



ZAG V LETU 2015

ZAG



ZAG V LETU 2015

ZAG v letu 2015

Izdal in založil: Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana

Uredniški odbor: mag. Sabina Jordan, dr. Tadeja Kosec, Ema Kemperle

Fotografije: Arhiv ZAG

Lektoriranje: Alkemist d.o.o.

Oblikovanje in prelom: Eksit ADV d.o.o.

Izšlo tudi v tiskani izdaji

1. elektronska izdaja

www.zag.si/dl/ZAG-v-letu-2015.pdf

ISBN 978-961-90366-9-3

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

624(497.451.1)«2015»(0.034.2)

ZAVOD za gradbeništvo Slovenije

ZAG v letu 2015 [Elektronski vir] / [uredniški odbor Sabina Jordan, Tadeja Kosec, Ema Kemperle; fotografije arhiv ZAG]. - 1. elektronska izd. - El. knjiga. - Ljubljana : Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2015

Način dostopa (URL): www.zag.si/dl/ZAG-v-letu-2015.pdf

ISBN 978-961-90366-9-3 (pdf)

1. Jordan, Sabina

282562048



Uvodni nagovor	1
Laboratorij za konstrukcije in eksperimentalne raziskave s področja potresnega inženirstva	9
Raziskovalne zmogljivosti Laboratorija za konstrukcije	29
Predstavitev enot ZAG	33
Laboratorij za betone, kamen in reciklirane materiale	34
Laboratorij za kovine, korozijo in protikorozijsko zaščito	35
Laboratorij za polimere	36
Laboratorij za cemente, malte in keramiko	37
Laboratorij za toplotno zaščito in akustiko	38
Požarni laboratorij in požarno inženirstvo	39
Odsek za stavbe in potresno inženirstvo	40
Odsek za mostove in inženirske objekte	41
Odsek za kovinske, lesene in polimerne konstrukcije	42
Laboratorij za konstrukcije	43
Odsek za geotehniko	44
Odsek za vzdrževanje in gospodarjenje s cestami	45
Laboratorij za asfalte in bitumenske proizvode	46
Laboratorij za metrologijo	47
Služba za tehnične ocene in soglