacije. Na podlagi njihovih odgovorov in priporočil smo vprašalnik spremenili in dopolnili ter ga poslali strokovni javnosti (preko IZS), kasneje pa v nekoliko skrajšani različici še laični javnosti.

4 • REZULTATI

4.1 Zaznava potresne ogroženosti

Vprašanje »Kakšna je po vašem mnenju potresna ogroženost Slovenije?« smo zastavili samo strokovnjakom. Po mnenju udeležencev s FGG je ogroženost večja (povprečje 3,48, pri čemer vrednost 3 ustreza srednji, 4 pa visoki ogroženosti) kot po mnenju anketirancev v IZS (povprečje 3,18). Pri vprašanju o zaskrbljenosti zaradi potresne ogroženosti Slovenije z vidika odpornosti gradbenih objektov odgovori kažejo, da nestrokovnjake potresna ogroženost Slovenije skrbi manj kot strokovno javnost, saj so povprečne vrednosti odgovorov 2,78, 3,23, 3,35 in 2,93 za posamezne skupine udeležencev: nestrokovnjake, IZS in FGG ter podvzorec GO (1 pomeni »to me sploh ne skrbi«, 5 pa »to me zelo skrbi«). Porazdelitev odgovorov za nestrokovnjake in IZS je prikazana na sliki 3. Razlika med nestrokovnjaki in strokovnjaki, kot jo kaže analiza variance, je statistično pomembna ($F_{(1, 717)} = 32,1$; $p = 0,00$).

Vprašanje o potresni odpornosti stavbe, v kateri živijo, smo vključili naknadno na pobudo enega od poskusnih anketirancev in so nanj odgovarjali samo nestrokovnjaki. Kar 71 % jih je menilo, da je stavba, v kateri živijo, potresno odporna. Na naslednje vprašanje, glede lastnega ukrepanja za povečanje potresne odpornosti stavbe, če ta ni potresno odporna, jih je z »da« odgovorilo samo 23 %.

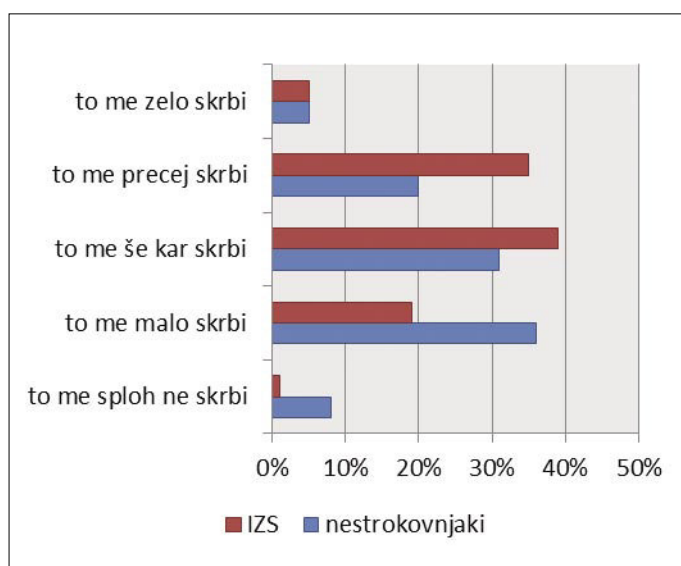
4.2 Zaznava potresne odpornosti stavb in infrastrukture

Skupni imenovalec vprašanj s področja potresne odpornosti stavb je bil »Kakšne bi bile po vašem mnenju posledice močnega potresa z epicentrom v okolici Ljubljane na stavbe?«. V vseh primerih je bilo možnih pet odgovorov: (1) (stavbe) nepoškodovane, (2) malo poškodovane, (3) močno poškodovane, (4) delno porušene, (5) povsem porušene. Vse anketirance smo vprašali tudi za mnenje o stavbah, grajenih do leta 1945, brez določitve vrste gradnje. Ujemanje odgovorov pri vseh treh vzorcih je presenetljivo dobro. Povprečne vrednosti vseh odgovorov znašajo 3,58 za nestrokovnjake, 3,60 za IZS in 3,65 za FGG. Tudi razporeditev odgovorov je podobna (slika 4), posebno med nestrokovnjaki in IZS. Kot je pokazala analiza variance, razlika med strokovnjaki in nestrokovnjaki ni bila statistično pomembna ($F_{(1, 717)} = 1,707$; $p = 0,192$).

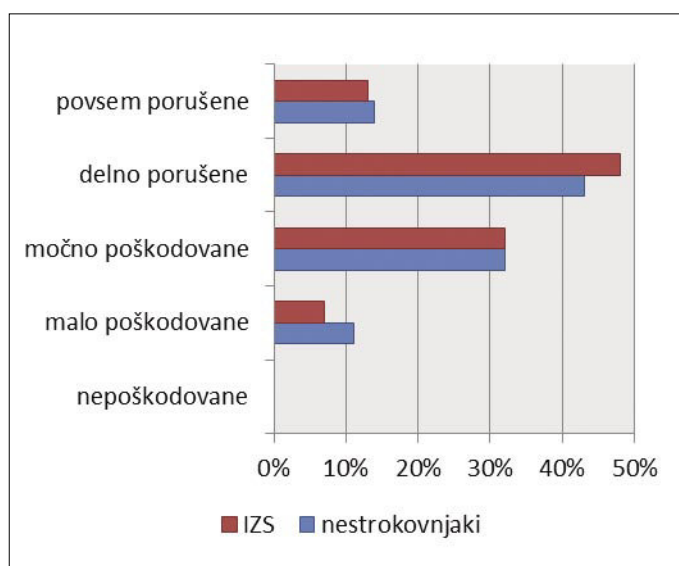
Nestrokovnjakom smo zastavili še dve vprašanji o potresni odpornosti stavb, in sicer za stavbe, grajene v obdobju 1945–1964, ko ni bilo predpisov o potresno odporni gradnji, in za stavbe, grajene po letu 1964. Povprečni vrednosti odgovorov znašata 3,61 za obdobje 1945–1961 (torej zelo podobno kot za obdobje pred 1945) in 2,65 za obdobje po 1964. Obe vrednosti sta malo pod zgornjo mejo vrednosti za odgovore strokovnjakov, ki

jih bomo pokazali v nadaljevanju. Zanimivo je, da nestrokovnjaki pričakujejo podobne ali večje poškodbe kot strokovnjaki, kljub temu pa so manj zaskrbljeni, kot je razvidno iz odgovora na vprašanje o potresni ogroženosti Slovenije.

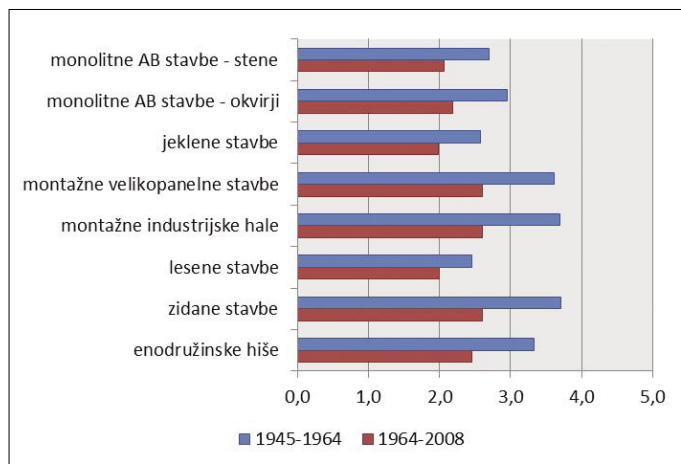
Za strokovnjake smo pripravili bolj podrobna vprašanja o različnih vrstah konstrukcijskih sistemov stavb. Zanimalo nas je njihovo mnenje o potresni odpornosti enodružinskih hiš, zidanih stavb, lesenih stavb, montažnih industrijskih hal, montažnih velikopanelnih stavb, jeklenih stavb, monolitnih armiranobetonskih stavb z okvirno konstrukcijo in monolitnih armiranobetonskih stavb s stenasto konstrukcijo. Glede na obdobje gradnje smo za vse tipe stavb spraševali za dve obdobji: 1945–1964 in 1964–2008. Povprečne vrednosti odgovorov, prikazane na sliki 5, kažejo, da strokovnjaki najbolj zaupajo lesenim, jeklenim in monolitnim armiranobetonskim stavbam s stenami, najmanj pa zidanim in montažnim stavbam. Primerjava med dvema obdobjema kaže, da je pričakovana poškodovanost objektov, grajenih po letu 1964, torej po uvedbi prvih predpisov o potresno odporni gradnji, pri bolj ogroženih tipih (zidane in montažne konstrukcije) približno za eno stopnjo nižja kot pri objektih, grajenih pred letom 1964. Pri manj ogroženih tipih objektov (lesene, jeklene in monolitne stenaste konstrukcije AB) zmanjšanje pričakovane poškodovanosti znaša približno pol stopnje. Odgovori članov IZS so precej podobni odgovorom mnogo manjšega vzorca sodelavcev FGG.



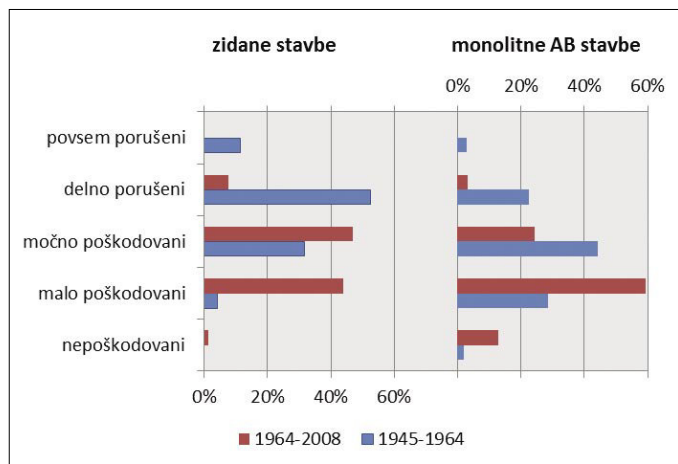
Slika 3 • Zaskrbljenost zaradi potresne ogroženosti Slovenije z vidika odpornosti gradbenih objektov pri strokovnjakih (IZS) in nestrokovnjakih



Slika 4 • Odgovori na vprašanje o pričakovani poškodovanosti stavb, grajenih pred letom 1945



Slika 5 • Povprečne ocene pričakovane poškodovanosti posameznih tipov objektov (lestvica od 1 = nepoškodovani, do 5 = povsem porušeni) (IZS)



Slika 6 • Odgovori članov IZS o pričakovani poškodovanosti stavb, grajenih v obdobjih 1945-1964 in 1964-2008, za zidane stavbe (levo) in za monolitne AB-stavbe (desno)

Porazdelitev odgovorov za dva tipa stavb prikazujemo na sliki 6.

Leta 2008 je postala obvezna uporaba novega evropskega in slovenskega standarda Evrokod 8. Od članov IZS jih je na vprašanje, kakšno poškodovanost pričakujejo za stavbe, grajene po letu 2008, 11 % odgovorilo »nepoškodovane«, 72 % »malo poškodovane«, 15 % »močno poškodovane« in 2 % »delno porušene«. Nihče ne pričakuje popolne porušitve. Povprečna vrednost pričakovane poškodovanosti znaša 2,07 oziroma malenkost več kot »malo poškodovane«. Tudi sodelavci FGG so ocenjevali podobno (povprečna vrednost 2,04, z malo večjim raztrosom). Zanimivo je, da preko 10 % strokovnjakov pričakuje, da bodo objekti, grajeni po sodobnih predpisih, prenesli močan potres brez poškodb, čeprav vsi sodobni predpisi temeljijo na zmanjševanju potresnih sil zaradi ugodnega vpliva sipanja energije zaradi neelastičnega obnašanja pri močnih (malo verjetnih) potresih, ki je povezano s poškodbami. V Evrokodu 8 (EC8-1, 2005) je jasno definiran namen standarda: zaščititi človeška življenja, omejiti škodo in zagotoviti, da ostanejo konstrukcije, pomembne za civilno zaščito, uporabne. Torej, omejiti, ne preprečiti škode!

Ob oceni ogroženosti različnih objektov nas je zanimalo, ali se v ocenah strokovnjakov (IZS in FGG) bolj kaže *podobnost* po vrsti gradnje ali po obdobju gradnje. Odgovor na to je dala faktorska analiza¹ njihovih ocen, ki je razkrila

tri faktorje, ki bi jih lahko poimenovali: *zidane in lesene stavbe, jeklena in armiranobetonska gradnja ter montažna gradnja*. Tako je zaznana ogroženost različnih vrst zgradb sicer močno odvisna od obdobja gradnje, a znotraj tega so udeleženci upoštevali predvsem vrsto gradnje, kar je glede na to, da gre za strokovnjake, razumljivo. Slika 5 jasno kaže, da je zaznana ogroženost starejših stavb bistveno večja od ogroženosti novjših, razmerja zaznane ogroženosti med posameznimi tipi stavb za obe obdobja pa so zelo podobna.

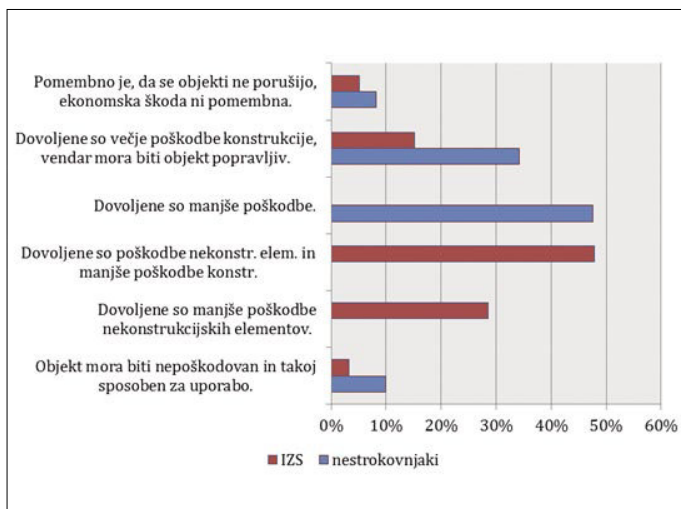
Nekaj vprašanj je bilo postavljenih v zvezi z infrastrukturo. Ločili smo jo glede na leto gradnje (pred letom 2008 in po njem) in glede na tip (mostovi in viadukti ter drugo). Rezultati kažejo, da med člani IZS ni bistvene razlike med vrstami infrastrukture, bistvena pa je seveda razlika glede na leto gradnje. Povprečne vrednosti pričakovane poškodovanosti (1 pomeni nepoškodovano, 5 pa povsem porušeno) so 2,83 za mostove in viadukte ter 2,75 za drugo infrastrukturo, oboje za objekte, grajene pred letom 2008. Ustrezni vrednosti za novejša objekta znašata 1,99 in 2,12 in sta podobni vrednostim pri sodobnih stavbah. Sodelavci FGG pričakujejo manjšo poškodovanost infrastrukture, predvsem pri infrastrukturi, grajeni po sodobnih predpisih, kjer povprečni vrednosti znašata 1,78 in 1,91, kar je manj kot pri sodobnih stavbah.

Strokovnjake smo prosili, da navedejo tipe objektov, ki so po njihovem mnenju v Sloveniji potresno najbolj ogroženi. V odgovorih so se pričakovano največkrat pojavljali stari objekti, predvsem tisti, grajeni pred letom 1964. Med njimi so po pogostosti izstopali zidani objekti iz kamna in opeke, pri čemer so bili večkrat omenjeni objekti, ki nimajo vodoravnih in navpičnih vezi, ki so slabo temeljeni, pa tudi spomeniško zaščiteni kamniti objekti, stari sakralni objekti, zvoniki, stara mestna jedra. Anketirance skrbijo tudi zidani objekti, ki so bili nestrokovno adaptirani ali rekonstruirani, npr. kjer so bile lesene medetažne konstrukcije neustrezno zamenjane z armiranobetonskimi. V skupini starih objektov so pogosto omenjeni večnadstropni zidani stanovanjski objekti, še posebno pa zidane stolpnice in industrijske montažne konstrukcije.

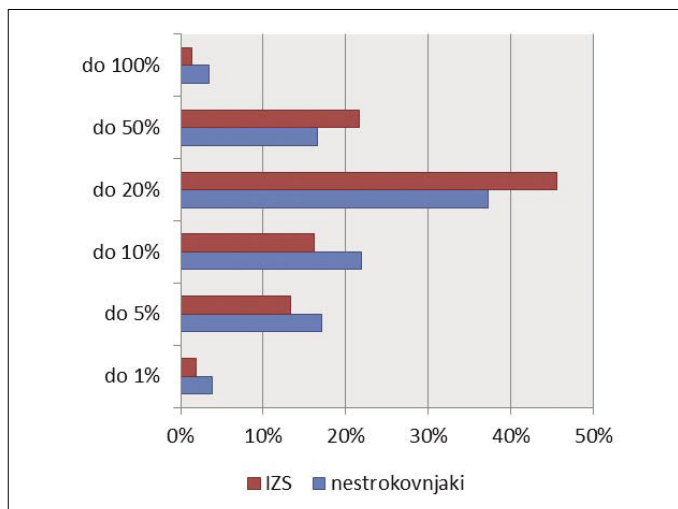
Po namembnosti so anketiranci poleg stanovanjskih objektov navajali šole in bolnišnice. Pri infrastrukturi so bili večkrat omenjeni jezovi in pregrade vodnih akumulacij, predvsem zemeljske. Nekaj anketirancev je omenilo tudi objekte energetike (nuklearna, hidroelektrarne in termoelektrarne), tovarniške dimnike in višje armiranobetonske stavbe.

Pri novejših objektih so anketiranci pogosto navajali individualno gradnjo, ki se izvaja v lastni režiji brez ustrezne dokumentacije (projekta za izvedbo) in brez nadzora inšpekcijskih služb. Večkrat so bili omenjeni sodobni, neustrezno zasnovani objekti izrazito nesimetričnih

¹ Faktorska analiza (Cudeck, 2000) je zbirka metod za razlago korelacij med spremenljivkami, te pa pomenijo, da imajo vrednosti vsake spremenljivke določen – večji ali manjši – del informacije, ki ga vsebujejo tudi druge. Spremenljivke med seboj korelirajo zato, ker so delno določene z nekim skupnim, čeprav skritim vplivom, kar s faktorsko analizo skušamo odkriti in ugotoviti, koliko je vsaka spremenljivka povezana s posameznim vplivom oz. faktorjem. Njihovo naravo določimo glede na spremenljivke, ki jih posamezni faktor najbolj pojasnjuje oz. so najbolj obtežene z njim. V našem primeru to pomeni, da so ocene ogroženosti nekaterih vrst stavb bolj povezane med seboj kot z drugimi, da na podoben način naraščajo ali padajo, čeprav se po višini ocene lahko razlikujejo.



Slika 7 • Odgovori na vprašanje o sprejemljivi poškodovanosti objektov



Slika 8 • Odgovori na vprašanje o sprejemljivih stroških popravila glede na ceno novega objekta

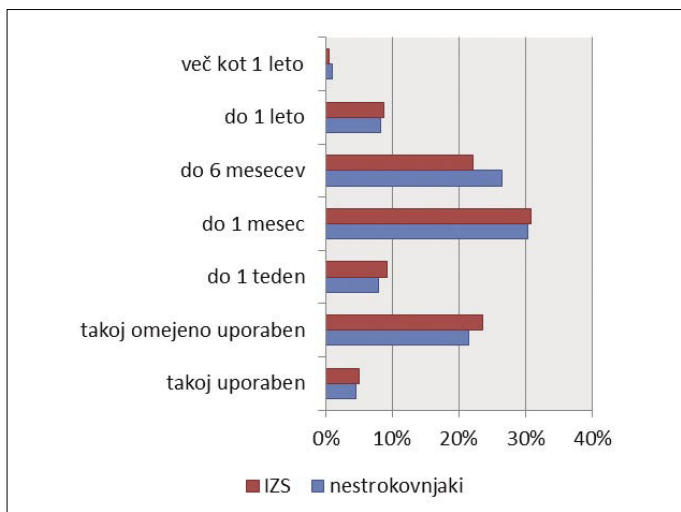
florisov in z izrazitimi spremembami togosti konstrukcije, še posebno večnadstropne stanovanjsko poslovne stavbe z mehкими pritličji, v katerih so lokali. Enega od anketirancev je skrbela »industrijska gradnja, ki se izvaja na večjih industrijskih kompleksih in se običajno opravlja brez potrebne dokumentacije (kot npr. postavitve silosov, jeklenih konstrukcij za transportne naprave, jekleni aneksi, postavljeni v že zgrajenih objekt ali zraven objektov, čistilne naprave, posegi v nosilne konstrukcije že obstoječih objektih zaradi spremembe tehnologije) in gradbenega nadzora«. Negativne vplive nestrokovnih posegov v konstrukcijo brez izdelave ustrezne analize (nadzidave, rušitev nosilnih sten in njihova zamenjava s podajnimi okvirji) je navajalo več anketirancev. Eden med njimi je napisal

»zastrašujoče je predvsem stanje potresne varnosti stanovanjskih blokov, ko so lastniki po odkupu (Jazbinškov zakon) pričeli samovoljno izvajati gradbene posege v nosilne konstrukcije, da so si izboljšali funkcionalno zasnovo stanovanja, s tem pa ogrozili že tako nizko stopnjo potresne varnosti«. Nekateri odgovori kažejo na vplive, ki lahko zmanjšujejo potresno odpornost obstoječih objektov. Omenjeni so bili pritiski na projektante, prekratki roki in neplačila, varčevanje pri projektni dokumentaciji, problem projektiranja tujih projektantskih organizacij ali posameznikov, ki ne poznajo zakonske regulative Slovenije. Zanimiv je odgovor enega od anketirancev, ki med potresno ogrožene objekte prišteva »objekte, ki bodo šele zgrajeni (vpliv degradacije stroke, zmanjšanja nadzora

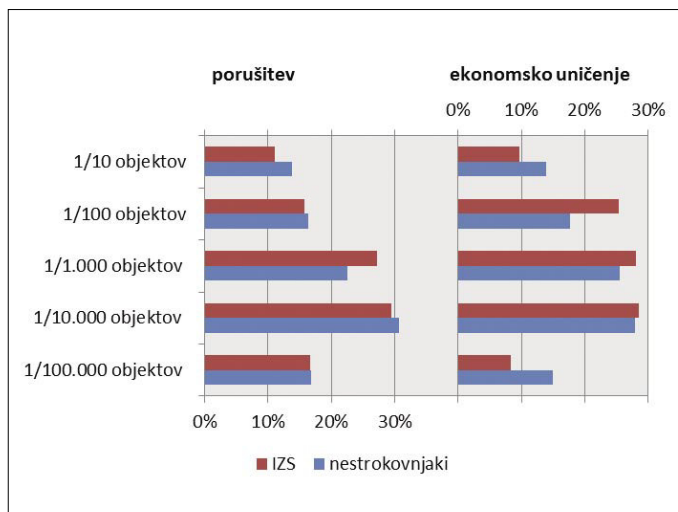
in kontrole kot posledica spreminjanja zakonodaje in razpad gradbene operative)«.

4.3 Sprejemljive posledice

Eden od glavnih namenov ankete je bil pridobitev kvalitativnih in kvantitativnih podatkov o zaznanih možnih posledicah močnega potresa, ki se zdijo sprejemljive strokovnjakom in splošni populaciji. Na vprašanje o sprejemljivih posledicah močnega potresa, izraženih s poškodbami, je bilo za strokovnjake na izbiro danih 5 odgovorov, od (1) objekti morajo biti nepoškodovani, do (5) pomembno je, da se objekti ne porušijo (slika 7). Povprečni vrednosti odgovorov znašata 2,90 za IZS in 3,22 za FGG. Odgovori IZS se smiselno precej dobro ujemajo s prejšnjimi odgovori o pričakovani poškodovanosti objektov, grajenih



Slika 9 • Odgovori na vprašanje o sprejemljivem obdobju, ko je objekt neuporaben



Slika 10 • Odgovori na vprašanje o sprejemljivi verjetnosti porušitve (levo) in ekonomskega uničenja (desno)

po sodobnih predpisih, kar nakazuje, da je za člane IZS pričakovano obnašanje objektov, grajenih po sodobnih predpisih, obenem tudi sprejemljivo obnašanje. Sodelavci FGG so nekoliko bolj tolerantni in se jim zdijo sprejemljive tudi nekoliko večje poškodbe. Nobeden od sodelavcev FGG ne misli, da bi objekti morali ostati nepoškodovani, medtem ko je pri članih IZS 3 % takšnih, kar je manj kot pri odgovoru o pričakovani poškodovanosti objektov.

Pri istem vprašanju o sprejemljivi poškodovanosti objektov smo nestrokovnjakom ponudili štiri odgovore, tako da smo združili odgovora (2) in (3) v odgovor (2) Dovoljene so manjše poškodbe. Odgovori so tudi predstavljeni na sliki 7. V povprečju je sprejemljiva poškodovanost podobna kot pri strokovnjakih, je pa pri nestrokovnjakih večji delež tistih, ki mislijo, da bi objekti morali prenesti močan potres brez poškodb.

Naslednje vprašanje se je nanašalo na sprejemljive posledice močnega potresa, izražene s stroški popravila glede na ceno novega objekta. Možni so bili odgovori od (1) do 1 %, do (6) do 100 % (vendar brez porušitve) (slika 8). Povprečne vrednosti odgovorov so znašale 3,56 za nestrokovnjake (3,31 za GO) in 3,76 za IZS, kar ustreza dobrim 15 % stroškov pri nestrokovnjakih in blizu 20 % pri strokovnjakih. Manjši sprejemljivi stroški pri nestrokovnjakih v primerjavi s strokovnjaki so verjetno tudi posledica dejstva, da lahko strokovnjaki bolje ocenijo razmerje med poškodbami in stroški obnove. Porazdelitev odgovorov je prikazana v sliki 8.

Pri vprašanju o sprejemljivih posledicah potresa, izraženih s trajanjem obdobja, ko je objekt neuporaben, je bilo na razpolago sedem odgovorov, od (1) takoj uporaben do (7) več kot eno leto. Povprečne vrednosti odgovorov so znašale 3,81 za nestrokovnjake in 3,70 za IZS. V povprečju je torej za vse skupine sprejemljivo obdobje do enega meseca, pri tem pa je raztros rezultatov zelo velik. Porazdelitev odgovorov (slika 9) je neobičajna, kljub temu pa obstaja neverjetna podobnost med nestrokovnjaki in strokovnjaki.

Vprašali smo tudi o sprejemljivi verjetnosti porušitve običajnega objekta (stanovanjski,

poslovni), grajenega po sodobnih predpisih. Na izbiro je bilo pet odgovorov: v povprečju se lahko zaradi potresa poruši (v življenjski dobi objekta = 50 let) en objekt od (1) 100.000, (2) 10.000, (3) 1000, (4) 100 in (5) 10. Na razpolago so bile torej verjetnosti porušitve 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} in 10^{-1} v 50 letih. Porušitev objekta seveda z veliko verjetnostjo pomeni človeške žrtve. Odgovori so prikazani v sliki 10. Povprečni vrednosti za strokovnjake (2,80) in za IZS (2,75) sta si zelo podobni, povprečna vrednost za FGG (2,09) pa močno odstopa. Razpršenost odgovorov je velika.

Zelo podobno vprašanje se je nanašalo na sprejemljivo verjetnost za ekonomsko uničenje objekta, grajenega po sodobnih predpisih. Objekt se fizično ne poruši, vendar je trajno neuporaben. Sprejemljiva verjetnost za takšen dogodek bi morala seveda biti precej večja kot pri porušitvi. Odgovori so prikazani na sliki 10. Povprečne vrednosti znašajo 2,88, 3,00 in 2,61 za nestrokovnjake, IZS in FGG.

Povprečne vrednosti, izražene s sprejemljivo verjetnostjo porušitve, so prikazane v preglednici 3. Podobna tabela je pripravljena tudi za sprejemljivo verjetnost za ekonomsko uničenje (preglednica 4).

Presenetljiva je majhna razlika (z izjemo sodelavcev FGG) med sprejemljivo verjetnostjo porušitve, ki je povezana s človeškimi žrtvami, in sprejemljivo verjetnostjo ekonomskega uničenja.

V literaturi je sicer kar nekaj podatkov o značilnostih sprejemljivega tveganja (npr. Fischhoff in sod., 2004) – predvsem povezanih s tehničnimi ogrožanji, veljavnih pa tudi za naravne nesreče –, malo pa je konkretnih podatkov o tveganju, ki so ga posamezniki in družba kot celota pripravljene sprejeti glede potresov. Sprejemljivo tveganje je seveda odvisno od osebnih in družbenih vrednostnih sodb in izkušenj ter je različno v različnih kulturnih okoljih. Eden od glavnih namenov ankete je bil prav pridobitev podatkov o tveganju, ki so ga prebivalci Slovenije pripravljene sprejeti v zvezi s potresi.

Obstoječa regulativa nima uporabnih podatkov o sprejemljivem tveganju. Ciljne vrednosti v posameznih dokumentih se močno razlikujejo. Vrednosti, ki jih predvideva osnovni Evrokod standard (ECO, 2004) v Dodatku B, so zelo nizke in jih v primeru izjemnih dogodkov, kot so potresi, pri običajnih objektih ni mogoče zagotoviti. Po Evrokodu znaša velikostni red sprejemljive verjetnosti porušitve za stanovanjske, poslovne in javne stavbe, kjer so posledice porušitve srednje velike, 10^{-4} v 50 letih ($\beta = 3,8$, tabela B2 v EC8-0) oziroma 1 porušen med 10.000 objekti. Kot kažejo rezultati v preglednici 3, prebivalci Slovenije, tako nestrokovnjaki kot tudi strokovnjaki, v povprečju sprejemajo večjo verjetnost porušitve. Evrokod 8 je konservativen tudi v primerjavi z nekaterimi drugimi predpisi in drugimi avtorji. Nekaj primerjav je prikazanih v (Lazar, 2011).

	Nestrokovnjaki	IZS	FGG
Verjetnost	$5,75 \cdot 10^{-4}$	$5,62 \cdot 10^{-4}$	$1,54 \cdot 10^{-4}$
Porušeni objekti	1/1740	1/1780	1/6510

Preglednica 3 • Sprejemljiva verjetnost za porušitev objektov v 50 letih

	Nestrokovnjaki	IZS	FGG
Verjetnost	$7,58 \cdot 10^{-4}$	$10,0 \cdot 10^{-4}$	$4,59 \cdot 10^{-4}$
Uničeni objekti	1/1320	1/1000	1/2180

Preglednica 4 • Sprejemljiva verjetnost za ekonomsko uničenje objektov v 50 letih

5 • SKLEP

Anketa je bila opravljena ločeno v treh različnih skupinah udeležencev. Vzorec splošne javnosti (nestrokovnjaki) ni reprezentativen, saj močno prevladujejo visoko izobraženi anketiranci iz

Ljubljane. Člani IZS predstavljajo vzorec najbolj kompetentnih strokovnjakov za projektiranje in opravljanje gradbenih objektov. Majhen vzorec sodelavcev FGG je sestavljen iz gradbenikov,

ki niso člani IZS in torej nimajo pooblastila za projektiranje, nekaj med njimi pa se jih ukvarja z raziskavami na področju potresnega inženirstva.

Rezultati ankete večinoma ne kažejo zelo pomembnih razlik med strokovnjaki in nestrokovnjaki, pri čemer je treba upoštevati, da vzorec nestrokovnjakov ni reprezentativen.

Eni in drugi se jasno zavedajo precejšnje potresne ogroženosti Slovenije. Opazna je večja zaskrbljenost strokovnjakov glede potresne ogroženosti Slovenije, ki je nedvomno odraz boljšega poznavanja problema in večje udeležnosti v spoprijemanju z njim. Nestrokovnjaki se srečujejo s potresi le občasno ali nikoli, strokovnjaki pa ne le kot ogroženi, ampak tudi v pripravi in izvedbi blažilnih ukrepov ter pri obnovi.

Pri podskupini nestrokovnjakov iz goriške regije nismo opazili bistvenih odstopanj v primerjavi z drugimi nestrokovnjaki, čeprav predvidevamo, da je v tej podskupini verjetno znaten del prebivalcev Posočja, za katere

smo, glede na njihove izkušnje, pričakovali drugačen pogled na potrese in njihove posledice, saj izkušnje z neko nesrečo vplivajo na njeno zaznavo. Ta podskupina nekoliko odstopa od celotnega vzorca nestrokovnjakov s tem, da je nekoliko bolj zaskrbljena zaradi potresne ogroženosti.

O pričakovanem obnašanju različnih tipov gradbenih konstrukcij smo spraševali predvsem strokovnjake. Pričakovano se je pokazalo veliko nezaupanje v zidane (z delno izjemo enodružinskih hiš) in montažne objekte, grajene pred letom 1964, torej pred uveljavitvijo prvih predpisov o gradnji na potresnih območjih. Tudi pri novejših ob-

jektih so pričakovane poškodbe pri teh tipih objektov večje. Pri vseh teh odgovorih ni bistvenih razlik med člani IZS in sodelavci FGG. Dejansko strokovnjaki pri oceni potresne ogroženosti različnih stavb upoštevajo tako obdobje kot vrsto konstrukcije, kjer se upoštevanje slednje, kot kažejo rezultati faktorске analize, ustrezno kaže v obeh raziskovanih obdobjih. Razlike med člani IZS in sodelavci FGG se pojavijo pri gledanju na sprejemljive posledice močnega potresa. Sodelavci FGG dopuščajo večje poškodbe, vendar manjšo verjetnost popolnega uničenja objekta in bistveno manjšo verjetnost porušitve.

6 • ZAHVALA

Zahvaljujemo se vsem anketirancem, ki so s prijaznim odzivom omogočili to anketo. Anketa ne bi bila mogoča brez pomoči

Inženirske zbornice Slovenije, ki je omogočila izvedbo ankete med svojimi člani. M. Tomažević je pomagal pri sestavljanju vprašanj. An-

keta je bila opravljena v okviru raziskovalnega projekta Razvoj praktične metode za oceno potresnega tveganja konstrukcij stavb in opreme (J2-4180), ki ga izvaja IKPIR FGG v sodelovanju s Filozofsko fakulteto UL in ZAG-om, financira pa ARRS.

7 • LITERATURA

- Cudeck, R., Exploratory Factor Analysis, v H.E.A. Tinsley, S.D. Brown (Eds.), Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling, New York, Academic Press, 265–196, 2000.
- Drabek, T.E., Human System Responses to Disaster: An Inventory of Sociological Findings, Springer-Verlag, New York, 1986.
- EC0, SIST EN 1990: 2004 – Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij, 2004.
- EC8-1, SIST EN 1998-1: 2005 – Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, 2005.
- Fajfar, P., Polič, M., Klinc, R., Zaznava možnih ukrepov in odgovornosti za zmanjšanje potresne ogroženosti v Sloveniji, Gradbeni vestnik, v pripravi, 2014.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., Combs, B., How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes toward technological risks and benefits, v: Slovic, P. (ur.), The Perception of Risk, London: Earthscan, 80–103, 2004.
- Gerrard, C. M., Petley, D. N., A risk society? Environmental hazards, risk and resilience in the later Middle Ages in Europe, Natural Hazards, 69:1051–1079, 2013.
- Hale, A. R., Glendon A.I., Individual Behaviour in the Control of Danger, Elsevier Science, Amsterdam, 1987.
- Haralambos, M., Holborn, M., Metodologija, V: Sociologija – teme in perspektive. Interno gradivo, prevedla Aleš – Luznar, H., Koltaj, P., strokovni pregled Mežnarič, S., Metode sociološko kulturološkega raziskovanja, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za sociologijo, 1995.
- Lazar, N., Projektiranje stavb na sprejemljivo potresno tveganje – primer osem-etažne armiranobetonske stavbe, Diplomaska naloga št. 3189, mentor M. Dolšek, Univerza v Ljubljani, FGG, 2011.
- Lindell, M. K., Perry, R. W., Behavioral Foundations of Community Emergency Planning, Hemisphere Publishing Corp, 1992.
- McCoughey, B. G., Hoffman, K. J., Llewellyn, C. H., The human experience of earthquakes, v: Ursano, R. J., McCoughey, B. G., Fullerton, C. S. (ur.), Individual and Community Responses to Trauma and Disaster: Structure of Human Chaos, Cambridge, University Press, 136–153, 1994.
- Nichols, T. C., Global summary of human response to natural hazards: earthquakes, v G.F. White (ur.) Natural hazards: local, national, global. New York, Oxford University Press, 274–284, 1974.
- Quarantelli, E. L., Introduction: The basic question, its importance, and how it is addressed in this volume. V: E. L. Quarantelli (ur.), What is a disaster? Perspectives on the question. London: Routledge, 1–7, 1998.

UPORABA PULZNE TERMOGRAFIJE ZA NEPORUŠNE PREISKAVE V GRADBENIŠTVU

APPLICATION OF PULSED THERMOGRAPHY IN NON-DESTRUCTIVE TESTING IN CIVIL ENGINEERING

Patricia Cotič, univ. dipl. inž. grad.

patricia.cotic@imfm.si

Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Jadranska 19, 1000 Ljubljana

Primož Murn, univ. dipl. inž. grad.

primoz.murn@zarja.si

ZARJA, stanovanjsko podjetje, d. o. o., Prešernov trg 5, 8000 Novo mesto

doc. dr. Dejan Kolarič, univ. dipl. mat.

dejan.kolaric@fgg.uni-lj.si

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova 2, 1000 Ljubljana

izr. prof. dr. Zvonko Jagličič, dipl. inž. fiz.

zvonko.jaglicic@fgg.uni-lj.si

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova 2, 1000 Ljubljana,
in Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Jadranska 19, 1000 Ljubljana

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, dipl. inž. grad.

vlatko.bosiljkov@fgg.uni-lj.si

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 543.067.3:772.96

Povzetek | V gradbeništvu je uporaba termografije za neporušne preiskave razmeroma slabo poznana, prav tako tudi načini obdelave termografskih podatkov za karakterizacijo napak in vključkov v gradbenih konstrukcijskih elementih. Direktni prenos tehnik obdelave podatkov s strojništva ni mogoč, saj se materialne lastnosti preizkušancev kot tudi pogoji merjenja na obeh področjih bistveno razlikujejo. V delu predstavimo uporabo temperaturnega kontrasta in pulzno-fazne termografije za preiskave laboratorijskih betonskih preizkušancev s pulzno termografijo. Temperaturni kontrast je dovolj občutljiv za zaznavanje najpogostejših napak in vključkov v betonskih konstrukcijskih elementih, ne moremo pa z njim kvantitativno oceniti globine anomalij. Slednje omogoča pulzno-fazna termografija s faznimi slikami, ki se izkaže kot odlično orodje za obdelavo termografskih podatkov v primerih, ko zahtevamo veliko prostorsko ločljivost in velik kontrast slike.

Ključne besede: termografija, neporušne preiskave, gradbeništvo, karakterizacija napak, temperaturni kontrast, pulzno-fazna termografija

Summary | Although thermography is a powerful method for non-destructive testing in mechanical engineering, it is much less developed for application in civil engineering. Particularly, there is a lack of data processing techniques used for the characterization of defects and inclusions in building structures. The direct transfer of techniques from mechanical to civil engineering is not possible due to different material properties and experimental conditions. The application of thermal contrast and pulsed phase thermography on results obtained by thermographic inspection of laboratory concrete specimens using pulsed thermography was studied. The results show that the thermal contrast is efficient enough for the detection of the most common defects and inclusions in building

structures. However, it fails for the quantitative determination of defect depth. The latter is fulfilled by using pulsed phase thermography and phase images. In general, pulsed phase thermography proves to be a powerful method for the analysis of thermal data where both high geometrical resolution and high contrast of images are required.

Keywords: thermography, non-destructive testing, civil engineering, defect characterization, thermal contrast, pulsed phase thermography.

1 • UVOD

Slikanje z infrardečo kamero (*termokamera*) ali na kratko *termografija* nam da podatke o površinski temperaturi telesa. Pri uporabi termokamere v gradbeništvu po navadi najprej pomislimo na slikanje objektov pri iskanju toplotnih mostov. Vendar pa lahko termokamera uporabimo tudi za neporušne preiskave, kjer nam izmerjena temperaturna slika površine merjenca in njena časovna odvisnost odkrije, kaj se skriva pod površino. V primerjavi z drugimi neporušnimi metodami, kot so na primer ultrazvok, radar ali meritev električne upornosti, imajo termografske preiskave nekaj prednosti: metoda je hitrejša od drugih naštetih, relativno poceni in med merjencem in kamero ni potreben fizični stik. Zaradi tega ni potrebna površinska obdelava merjenca pred meritvijo in preiskujemo lahko tudi površine, kjer je fizični stik težko zagotoviti.

V strojništvu uporabljajo termografijo na primer za detekcijo korozije (Grinzatoa, 2007), mehanskih poškodb, napetosti v materialu in za kontrolo zvarov ((Bagavathiappan, 2013), (Maldague, 2001)). Uporaba termokamere za neporušne preiskave v gradbeništvu še ni tako pogosta kot v strojništvu. Glavna razlika

med preiskovanimi materiali v gradbeništvu in strojništvu je, da imajo gradbeni materiali običajno veliko manjšo toplotno prevodnost in zato daljše relaksacijske čase, ki določajo časovno skalo spreminjanja temperature. Poleg tega imajo preizkušanci v gradbeništvu bolj nehomogeno notranjo strukturo in so veliko večjih dimenzij, kakor je to običajno v strojništvu. Zaradi tega lahko nastopijo težave pri zagotavljanju enakomernega gretja preizkušancev.

Raziskav s področja neporušnega preizkušanja materialov v gradbeništvu je precej manj kakor na sorodnih področjih. Vodilni pri tem je inštitut BAM (Federal Institute for Materials Research and Testing) iz Berlina, od koder so poročali o zaznavanju votlin v laboratorijskih betonskih preizkušancih (Maierhofer, 2002) in raziskavah površine zidanih stavb, ki spadajo med kulturno dediščino (Maierhofer, 2009). Predvsem na slednjih so termografijo že uporabili za vizualizacijo podometne teksture, zaznavanje površinskih razpok, vlažnosti zidovja, odstopanja posameznih plasti ((Arndt, 2004), (Avdelidis, 2004), (Binda, 2009), (Maierhofer, 2009)) kot tudi za preiskovanje mozaikov

((Avdelidis, 2007), (Theodorakeas, 2012)). Na UL FGG smo termografijo uspešno uporabili v kombinaciji z drugimi neporušnimi, delno porušnimi in porušnimi preiskavami zidanih stavb ((Bosiljkov, 2010a), (Bosiljkov, 2010b)). V nedavni raziskavi smo metodo uporabili za zaznavanje odstopanja ometa laboratorijskih večslojnih kamnitih zidov med strižno obtežbo kot tudi za zaznavanje podometnih razpok (Cotič, 2013).

Kljub naštetim primerom uporabe termografije v gradbeni praksi so načini karakterizacije zaznanih napak in vključkov v preiskovanih objektih slabo raziskani. Glede na to, da je pri karakterizaciji anomalij pri neporušnih preiskavah v gradbeništvu najpomembnejša določitev njihovih globin v preizkušancu, nas je zanimala možnost kvalitativne in kvantitativne ocene globine anomalije na podlagi termografskih preiskav laboratorijskih betonskih preizkušancev. Poleg raziskav globinske odvisnosti smo analizirali še vpliv najbolj tipičnih napak in vključkov v gradbenih konstrukcijskih elementih (lokalizirana voda, zračne votline, delaminacija, armatura, instalacijske cevi) na uspešnost preiskav. Omeniti velja, da smo raje izbrali betonske preizkušance kot zidane, saj betonski preizkušanci zaradi večje homogenosti omogočajo lažjo interpretacijo različnih vplivov na rezultate.

2 • TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Sevanje

Energijo, ki jo črno telo s temperaturo T seva kot elektromagnetno valovanje v prostor, opisuje Planckov zakon (Strnad, 1978):

$$\frac{d j_{\text{čt}}}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}, \quad (1)$$

pri čemer je kvocient $d j_{\text{čt}}/d\lambda$ delež izsevane gostote energijskega toka $j_{\text{čt}}(\lambda)$ na intervalu valovnih dolžin med λ in $\lambda + d\lambda$. S h smo v Planckovem zakonu označili Planckovo kon-

stanto ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js), s $c = 3 \cdot 10^8$ m/s svetlobno hitrost in $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K Boltzmannovo konstanto. Spekter sevanja $d j_{\text{čt}}/d\lambda$, ki ga opisuje Planckov zakon, smo na sliki 1 narisali za nekaj različnih temperatur telesa. Opazimo, da se valovna dolžina λ_{max} pri kateri telo seva največ energije, z nižanjem temperature telesa premika k večjim valovnim dolžinam. Medtem ko je pri Soncu, ki seva približno kakor črno telo s temperaturo 5777 K, maksimum v vidnem delu spektra pri valovni dolžini okoli 0,5 μm , telesa pri temperaturi 300 K sevajo najmočnejše pri

valovnih dolžinah okoli 10 μm . Odvisnost valovne dolžine λ_{max} od temperature telesa izračunamo iz Planckovega zakona pri pogoju, ko spekter $d j_{\text{čt}}/d\lambda$ doseže maksimum (Strnad, 1978). Rezultat

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K} \quad (2)$$

imenujemo Wienov zakon. Za telo, ki ni črno – s tem mislimo, da ne seva, kakor to opisuje Planckov zakon –, je izsevani energijski tok manjši:

$$j = \varepsilon j_{\text{čt}}, \quad (3)$$

pri čemer je koeficient ε emisivnost telesa in znaša za večino realnih sevalcev med 0,1

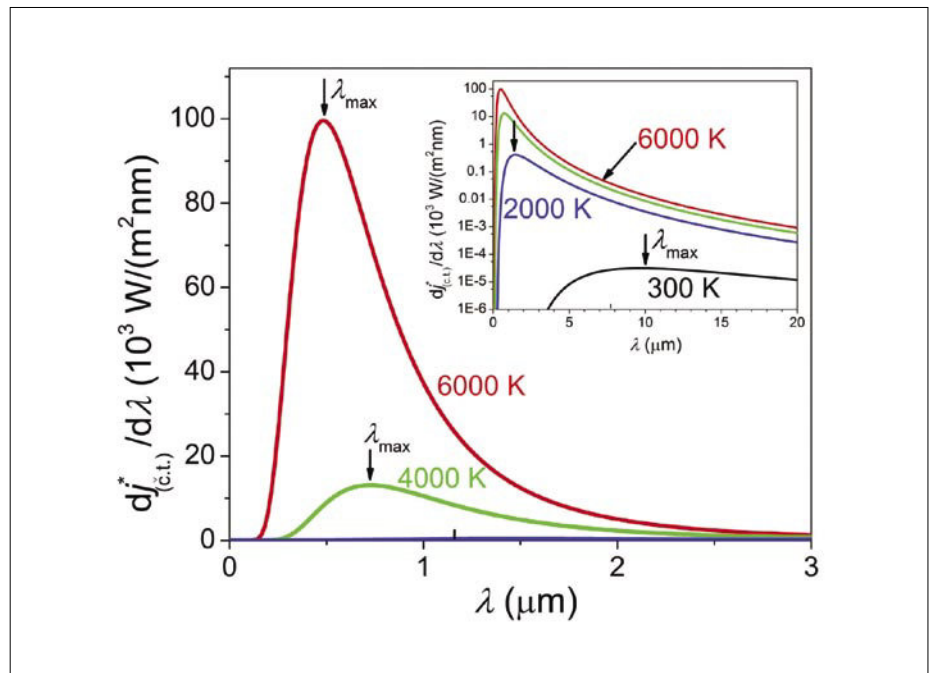
in 0,95. Za gradbene materiale, kot so npr. beton, malta in opeka, je emisivnost ε med 0,9 in 0,95 (Maldague, 2001).

Lastno sevanje, ki ga opisuje Planckov zakon, ni edini vir energije, ki prihaja od telesa v termokamero. S površine telesa, ki ga opazujemo s termokamero, se delno odbija sevanje, ki ga povzročata okolica. Količina odbitega sevanja je odvisna od absorptivnosti površine telesa in je najmanjša za črno telo, ki popolnoma absorbira vpadno sevanje. Ker odbito sevanje ni odvisno od temperature telesa, ki ga s termokamero opazujemo, je to nezaželen prispevek. Absorptivnost telesa je enaka njegovi emisivnosti ε in je torej za gradbene materiale relativno velika. Zato prispeva pri preiskavah v gradbeništvu odbito sevanje običajno manj od 10 % energijskega toka, ki prihaja s površine telesa v termokamero (Pašagič, 2008). Seveda pa moramo paziti, da površine, ki jih snemamo, niso neposredno osvetljene s sončno svetlobo, saj takrat energija odbitega sevanja znatno presega lastno sevanje.

2.2 Delovanje termokamere

Infrardečo svetlobo je leta 1800 odkril William Herschel, ko je po prehodu sončne svetlobe skozi stekleno prizmo opazoval naraščanje temperature živosrebrnega termometra v odvisnosti od njegove lege v spektru razklonjene svetlobe, kakor je prikazano na sliki 2 (Maldague, 2001). Presenečen je odkril, da je tudi v nevidnem delu spektra, pri valovnih dolžinah, daljših od valovne dolžine rdeče svetlobe, temperatura termometra povišana. Ta del elektromagnetnega spektra je poimenoval »nevidni žarki« ali »žarki, ki povzročajo toploto«. Danes jim pravimo infrardeča svetloba (IR-svetloba) in ji pripišemo valovne dolžine od okoli 0,8 μm (NIR, ang. Near-infrared) do približno 300 μm , kjer se približno začne mikrovalovni del spektra elektromagnetnega valovanja (Maldague, 2001). John Herschel, sin Williama Herschela, je posnel prvo sliko z IR-svetlobo. IR-del sončevega spektra je po prehodu skozi optično prizmo usmeril na filterski papir, navlažen z alkoholom. Tam, kjer je na papir prišlo največ IR-svetlobe, je alkohol najbolj izhlapeval (McDaniel, 1962). Tako je dobil prvi *termogram* (angl. thermogram) – sliko, ki jo naredi IR-svetloba.

Kot detektorje IR-svetlobe danes največ uporabljamo tako imenovane bolometre – polprevodnike, ki se jim zaradi segrevanja z IR-svetlobo spreminja električna upornost. Poleg bolometra in ustreznih leč, ki naredijo sliko predmeta na detektorju, je pomemben del



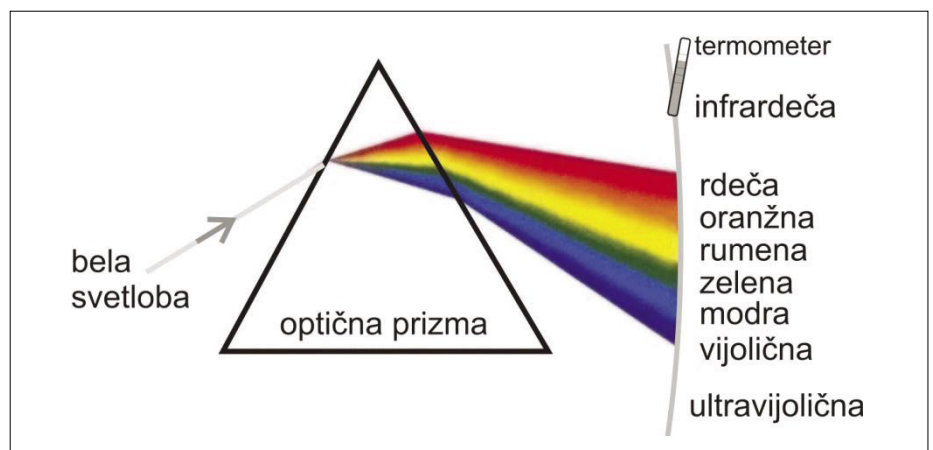
Slika 1 • Sevanje črnega telesa pri različnih temperaturah telesa, kot ga opisuje Planckov zakon. Z navpičnimi puščicami smo označili valovno dolžino, pri kateri telo z izbrano temperaturo seva največ energije. Skala na ordinatni osi vložene slike je logaritemska. Izsevana gostota energijskega toka telesa s temperaturo 300 K je tudi pri valovnih dolžinah okoli 10 μm veliko manjša od gostote energijskega toka telesa s temperaturo nekaj tisoč Kelvinov

termokamere tudi tako imenovani IR-filter. Ta prepreči pot vidni svetlobi do detektorja, saj bi vidna svetloba detektor hitro preobremenila. Za IR-filter velikokrat služijo že leče same. Polprevodnika germanij in silicij, ki ju običajno uporabljamo za izdelavo leč v termokamerah, slabo prepuščata vidno svetlobo (Hall, 1954). Po drugi strani lahko z ustreznimi antirefleksnimi plastmi na lečah dosežemo, da prepuščajo skoraj 100 % IR-svetlobe. Najprej so termokamere uporabljali izključno v vojaške namene. Okrog leta 1960 pa so po-

stale prosto dostopne tudi za civilno uporabo. V primeru neporušnih preiskav smemo reči, da termokamero uporabljamo kot natančen brezkontaktni termometer, s katerim merimo porazdelitev temperature po površini merjenca v odvisnosti od časa.

2.3 Merske tehnike

Iz izmerjene časovne odvisnosti površinske temperature in poznavanja procesov prenosa toplote v snovi lahko sklepamo o notranji strukturi preizkušanca. Pri pasivni termogra-



Slika 2 • Herschelov poskus (okoli leta 1800). Termometer je pokazal povišano temperaturo tudi v očem nevidnem delu spektra

fiji opazujemo objekte v kvazistacionarnem stanju. Sem sodi na primer slikanje stavb pozimi za določanje toplotnih mostov ali slikanje delujočih naprav za iskanje mest, kjer se pregrevajo. Pri neporušnih preiskavah je pomembnejša tako imenovana *aktivna* termografija (Maldague, 2001). Pri aktivni termografiji objekt, ki ga preiskujemo, grejemo z grelniki in opazujemo, kako se površinska temperatura spreminja s časom. Če je na primer tik pod površino preizkušanca kovina, ki odlično prevaja toploto, se bo tam po izključitvi gretja temperatura hitreje zmanjševala kot na mestu, kjer je pod površino toplotnoizolacijski material. Po načinu ogrevanja in zajemanja podatkov ločimo tri vrste aktivne termografije (Maldague, 2001)¹:

a) *pulzna termografija* (angl. pulsed thermography) – po kratkem gretju (milisekunde do sekunde za kovine, nekaj minut za gradbene materiale) opazujemo ohlajanje površine (nekaj sekund za kovine, približno eno uro za gradbene materiale).²

b) *termografija z odzivom na periodično motnjo* (angl. lock-in thermography) – temelji na zaznavanju termičnih valov, ki nastanejo znotraj preizkušanca, ko ga stimuliramo s periodičnim gretjem. Opazujemo časovno odvisnost med vzbujevalnim signalom in površinsko temperaturo.

c) *termografija s stopničastim pulzom* (angl. step heating) – temperaturo površine preizkušanca opazujemo med gretjem.

V članku predstavljamo uporabo pulzne termografije, ki je v gradbeništvu najbolj pogosta. Termografijo z odzivom na periodično motnjo so doslej uporabili za zaznavanje in oceno vlažnosti površin gradbenih materialov (Wild, 1998). Nedavna raziskava poroča tudi o izkoriščanju periodičnega sončnega sevanja za zaznavanje napak na ovoju stavb (Bortolin, 2013). V splošnem pa ima pulzna termografija bistvene prednosti pred termografijo z odzivom na periodično motnjo. Slednja namreč potrebuje večje število meritev pri različnih frekvencah, da lahko zaznamo napake na več globinah (Larbi, 2009).

2.4 Karakterizacija anomalij

V nasprotju z radarjem in ultrazvokom, kjer je čas preleta odbitega signala sorazmeren globini anomalije v preizkušancu, termografski podatki neposredno ne pokažejo globine

anomalij. Raziskovalci s področja uporabe termografije v strojništvu so predlagali dva glavna pristopa k obdelavi podatkov. Prvi pristop temelji na *temperaturnem kontrastu* (angl. thermal contrast), drugi, tako imenovan *pulzno-fazna termografija* (angl. pulsed phase thermography), pa na obdelavi podatkov v frekvenčni domeni. Poudariti velja, da sta bila oba pristopa razvita za uporabo v strojništvu, na materialih, kjer so časi segrevanja kratki. Glavni namen tega članka je zato pokazati prednosti in slabosti obeh pristopov pri uporabi termografije v gradbeništvu. Medtem ko temperaturni kontrast uporabimo pri širši karakterizaciji anomalij, pulzno-fazno termografijo uvedemo le za kvantitativno določanje globine anomalij.

Temperaturni kontrast

Temperaturni kontrast $C(t)$ za posamezno točko na površini merjenca definiramo kot (Maldague, 2001)

$$C(t) = \Delta T = T_{def}(t) - T_{ref}(t), \quad (4)$$

kjer T_{def} označuje časovno odvisno temperaturo površine nad anomalijo, T_{ref} pa nad homogenim (referenčnim) območjem. Čas zaznavanja določene anomalije opredelimo z nastopom maksimalnega temperaturnega kontrasta C_{max} tj. s časom $t_{C_{max}}$.

Empiričen izraz za odvisnost med globino anomalije z , C_{max} in časom $t_{C_{max}}$ predlaga Balageas s sod. na podlagi preiskav ogljikovih kompozitov (Balageas, 1987),

$$z = A \sqrt{t_{C_{max}}} (C_{max})^n \cdot \text{mK}^{-n} \text{s}^{-1/2}, \quad (5)$$

kjer sta A in n brezdimenzijska prosta parametra. Zgornjo enačbo lahko preoblikujemo v linearno zvezo

$$\log \left(\frac{z}{\sqrt{t_{C_{max}}}} \cdot \text{m}^{-1} \text{s}^{1/2} \right) = B + n \log(C_{max} \text{K}^{-1}), \quad (6)$$

ki jo bomo poskušali uporabiti (poglavje 4.1) tudi za analizo rezultatov meritev betonskih preizkušancev.

Pulzno-fazna termografija in fazni kontrast

Pri pulzno-fazni termografiji najprej izračunamo Fourierjevo transformacijo časovne odvisnosti temperature $T(t)$ za posamezno točko na površini merjenca. Dobimo odvisnost amplitude in faze signala od frekvence. Dvodimenzionalno sliko odvisnosti faze signala pri določeni frekvenci imenujemo *fazna slika*. Fazne slike nam omogočajo zaznavanje globljih anomalij, so manj odvisne od nehomogenega gretja površine preizkušanca ter so občutljive za izbrano frekvenčno okno. To pomeni, da lahko s faznimi slikami opazujemo določen pas na globini. Natančnejša razlaga metode je podana npr. v (Maldague, 2001).

Na podlagi termografskih raziskav tankih kovinskih plošč in plošč iz pleksistekla je za kvantitativno določanje globine anomalij iz faznih slik Ibarra-Castaneda predlagal pristop, ki temelji na faznem kontrastu (Castaneda, 2004). Fazni kontrast definiramo podobno kot temperaturni kontrast, in sicer

$$\Delta\phi = \phi_{def}(f) - \phi_{ref}(f), \quad (7)$$

kjer Φ_{def} označuje frekvenčno odvisno fazo za območje nad anomalijo, Φ_{ref} pa nad homogenim (referenčnim) območjem. Arndt je predlagani model prilagodil za preiskave gradbenih konstrukcij z (Arndt, 2006)

$$z = k_c \sqrt{\frac{\alpha}{f_{ch}}}, \quad (8)$$

kjer je α termična difuzivnost snovi, k_c brezdimenzijski prosti parameter, f_{ch} pa frekvenca pri maksimalnem faznem kontrastu.

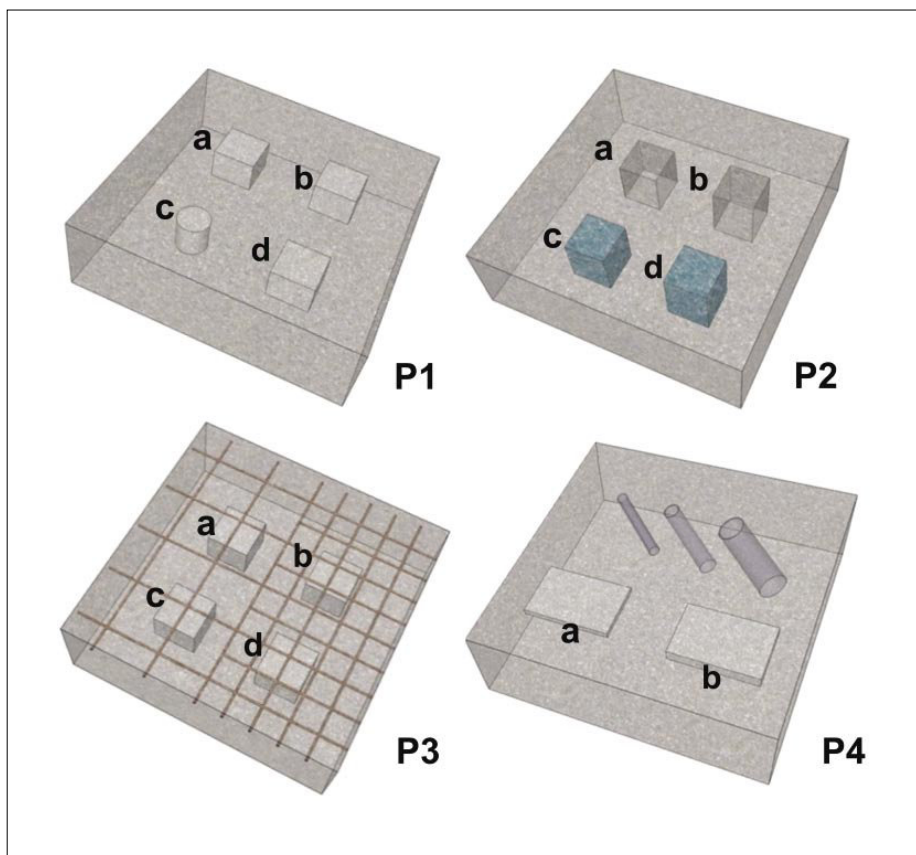
¹ Imena vrst aktivne termografije v slovenskem jeziku še niso privzeta in uporabljamo le prevode angleških izrazov.

² Ker so v gradbeništvu uporabljeni daljši pulzi segrevanja, se je namesto pulzna termografija uveljavil izraz termografija s kvadratnim pulzom (angl. square pulse thermography) (Arndt, 2010).

3 • EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Opis laboratorijskih preizkušancev

Za termografske preiskave smo pripravili štiri betonske preizkušance dimenzij $50 \times 50 \times 15 \text{ cm}^3$. Zaradi strukture preizkušancev smo za lažjo vgradljivost uporabili samozgoščevalni beton z maksimalnim zrnom agregata 4/8 mm. Kot je razvidno s slike 3, imajo preizkušanci vgrajene različne anomalije. Te smo opisali v preglednici 1. Namen anomalij iz stiropora v preizkušancu P1 je raziskava vpliva različne globine enake anomalije na možnost zaznavanja s termokamero. Vključki v preizkušancih P2, P3 in P4 pa simulirajo tipične napake in vključke v gradbenih konstrukcijskih elementih, kot so lokalizirana voda in zračne votline (P2), armatura (P3), instalacijske cevi in delaminacija (P4). Dimenzije kvadrov iz stiropora v preizkušancu P1 so $8 \times 8 \times 6 \text{ cm}^3$, v P2 pa je dimenzija lukenj $8 \times 8 \text{ cm}^2$ s spreminljivo globino (tu so bile luknje z ene strani preizkušanca odprte, da smo lahko vanje dodali vodo). Armatura v preizkušancu P3 je položena v dveh ortogonalnih smereh z rastrom $10 \times 10 \text{ cm}^2$ oziroma $5 \times 5 \text{ cm}^2$. Krovni sloj betona nad armaturo je 2,5 cm. Plošči iz stiropora, ki simulirata delaminacijo v P4, sta debeline 1 cm (a) oz. 2 cm (b), plastične cevi pa premera 1, 1,5 in 2,5 cm (z leve proti desni na sliki 3, P4). Krovni sloj betona nad vsemi anomalijami v P4 je med 1,5 in 2 cm.



Slika 3 • Skice betonskih preizkušancev z vgrajenimi anomalijami

Anomalija	Material	Krovni sloj betona (cm)
P1 a	stiropor	3 ali 6
P1 b	stiropor	1,5 ali 7,5
P1 c,d	stiropor	4,5
P2 a	zrak	6
P2 b	zrak	3
P2 c	voda	6
P2 d	voda	3
P3 a,b	stiropor	6,6
P3 c,d	stiropor	4,6
P4 a,b	stiropor	1,5–2
P4 cevi	plastika	1,5–2

Preglednica 1 • Material in krovni sloj betona vgrajenih anomalij za preizkušance P1–P4



Slika 4 • Termokamera FLIR A320, ki smo jo uporabili pri raziskavah

3.2 Opis merske opreme

Za grejte smo uporabili infrardeča grelnika z močjo po 1,2 kW, postavljena 45 cm od površine preizkušanca, da je bilo zagotovljeno približno enakomerno segrevanje. V sklopu optimizacije časa segrevanja smo preizkušance greti 5, 15, 30 in 45 min. Termokamera FLIR A320 (slika 4), ki smo jo uporabili pri naših raziskavah, zaznava IR-svetlobo z valovno dolžino med 7,5 μm in

13 μm. V goriščni ravnini leče ima postavljeno mrežo majhnih bolometrov, ki zagotavljajo ločljivost 320 × 240 grafičnih točk (pikslov). Sliko lahko zajemamo s frekvenco 30 Hz in izmerimo temperaturne razlike na površini objekta, ki ga snemamo, z maksimalno občutljivostjo 50 mK pri temperaturi 30 °C (Flir, 2009). Temperaturno ohlajanje smo spremljali 45 min. (za potrebe pulzno-fazne termografije

150 min.). Ker bi pri tako dolgem času in pri frekvenci zajemanja slik s 30 Hz dobljena merska datoteka znašala nekaj 10 GB, smo frekvenco zajemanja slik zmanjšali na 0,2 Hz, velikost končne datoteke pa s tem na približno 1 GB. Za upravljanje termokamere in nastavitve parametrov termografske meritve smo uporabili program FLIR ResearchIR Max 3.2, nadaljnjo obdelavo podatkov pa opravili v programu Matlab R2012a.

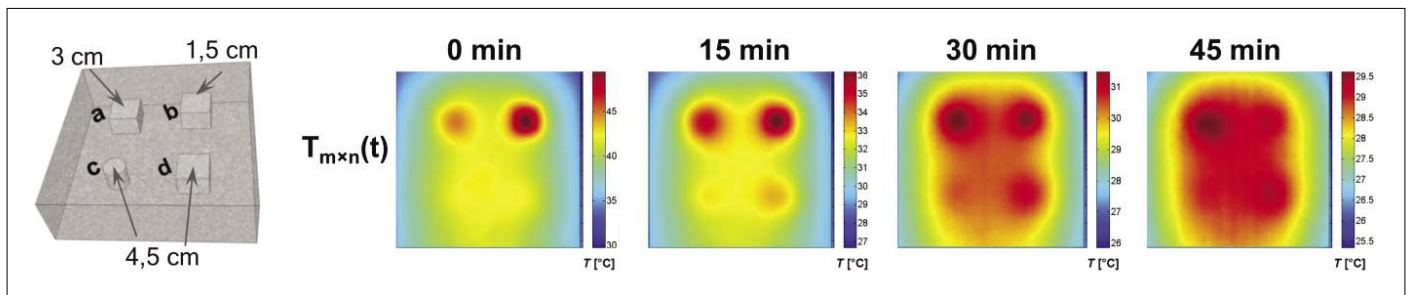
4 • REZULTATI

Na sliki 5 vidimo porazdelitev temperature na površini preizkušanca P1 takoj po prenehanju grejta (0 min.) ter po 15, 30 in 45 min. ohlajanja. S slike je lepo razvidno, da je čas zaznavanja anomalij neposredno odvisen od njihovih globin, saj se vpliva globljih anomalij c in d (na 4,5 cm globine, glej preglednico 1) pojavita šele po 15 min. merjenega ohlajanja, medtem ko vpliv anomalij a in b z manjšim krovnim slojem betona (1,5 oz. 3 cm) opazimo že takoj po končanem grejtu.

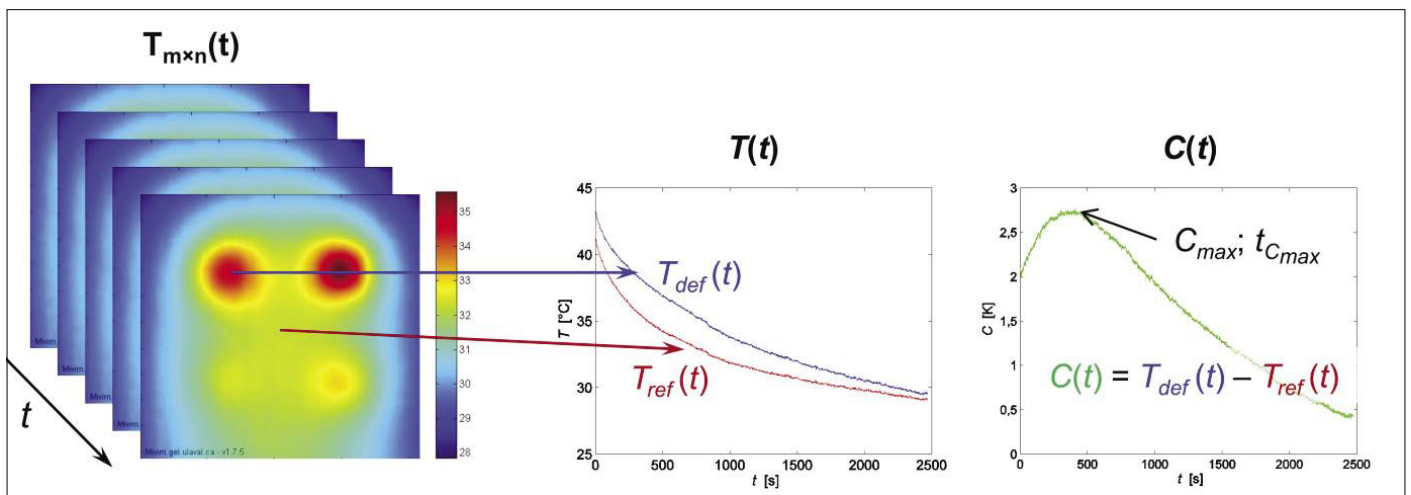
4.1 Temperaturni kontrast

Slika 6 prikazuje določitev temperaturnega kontrasta (enačba 4) za območje nad anomalijo a preizkušanca P1. Potek časovno odvisnega temperaturnega kontrasta je za različno globoke anomalije prikazan na sliki 7 za 30-min. segrevanje. Z večjo globino anomalije sta opazni zmanjševanje kontrasta kot tudi pomikanje časa nastopa maksimalnega kontrasta t_{Cmax} k poznejšim časom. Rezultat na sliki 7 še kaže, da pri

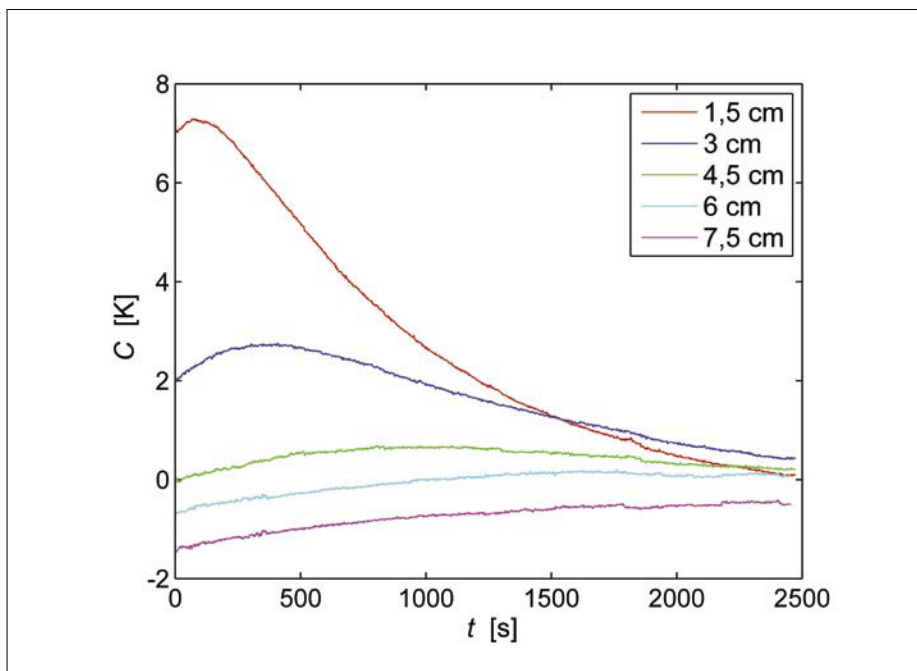
30-min. segrevanju lahko še zaznamo anomalijo na globini 6 cm, saj je do te globine temperaturni kontrast še pozitiven. Večina gradbenih konstrukcij ima v splošnem precej heterogeno notranjo strukturo. Poleg anomalij so možna mesta lokalizirane vode ali povečane vlažnosti ter prisotnost armature, ki bi načeloma lahko vplivali na spremenjeno možnost zaznavanja. S preizkušancema P2 in P3 smo te predpostavke želeli preveriti tako, da smo simulirali prisotnost tako lokalizirane vode kot armature dveh rastrov; 10 in 5 cm. Slika 8 (levo) pokaže, da je pri vodni anomaliji kontrast pol manjši kakor pri zračni. Voda torej bistveno vpliva na slabše zaznavanje, medtem



Slika 5 • Časovno zaznavanje različno globokih anomalij preizkušanca P1 prek temperaturnih slik. Vsaka slika ima svojo temperaturno skalo



Slika 6 • Določitev temperaturnega kontrasta $C(t)$ za območje nad anomalijo a preizkušanca P1. Pri tem C_{max} označuje maksimalni temperaturni kontrast, t_{Cmax} pa čas nastopa le-tega



Slika 7 • Potek časovno odvisnega temperaturnega kontrasta za različno globoke anomalije preizkušancev P1 in P2 po 30-min. segrevanju

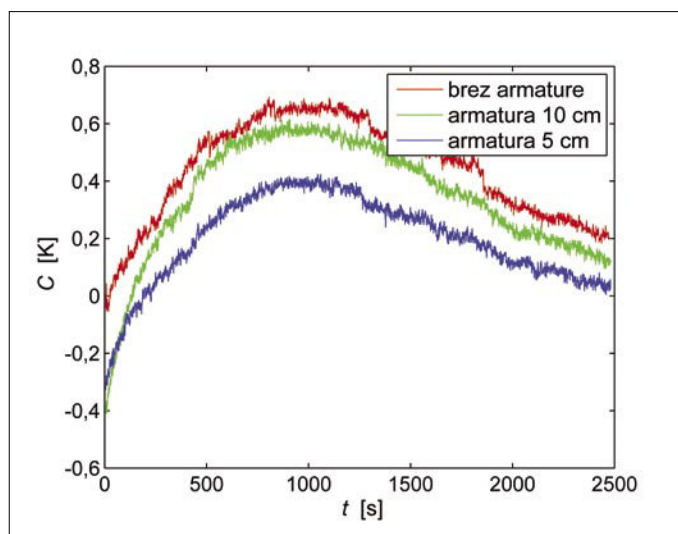
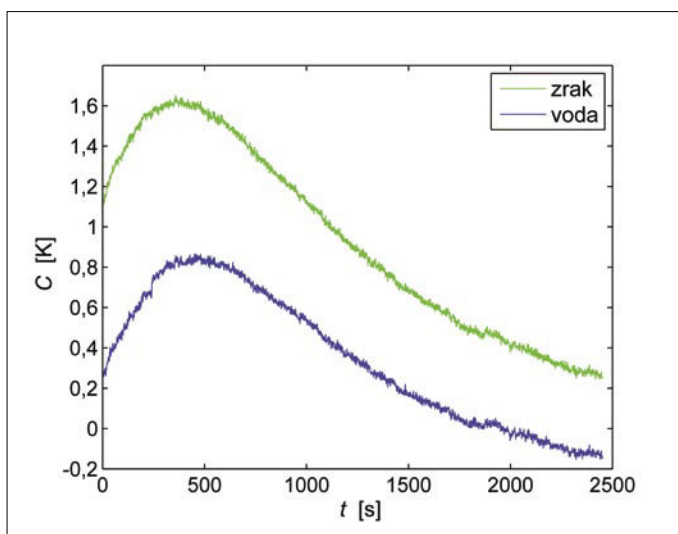
ko skoraj ne vpliva na čas $t_{C_{max}}$. Znižanje kontrasta lahko pripišemo večji toplotni prevodnosti vode glede na zrak in tako manjši razliki v toplotni prevodnosti glede na okolico, to je beton; toplotna prevodnost za zrak znaša 0,026 W/mK, za vodo 0,60 W/mK, za beton pa 2,1 W/mK. Za vpliv armature na zaznavanje pri globini 4,6 cm je s slike 8 (desno) razvidno, da armatura, položena v rastru 10 cm, minimalno zmanjša temperaturni kontrast. Po drugi strani pa ga armatura, ki je

položena v rastru 5 cm, zmanjša za približno 30 %. Znižanje temperaturnega kontrasta ob prisotnosti armature je pričakovan rezultat, saj armatura bolje prevaja toploto. Omeniti velja, da je majhen premer armature omejeval neposredno zaznavanje armature. Zgornji rezultati so pokazali, da je temperaturni kontrast lahko močno odvisen od vrste anomalije, medtem ko je čas $t_{C_{max}}$ od te skoraj neodvisen in tako pogojen le z njeno globino. Slednje kaže, da bi z opazovanjem

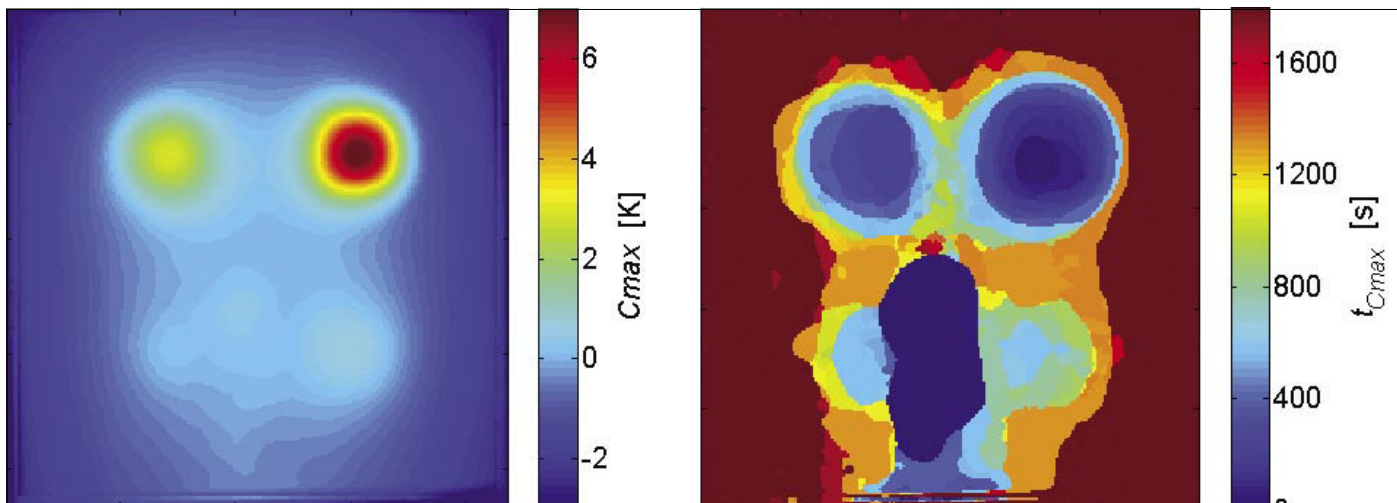
obeh parametrov, C_{max} in $t_{C_{max}}$ lahko kvalitativno določili vrsto anomalije in njeno globino. To omogočajo kontrastne in časovne slike (Krapez, 1991), kjer posamezno slikovno točko opišemo s pripadajočim parametrom. Pri kontrastnih slikah je to C_{max} pri časovnih pa $t_{C_{max}}$. Primer obeh je prikazan na sliki 9 za preizkušane P1. Glavna prednost tega prikaza pred opazovanjem celotnega temperaturnega profila je, da omogoča kvalitativno karakterizacijo anomalij le prek dveh slik. S tem bistveno zmanjšamo potrebni čas za analizo termografske meritve, obenem pa nam omogoča lažjo interpretacijo rezultatov, kar je ključnega pomena pri prenosu termografije kot neporušne metode v širšo prakso.

Poleg nehomogene notranje strukture ima bistveno vlogo na rezultate meritev tudi čas segrevanja preizkušancev. Zanimalo nas je, kolikšen je optimalni čas segrevanja v odvisnosti od globine anomalije. Slika 10 prikazuje rezultate, dobljene za maksimalni temperaturni kontrast C_{max} in pripadajoči čas $t_{C_{max}}$ v odvisnosti od globine anomalije. Izkaže se, da je pri vseh globinah optimalni čas segrevanja 30 min., kjer doseže C_{max} največje vrednosti in obenem najgloblji doseg – do 6 cm. Zanimivo je, da tako krajši (15 min.) kot tudi daljši (45 min.) časi segrevanja dosegajo nižje vrednosti temperaturnega kontrasta in manjši doseg – le do 4,5 cm globine.

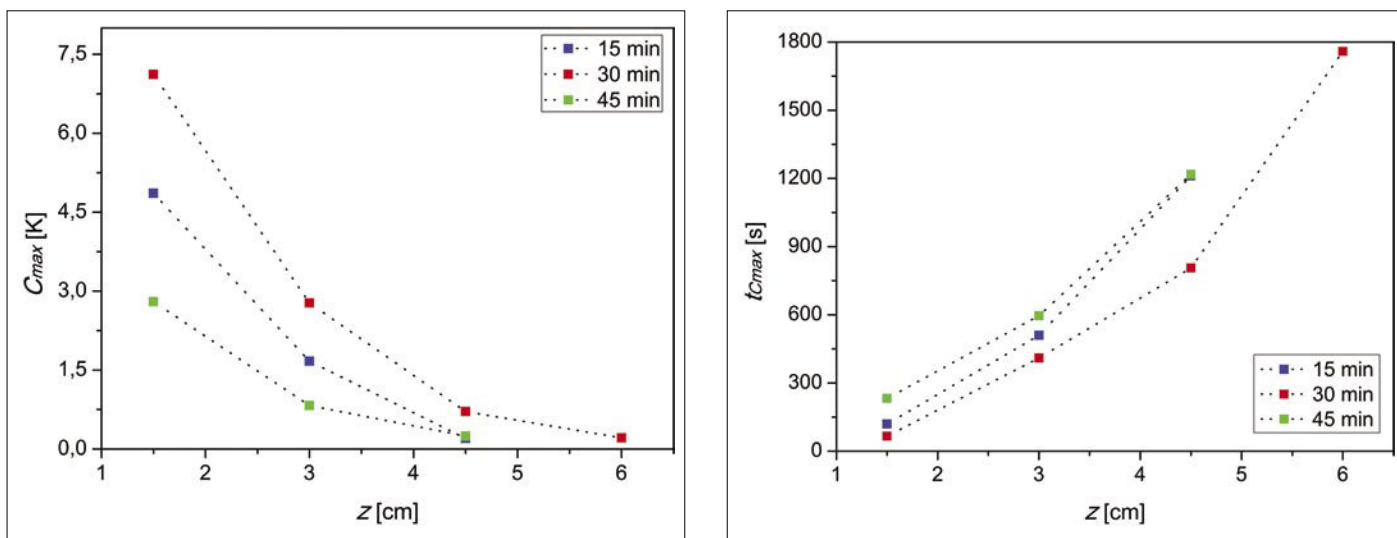
Grafa $C_{max}(z)$ in $t_{C_{max}}(z)$ na sliki 10 kažeta odvisnost od globine anomalije, ki smo jo poskušali opisati z enačbo 6. Slika 11 kaže rezultate prilagajanja za C_{max} in $t_{C_{max}}$ dobljene pri času gretja 30 min., saj se je ta čas izkazal za optimalnega. Iz grafa je razvidno,



Slika 8 • Potek časovno odvisnega temperaturnega kontrasta ob prisotnosti lokalizirane vode glede na zračno votlino (levo) ter ob prisotni armaturi rastra 10 oz. 5 cm (desno) po 30-min. segrevanju (prikazano za anomaliji na globini 3 cm (preizkušane P2) oz. 4,6 cm (preizkušane P3))



Slika 9 • Kontrastna slika (levo) in časovna slika (desno) za preizkušane P1 po 30-min. segrevanju



Slika 10 • Odvisnost maksimalnega temperaturnega kontrasta C_{max} (levo) in časa njegovega nastopa t_{Cmax} (desno) od globine anomalije za različne čase segrevanja (15, 30 in 45 min.) (črta le povezuje merske točke za lažje spremljanje rezultatov)

da navedeni model ne more opisati naših eksperimentalnih rezultatov (vrednost determinacijskega koeficienta znaša $R^2 = 0,25$). Za to je mogočih več razlag. Čas gretja je bil v našem primeru znatno daljši, kot je ta pri konstrukcijah iz kompozitov, zato se je že med gretjem v notranjosti preizkušanca zvišala temperatura. Drugi možni razlogi za odstopanje eksperimentalnih vrednosti od modela so še drugačni robni pogoji, nepopolnoma enakomerno gretje in nenatančnost pri določitvi C_{max} in t_{Cmax} na večjih globinah (glej sliko 7). Problem prilagajanja eksperimentalnih vrednosti temu modelu je izpostavil tudi Maldague na preiskavah materialov v strojništvu. Namesto časa t_{Cmax} predlaga uporabo časa $t_{C_{1/2max}}$ ko je dosežena polovična vrednost C_{max} obenem pa tudi uporabo

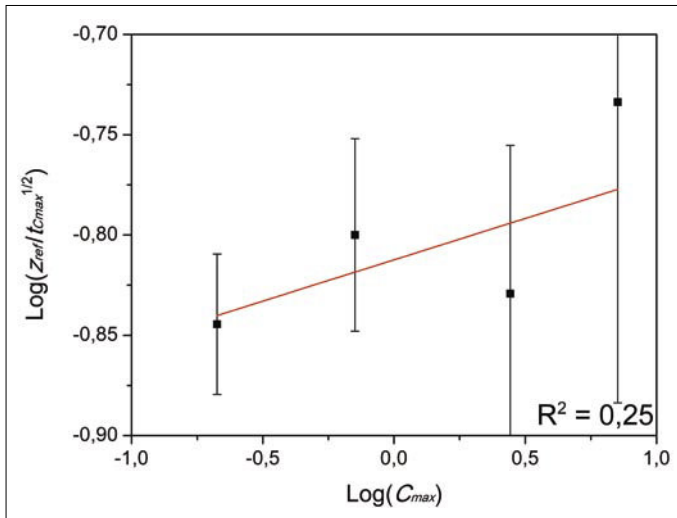
inverznega postopka z numeričnim modelom (Maldague, 2001).

4.2 Pulzno-fazna termografija in fazni kontrast

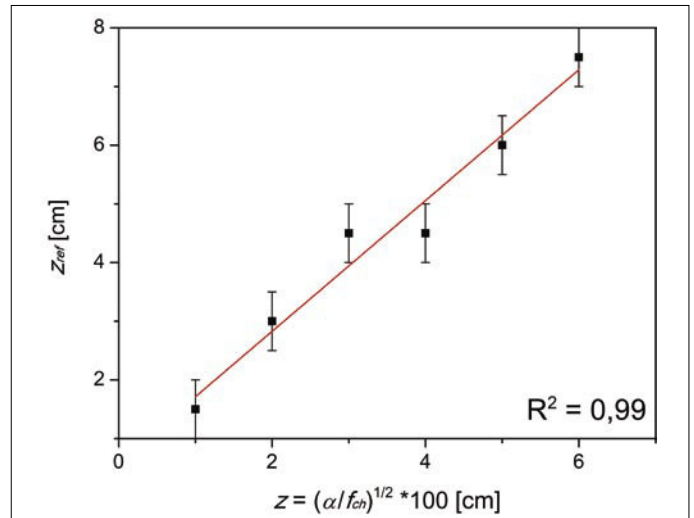
Slika 12 prikazuje potek faznega kontrasta za anomaliji na globini 1,5 cm (levo) in 3 cm (desno) preizkušanca P1. Razvidno je, da pri globljih anomalijah maksimalni fazni kontrast nastopi pri manjših frekvencah f_{ch} . O podobni odvisnosti poroča tudi Arndt na podlagi preiskav betonskih laboratorijskih preizkušancev (Arndt, 2006). Rezultati za f_{ch} za vse anomalije preizkušanca P1 so zbrani v preglednici 2. Omeniti velja, da smo za natančnejšo določitev f_{ch} uporabili dodajanje ničel (angl. zero-padding) do 2^{13} (Press, 2007), kar da frekvenčni prirastek $\Delta f = 2,4 \cdot 10^{-5}$ Hz.

Z_{ret} ($\pm 0,5$ cm)	f_{ch} (Hz)	$Z_{cal} = (\alpha/f_{ch})^{1/2} \cdot 100$ (cm)
1,5	$1,60 \cdot 10^{-3}$	2,4
3	$4,3 \cdot 10^{-4}$	4,5
4,5	$1,9 \cdot 10^{-4}$	6,8
6	$1,4 \cdot 10^{-4}$	7,9
7,5	$1,0 \cdot 10^{-4}$	9,6

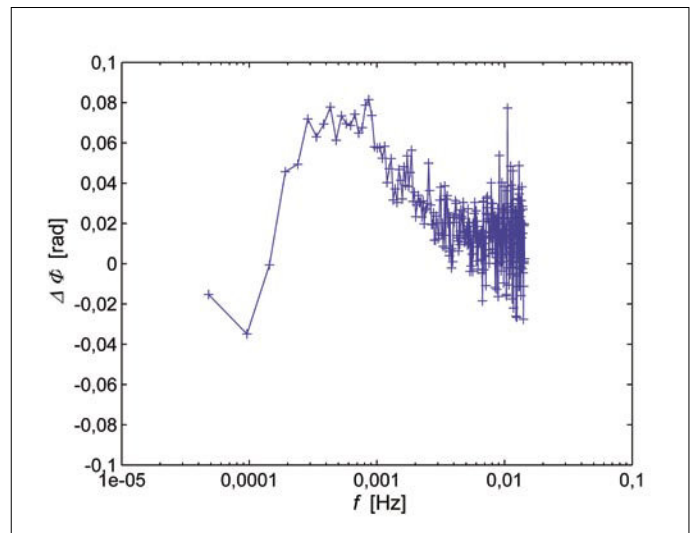
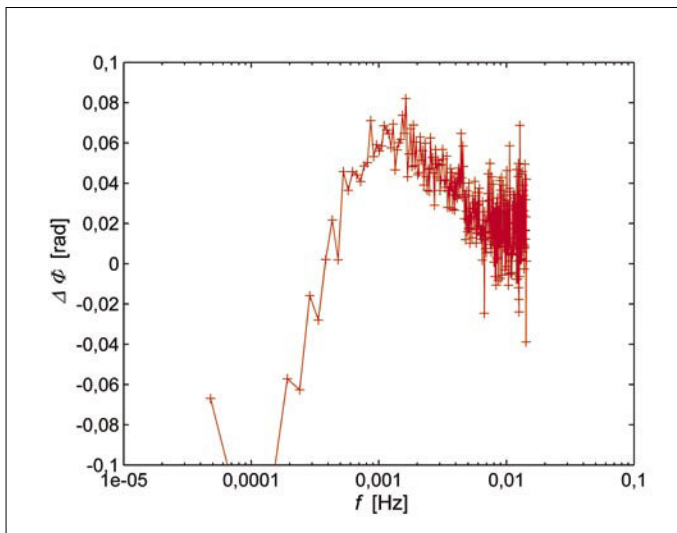
Preglednica 2 • Frekvenca pri maksimalnem faznem kontrastu f_{ch} za vse anomalije preizkušanca P1 ter izračunana globina anomalij Z_{cal} z modelom po enačbi 8. Pri računu smo uporabili vrednost termične difuzivnosti betona $\alpha = 8,86 \cdot 10^{-7}$ m²/s



Slika 11 • Rezultat prilaganja eksperimentalnih podatkov za C_{max} in t_{cmax} za anomalije preizkušanca P1, dobljenih za čas segrevanja 30 min., z modelom po enačbi 6 (anomalija na globini 7,5 cm ni vključena)



Slika 13 • Rezultat prilaganja eksperimentalnih podatkov za f_{ch} za anomalije preizkušanca P1, dobljenih po 45-min. segrevanju in merjenju ohlajanja za 150 min., z modelom po enačbi 8



Slika 12 • Potek faznega kontrasta za anomaliji na globini 1,5 cm (levo) in 3 cm (desno) preizkušanca P1 po 45-min. segrevanju in merjenju ohlajanja za 150 min

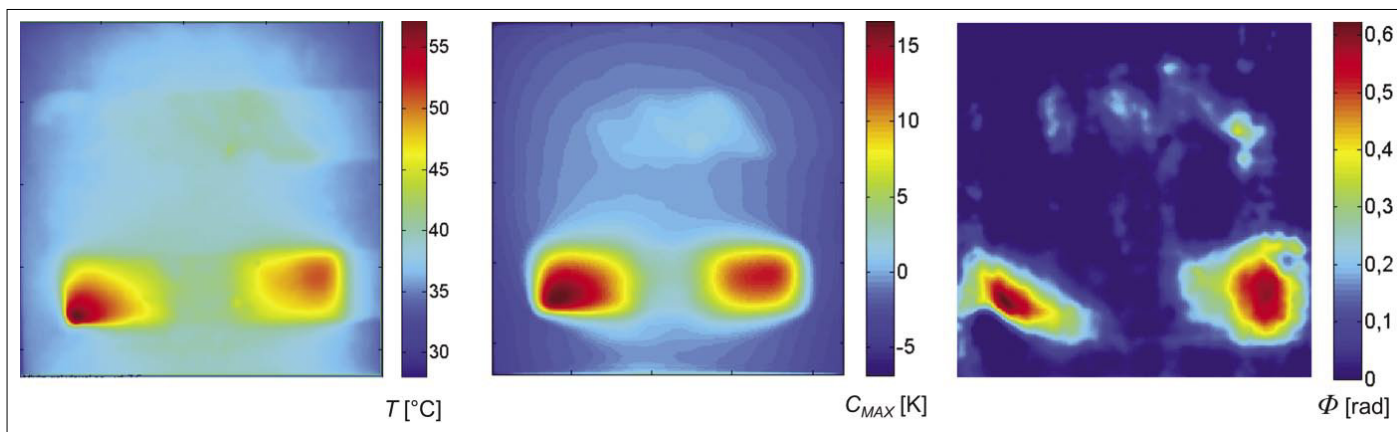
Graf na sliki 13 kaže rezultat prilaganja eksperimentalnih vrednosti iz preglednice 2 z modelom po enačbi 8. Razvidno je, da model z visoko natančnostjo opiše eksperimentalne rezultate (vrednost determinacijskega koeficienta znaša $R^2 = 0,99$). Pri tem je vrednost prostega parametra k_c iz enačbe 8 enaka $k_c = 1,11$. Arndt pokaže, da je vrednost tega parametra malo odvisna od časa segrevanja in da za približno oceno globino anomalije dobro velja vrednost $k_c = 1$ (Arndt, 2006). Poudariti je treba, da smo lahko s pulzno-fazno termografijo natančno zaznali še najglobljo anomalijo.

Ugotovitev, da model po enačbi 8 natančno opiše eksperimentalno odvisnost f_{ch} od glo-

bine anomalije ter da je vrednost $k_c = 1$ dobra predpostavka, omogoča, da lahko fazne slike pri določenih frekvencah interpretiramo kot slike na ustrezni globini. To omogoča neposredno združevanje rezultatov preiskav različnih neporušnih metod, kar je za radar in termografijo prikazano v (Cotič, 2014).

Omeniti velja še izboljšano zaznavanje na podlagi faznih slik oz. natančnejše faznokontrastnih slik, kar prikazuje slika 14 za preizkušane P4 (od leve proti desni: temperaturna, kontrastna in faznokontrastna slika), kjer nastopajo vse anomalije na globini 1,5–2 cm (glej preglednico 1). Pri faznokontrastni sliki, podobno kot pri kontrastni sliki, posamezno slikovno točko opišemo s pripadajočim maksimalnim

faznim kontrastom. S temperaturne slike ob začetku snemanja je razvidno, da je signal proti šumu premajhen, da bi lahko zaznali plastične cevi. Opazimo lahko tudi, da je del površine nad ploščami iz stiropora bolj segret, kar bi lahko pripisali dejstvu, da sta se plošči med betoniranjem nagnili in je tako del plošče bližje površini. Kontrastna slika ima večje razmerje signala proti šumu od temperaturne slike, vendar ima obenem slabšo prostorsko ločljivost, tj. ne more zaznati nagnjenih plošč, ampak prikaže nekakšno povprečno stanje preizkušanca vzdolž globine. Faznokontrastna slika pa ima velik kontrast kot tudi zelo dobro prostorsko ločljivost, kar je v skladu z občutljivostjo za določeno frekvenčno okno.



Slika 14 • Temperaturna slika (levo) ob začetku snemanja, kontrastna slika (sredina) in faznokontrastna slika pri frekvenci $3,7 \cdot 10^{-3}$ Hz (desno) za preizkušane P4

5 • SKLEP

V članku smo pokazali uporabo temperaturnega kontrasta in pulzno-fazne termografije pri obdelavi podatkov pri pulzni termografiji na laboratorijskih betonskih preizkušancih. Spremljanje časovne odvisnosti temperaturnega kontrasta je uporabno orodje za raziskave odziva termokamere na različne termične lastnosti napak in vključkov v betonskih konstrukcijskih elementih. Vrsta anoma-

lije lahko bistveno vpliva na temperaturni kontrast, prav tako tudi prisotnost gostejše armature. Kontrastne in časovne slike lahko uporabimo za kvalitativno oceno globine anomalije, medtem ko kvantitativna ocena globine s tema metodama ni mogoča. Za to smo uporabili pulzno-fazno termografijo, pri kateri ohlajanje površine preizkušanca analiziramo v frekvenčni domeni. Prilagaja-

nje eksperimentalnih podatkov za frekvenco nastopa maksimalnega faznega kontrasta z modelom, ki ga je predlagal Arndt (Arndt, 2006), je pokazalo odlično ujemanje. Faznokontrastne slike dajo velik kontrast, globlji doseg in večjo prostorsko ločljivost. Edina slaba lastnost pulzno-fazne termografije je relativno dolg čas merjenja ohlajanja. Zato v primerih, ko ne zahtevamo velike prostorske ločljivosti oz. kvantitativnega opisa anomalij, za obdelavo termografskih podatkov zadostuje metoda temperaturnega kontrasta.

6 • ZAHVALA

Prvi avtor se zahvaljuje Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za finan-

ciranje doktorskega študija (št. pogodbe 1000-10-310156). Avtorji se zahvaljujejo izr. prof. dr.

Violeti Bokan Bosiljkov in Franciju Čeponu za strokovno pomoč pri pripravi preizkušancev.

7 • LITERATURA

- Arndt, R., Maierhofer Ch., Röllig, M., Weritz, F., Wiggerhauser, H., Structural investigation of concrete and masonry structures behind plaster by means of pulse phase thermography, 7th Int. Conf. on Quantitative Infrared Thermography (QIRT), Rhode-St-Genese, 5.–8. julij, 2004, 1–6, 2004.
- Arndt, R., Maierhofer Ch., Röllig, M., Quantitative Pulse-Phase Thermography for Masonry and Concrete Structures, 9th European NDT Conference (EC-NDT 2006), Berlin, 25.–29. september, 2006, 1–8, 2006.
- Arndt, R. W., Square pulse thermography in frequency domain as adaptation of pulsed phase thermography for qualitative and quantitative applications in cultural heritage and civil engineering, *Infrared Phys Techn* 53, 246–253, 2010.
- Avdelidis, N. P., Moropoulou, A., Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures, *J Cult Herit* 5, 119–127, 2004.
- Avdelidis, N. P., Kouli, M., Ibarra-Castaneda, C., Maldague, X., Thermographic studies of plastered mosaics, *Infrared Phys Techn* 49, 254–256, 2007.
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B. B., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T., Infrared thermography for condition monitoring – A review, *Infrared Phys Techn* 60, 35–55, 2013.

- Balageas, D. L., Deom, A. A., Boscher, D. M., Characterization and nondestructive testing of carbon-epoxy composites by a pulsed photothermal method, *Mater Eval* 45, 456–465, 1987.
- Binda, L., Saisi, A., Application of NDTs to the diagnosis of historic structures, 7th Int. Symp. on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDTCE'09), Nantes, 30. junij–3. julij 2009, 1–28, 2009.
- Bortolin, A., Cadelano, G., Ferrarini, G., Bison, P., Peron, F., Maldague, X., High-resolution survey of buildings by lock-in IR thermography, *Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXV (SPIE 8705)*, Baltimore, 29. april–3. maj, 2013, 1–9, 2013.
- Bosiljkov, V., Uranjek, M., Žarnič, R., Bokan Bosiljkov, V., An integrated diagnostic approach for the assessment of historic masonry structures, *J Cult Herit* 11, 3, 239–249, 2010.
- Bosiljkov, V., Maierhofer Ch., Koepp, C., Wöstmann, J., Assessment of Structure Through Non-Destructive Tests (NDT) and Minor Destructive Tests (MDT) Investigation: Case Study of The Church at Carthusian Monastery at Zice (SLOVENIA), *Int J Archit Herit* 4, 1, 1–15, 2010.
- Ibarra-Castanedo, C., Maldague, X., Pulsed phase thermography reviewed, *Quant Infrared Thermogr J* 1, 1, 47–70, 2004.
- Cotič, P., Jagličič, Z., Bosiljkov, V., Validation of non-destructive characterization of the structure and seismic damage propagation of plaster and texture in multi-leaf stone masonry walls of cultural-artistic value, *J Cult Herit*, 2013, doi: 10.1016/j.culher.2013.11.004.
- Cotič, P., Jagličič, Z., Niederleithinger, E., Stoppel, M., Bosiljkov, V., Image fusion for improved detection of near-surface defects in NDT-CE using unsupervised clustering methods, *J Nondestruct Eval*, 2014, doi: 10.1007/s10921-014-0232-1.
- FLIR A320 Technical Specifications, http://www.shopflir.com/crm_uploads/flir-a320-specifications.pdf (28. 2. 2012).
- Grinzato, E., Vavilov, V., Bison, P. G., Marinetti S., Hidden corrosion detection in thick metallic components by transient IR thermography, *Infrared Phys Techn* 49, 3, 234–238, 2007.
- Hall, L. H., Bardeen, J., Blatt, F. J., Infrared Absorption Spectrum of Germanium, *Phys Rev* 95, 559–560, 1954.
- Krapez, J. C., Maldague, X., Cielo, P., Thermographic nondestructive evaluation: Data inversion procedures, *Res Nondestruct Eval* 3, 2, 101–124, 1991.
- Larbi, W.B., Ibarra-Castanedo, C., Klein, M., Bendada, A., Maldague, X., Experimental Comparison of Lock-in and Pulsed Thermography for the Nondestructive Evaluation of Aerospace Materials, 6th Int. Workshop - NDT Signal Processing (ASPND2009), London, Ontario, Canada, 25.–27. avgust, 2009, 1–9, 2009.
- Maierhofer Ch., Brink, A., Röllig, M., Wiggerhauser, H., Transient thermography for structural investigation of concrete and composites in the near surface region, *Infrared Phys Techn* 43, 271–278, 2002.
- Maierhofer Ch., Arndt, R., Röllig, M., Influence of concrete properties on the detection of voids with impulse-thermography, *Infrared Phys Techn* 49, 213–217, 2007.
- Maierhofer Ch., Röllig, M., Active thermography for the characterization of surfaces and interfaces of historic masonry structures, *Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, Nantes, 30. junij–3. julij 2009, 1–6, 2009.
- Maldague, X. P. V., Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- McDaniel, G. W., Robinson, D. Z., Thermal Imaging by Means of the Evaporation, *Applied Optics* 1, 3, 311–324, 1962.
- Pašagić, V., Primjena termografije u građevinarstvu, *Gradjevinar* 60, 12, 1055–1064, 2008.
- Press, W. H., Numerical Recipes 3rd Edition: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 2007.
- Strnad, J., Fizika, 2. del, Električna/Optika, DZS, 1978.
- Theodorakeas, P., Ibarra-Castanedo, C., Sfarra, S., Avdelidis, N. P., Kouli, M., Maldague, X., Paoletti, D., Ambrosini, D., NDT inspection of plastered mosaics by means of transient thermography and holographic interferometry, *NDT&E Int* 47, 150–156, 2012.
- Wild, W., Buscher, K., Wiggerhauser, H., Amplitude sensitive modulation thermography to measure moisture in building materials, *Int. Soc. for Optical Engineering, Thermosense XX*, Orlando, 28. marec, 1998, 156–163, 1998.

ODGOVOR NA PRISPEVEK O STROKOVNOSTI IN STROKOVNI RAZPRAVI PROF. DR. BRILLYJA V GRADBENEM VESTNIKU FEBRUARJA 2014

Prof. dr. Brilly mi ponovno podtika, da je predpis za minimalni pretok Reke $Q_{es} = 1388 \text{ m}^3/\text{s}$ moj konstrukt, čeprav ga je sam uporabil, jaz sem mu le oporekal.

Že pred dvajsetimi leti sem opozoril (Rismal, 1994), da je ta predpis ministrstva za okolje in prostor za minimalne pretoke Reke pri Cerkvenikovem mlinu (1388 l/s) in pri Trnovem (925 l/s) ekološko in vodnogospodarsko napačen. Pokazal sem (Rismal, 2012), da imata pri minimalnem pretoku Reke 500 l/s pri Cerkvenikovem mlinu že zgrajeni akumulaciji Mola in Klivnik tudi dovolj vode za vodovod.

Tega predpisa za Q_{es} torej nisem predlagal, še manj pa uporabil jaz, ampak ga je s projektanti Suhorke, kot sodelavec za hidrologijo, v točkah 2.3 in 3.3 elaborata (IEI, 2006) uporabil Brilly za dokaz, da obe akumulaciji nimata dovolj vode in da je treba zgraditi novo akumulacijo s 57 m visoko pregrado na Suhorki. Na strani 14 so zapisali: »Upoštevajoč merjene porabo vode, pretoke Reke in Rižane, merjene gladine akumulacij Klivnik in Mole, ugotavljamo, da je za zagotavljanje oskrbe z vodo potrebna izgradnja dodatnega akumulacijskega jezera. Ekološko sprejemljivi pretok 500 l/s pri Cerkvenikovem mlinu na Reki, po predlogu Rismala, je bistveno podcenjen! Dejanska vrednost za Cerkvenikov mlin je 1388 l/s .« V (Brilly, 2008) pa še: »Varianta Rismala je možna samo ob bistveni spremembi sedanjega (uradno predpisanega) hidrološkega režima v Reki, kar spreminja pretoke skozi Škocjanske jame, ki so zavarovana naravna dediščina pod okriljem UNESCO«.

Ta $Q_{es} = 1388 \text{ m}^3/\text{s}$ in Brillyjevo »ekohidrološko stališče« (Brilly, 2009), da »poseganje v naravne pretoke Reke, manjše od 800 l/s , ni dopustno«, nimata nič opraviti z ekologijo in zaščitenimi Škocjanskimi jamami, ker vodovod z bogatjem Reke iz Mole in Klivnika naravnih nizkih pretokov ne zmanjša, ampak jih na 17 km dolgem odseku do odvzema vode pri Cerkvenikovem mlinu poveča. Naravni pretoki v Škocjanske jame pa ostanejo nespremenjeni. Uporaba tega ekološko in vodnogospodarsko napačnega predpisa je z drugimi napakami, ki so povzete v (Rismal, 2012), temeljna napaka projekta Suhorke.

Obe akumulaciji nista bili zgrajeni zaradi varstva okolja, ampak za redčenje odplak Tovarne organskih kislin, ker je onesnažena Reka ogrožala pitno vodo v sosednji Italiji. Ker tovarne ni več, je zdaj neizkoriščeni akumulaciji mogoče uporabiti za vodovod. Ekološki paradoks pro-

jekta Suhorke je tudi, da predpisanih pretokov na 17 km dolgem odseku Reke do Cerkvenikovskega mlina sploh ni mogoče zagotoviti, ker je Suhorka na koncu tega odseka.

Teh napak projekta pa Brilly ne vidi. S projektanti in inženirjem projekta – v poročilu za MOP 19. oktobra 2006 »Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja« (Kryžanowski, 2006) – je rešitev z Molo in Klivnikom zavrnil s strokovno popolnoma napačnimi trditvami: »Z upoštevanjem vseh izhodišč in omejitev rabe reka Reka kot edini vodni vir niti bilančno in toliko bolj zaradi okoljevarstva ni ustrezna. S tem je bila potrjena tudi pravilnost odločitve o izgradnji akumulacije na pritoku Reke, pri čemer služi Reka zgolj za dopolnilni vodni vir ob posebnih pogojih rabe in upoštevanju omejitev v prostoru.«

Brilly mi tudi očita (Brilly, 2013), da »slepomišim, zavajam in izkoriščam tuje strokovnjake, probleme, ki zahtevajo najširši konsenz, pa prevalim na breme širše skupnosti, da manipuliram s tehničnimi zasnovami ...«. Tako v pismu KSH FGG, št. 17-KSH, 1. april 2009, s tremi profesorji hidrotehnike na FGG zavaja Rižanski vodovod in občine, da je $Q_{es} = 1388 \text{ m}^3/\text{s}$ moj konstrukt: »Trditev (Rismala) o zahtevanem ekološko sprejemljivem pretoku Reke ($Q_{es} = 1.388 \text{ l/s}$) ne drži. V nobenem pravnomočnem dokumentu ni bila nikoli omenjena zahteva. Gre za neresnični in zavajajoči konstrukt Rismala.« Pri tem pa se brez zadrege sklicuje na recenzijo predstavnika Rižanskega vodovoda (Žigon, 2007), ki pove ravno nasprotno, da upravljavec Mole in Klivnika tega predpisa ni le napisal, ampak ga je tudi izvajal: »Iz podatkov o obratovanju, s katerimi razpolaga upravljavec akumulacij Mola in Klivnik, ki imata zelo pomembno vlogo pri obstoječem vodnem režimu Reke, izhaja, da je za doseganje pretoka Reke 925 l/s , ki je določen na VP Trnovo v Ilirski Bistrici (in ne na VP Cerkvenikov mlin), v določenih časovnih obdobjih treba izpuščati iz akumulacij količine vode celo preko 1300 l/s , poleg tega pa sta se obe akumulaciji v sušnih letih že mnogokrat izpraznili do absolutnega neizkoristljivega volumna (300.000 m^3). Gre za bistvene podatke, ki jih je treba analizirati in upoštevati pri vodni bilanci.«

Brilly mi očita, da z uporabo že zgrajenih akumulacij prevajam breme na širšo skupnost! Projekt Suhorke bi stal $81.405.928$ evrov, uporaba obeh neizkoriščenih akumulacij pa le $22.752.245$ evrov (Rismal, maj 2009).

Z razliko $58.653.683$ evrov in ceno projektne dokumentacije Suhorke $2.600.000$ evrov je mogoče občinam pokriti $16.126.938$ evrov za zaščito Reke in Škocjanskih jam, ki bi jih morale sicer same plačati tudi brez vodovoda, $39.926.745$ evrov pa ostane za druge potrebe v državi.

Brilly z navedenimi napačnimi in neresničnimi trditvami in žalitvami ne spoštuje strokovne odgovornosti in etike. S pamfleti in s »sivo znanostjo« etiketira strokovne elaborate v svetu priznanih znanstvenih institucij in profesorjev zdravstvene hidrotehnike. Da pa o rešitvi z Molo in Klivnikom že od 2003. ni mogoča razprava pri investitorjih MKO in Rižanskem vodovodu niti na FGG, kaže na razmere v stroki.

Ker prof. dr. Brilly, ki ni strokovnjak za področje zdravstvene hidrotehnike, nasprotuje predlagani rešitvi vodovoda z Molo in Klivnikom z neresničnimi navedbami, brez verodostojnih dokazov in z žalitvami že od leta 2006, na njegovo pisanje ne bom več odgovarjal. Pričakujem pa, da se bodo do njegovega ravnanja opredelile za to pristojne strokovne institucije.

LITERATURA

- Brilly, M., Kompare, B., Kryžanowski, A., Rusjan, S., Mišičev vod. dan, dec. 2008.
- Brilly, M., Kompare, B., Kryžanowski, A., pismo KSH-FGG, št. 17-KSH, 1. 4. 2009.
- Brilly, M., Pripombe na dva prispevka prof. Rismala, Gradbeni vestnik, maj 2009.
- Brilly, M., Zaznamek ob članku prof. Rismala, Gradbeni vestnik, september 2013.
- IEI, Oskrba s pitno vodo slovenske Istre in zalednega Krasa, Maribor, 1. 9. 2006.
- Kryžanowski, A., Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja (opis aktivnosti na projektu), Ljubljana, 19. 10. 2006.
- Rismal, M., Notranjska Reka kot možni vir za obalni vodovod, IZH-FGG, dec. 1994.
- Rismal, M., Rešitev preskrbe s pitno vodo obale in zalednega krasa so potrdili mednarodni izvedenci, Gradbeni vestnik, maj 2009.
- Rismal, M., Interdisciplinarnost in integralno upravljanje in načrtovanje vodnih sistemov, Gradbeni vestnik, februar 2012.
- Žigon, I., Ugotovitve in pripombe h gradivu Ocene projekta Oskrba Istre in obalne regije s pitno vodo Instituta za raziskave voda Dortmund in tehnične visoke šole za tehniko in gospodarstvo v Dresdnu, 28. 9. 2007.

Prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2014

SEM INAR	IZPIT	
	Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
6.–8. 10.	25. 11. (po potrebi še 24. in 26.)	21. 10.

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana;**

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199;

e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

Uradne ure:

ponedeljek, torek, sreda od 09.00 do 13.00 ure;

četrtek od 12.00 do 16.00 ure.

V petek NI URADNIH UR za stranke!

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za kandidate, ki opravljajo dopolnilni strokovni izpit; predavanje se odvija v okviru rednih seminarjev)
5. Kandidati drugih strok lahko poslušajo posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev.

(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS - MSG:

<http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«)

Cena za udeležbo na seminarju (za predavanje in literaturo) po izpitnih programih pod 1., 2. in 3. točko znaša 623,22 EUR z DDV, pod 4. točko pa 89,10 EUR z DDV. Cena za udeležbo na posameznem predavanju je 89,10 EUR z DDV.

Kotizacijo za seminar je potrebno nakazati ob prijavi na poslovni račun ZDGITS **SI56 0201 7001 5398 955**, prijavo je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje **14 dni pred pričetkom** seminarja!

Prijavni obrazec je mogoče dobiti na spletni strani ZDGITS (<http://www.zveza-dgits.si>).

Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20).

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije o strokovnih izpiti in izpitnih programih je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si> ali po telefonu (01) 547-33-19 ob uradnih urah (ponedeljek, sreda, četrtek, petek: od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure).

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Damjan Koren, Stališče domačinov o nakupu nepremičnin s strani tujih državljanov v občini Kobarid, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

Miha Grebenc, Sistemi za upravljanje z voznim parkom, mentor doc. dr. Tomaž Maher

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Miha Rihar, Primerjava sodobnih programskih orodij za modeliranje križišč na primeru križišča v Ljubljani, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor viš. pred. mag. Robert Rijavec

Tina Golob, Tir na togi podlagi, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentor asist. Darja Šemrov

Matjaž Bolčina, Nizkohrupne vozne površine, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura

Matija Cej, Analiza in projektiranje prednapete prekladne konstrukcije železniškega mostu, mentor izr. prof. dr. Sebastijan Bratina

Daša Zorko, Požarna evakuacijska pot na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor dr. Živa Kristl

VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM I. STOPNJE OPERATIVNO GRADBENIŠTVO (VS)

Anja Slekovec, Primerjalna analiza ukrepov za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje pri prenovi stavb, mentor dr. Živa Kristl, somentor doc. dr. Mitja Košir

Karmen Tojnko, Informacijske podlage za določanje najboljše rabe zemljišč v postopku prostorskega načrtovanja, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

ŠTUDIJSKI PROGRAM II. STOPNJE GRADBENIŠTVO

Sanel Djedović, Uporaba referenčnih modelov BIM za večmaterialno projektiranje, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek

MEDNARODNI DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENE INFORMATIKE

Igor Bizjak, Medmrežni model javne participacije v procesu urbanističnega planiranja, mentor prof. dr. Žiga Turk

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Simona Funda, Izdelava projektne dokumentacije jeklenih konstrukcij, mentor doc. dr. Tomaž Žula, somentor red. prof. dr. Stojan Kravanja

Tanja Gril Leskovšek, Investicijska in razpisna dokumentacija za projekt študentskega doma v Ljubljani, mentor doc. dr. Nataša Šuman

Borut Rožman, Dimenzioniranje enoetažne jeklene hale z armirano betonskimi stebri, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Jernej Karničnik, Modernizacija maloprometnih cest v hribovitem okolju: primer ceste na Slovenjgraškem Pohorju, mentor doc. dr. Marko Renčelj, somentor asist. Sašo Turnšek

Sabina Salamon, Zasnova in dimenzioniranje jeklene hale florisa 30 x 65 m s fotovoltaiiko, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula

2. STOPNJA, MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Matija Vindiš, Statični izračun armirano betonskega silosa za skladiščenje žita, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor Jernej Maher, univ. dipl. inž. grad.

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

Matija Čeh, Množično vrednotenje nepremičnin v Sloveniji, mentorja izr. prof. dr. Igor Pšunder in red. prof. dr. Polona Tominc

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: gradb.zveza@siol.net.

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

KOLENDAR PRIREDITEV

22.-24.6.2014

IABSE Workshop "Exploring the Potential of Hybrid Structures for Sustainable Construction"

Fribourg, Švica
www.iabse.org/hybrid2014

23.-27.6.2014

10th International Symposium on Ecohydraulics

Trondheim, Norveška
www.ntnu.edu/ecohydraulics2014

30.6.-2.7.2014

EURODYN 2014

9th International Conference on Structural Dynamics

Porto, Portugalska
<http://paginas.fe.up.pt/~eurodyn2014/>

3.-5.7.2014

International Scientific Conference »Contemporary Materials«

Banja Luka, Republika Srbska
<http://savremenimaterijali.info/index.php?idsek=15>

16.-18.7.2014

Footbridge 2014: Past, Present & Future

London, Anglija
www.footbridge2014.com

24.-29.8.2014

2ECEES

2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology

Istanbul, Turčija
www.2ecesistanbul.org

3.-5.9.2014

37th IABSE Symposium Madrid 2014

Madrid, Španija
www.iabse.org/Images/Conferences/Madrid/symposium_iabse2014.pdf

15.-19.9.2014

IAEG XII Congress Engineering Geology for Society and Territory

Torino, Italija
www.iaeg2014.com

17.-19.9.2014

ECCPM 2014 – 10th European Conference on Product and Process Modelling

Dunaj, Avstrija
<http://info.tuwien.ac.at/ecppm/>

23.-24.9.2014

10th International Symposium on Cable Dynamics

Kopenhagen, Danska
<http://www.aimontefiore.org/iscd2014/>

1.-2.10.2014

10th »CCC« Central European Congress on Concrete Engineering

Liberec, Češka
www.cbsbeton.eu/ccc2014

16.-17.10.2014

Strokovni posvet: Zgradbe, energija in okolje 2014

Plaza hotel Ljubljana, Ljubljana
<http://kubus.si/>

20.-22.10.2014

EEBP7 – 7th International Symposium on Environmental Effects on Buildings and People – Actions, Influences, Interactions, Discomfort

Krakov, Poljska
<http://psiw.org.pl/eebp7>

6.-8.11.2014

International Conference on Sustainable Infrastructure 2014

Long Beach, Kalifornija, ZDA
<http://content.asce.org/conferences/icsi2014/index.html>

12.-17.4.2015

7th World Water Forum

Daegu-Gyeongbuk, Republika Koreja
<http://worldwaterforum7.org/en>

13.-15.5.2015

IABSE Conference Nara 2015

Nara, Japonska
www.iabse.org/Nara2015

25.-29.5.2015

XVth IWRA World Water Congress

Edinburgh, Škotska
www.worldwatercongress.com

3.-7.6.2015

5th International Congress on Construction History

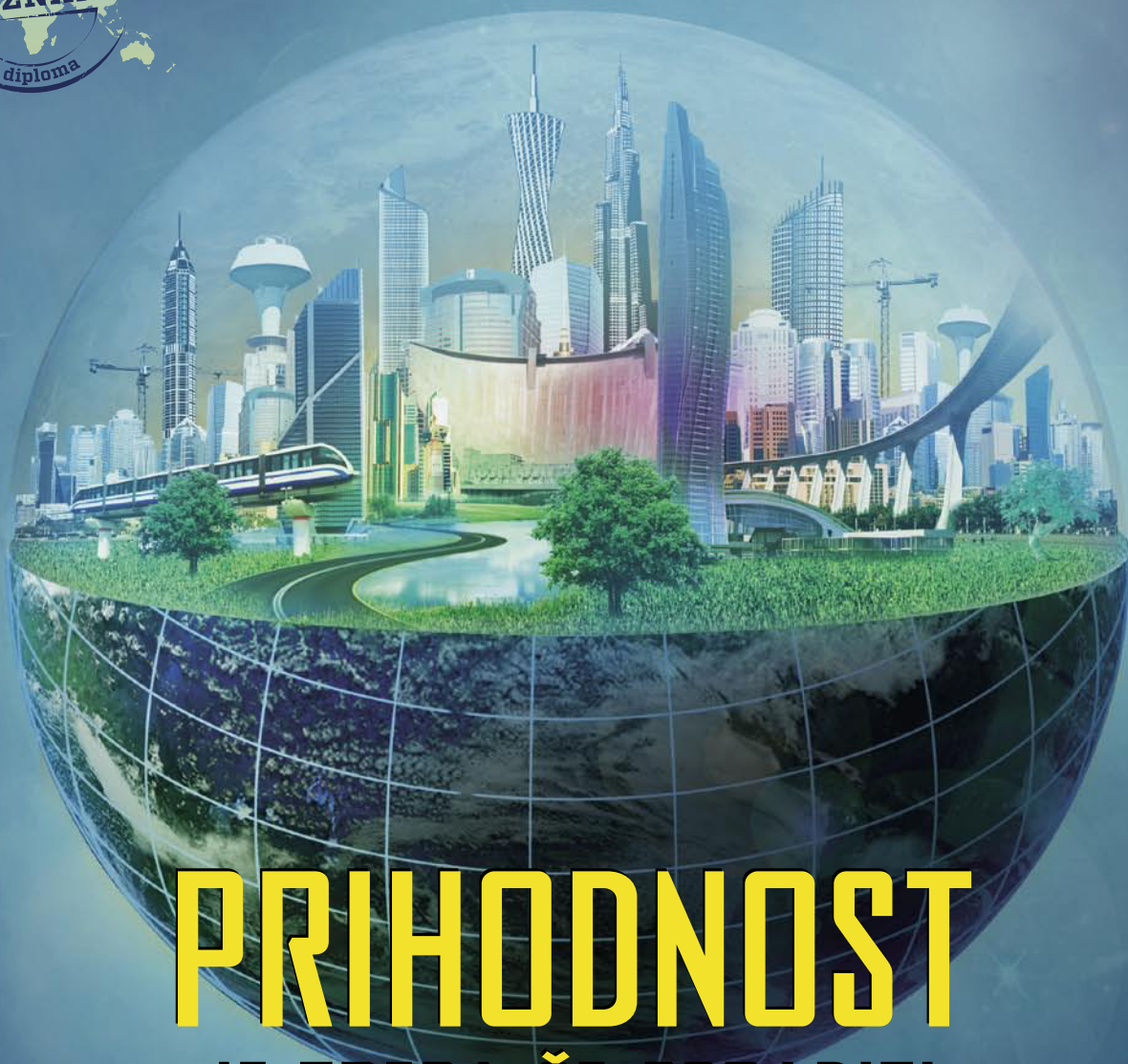
Chicago, ZDA
www.5icch.org

22.6.-2.7.2015

XXVth IUGG General Assembly

Praga, Češka
www.iugg.org/programmes/grants2015.php

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net



PRIHODNOST JE TREBA ŠE ZGRADITI

GRADBENIŠTVO, OKOLJSKO GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJA
SKOZI CELOTNO ZGODOVINO ČLOVEŠTVA PREMKAJO MEJE ZNANEGA.
PRIHODNOST PRINAŠA TRAJNOSTNE IZZIVE NA ZEMLJI IN NOVE V VESOLJU.

BOŠ ZRAVEN, KO SE BO GRADILA PRIHODNOST?

Potem obišči informativni dan
na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani:

**17. JUNIJ 2014 OB 16. URI ZA II. STOPNJO ŠTUDIJA
IN OB 17. URI ZA III. STOPNJO ŠTUDIJA**

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

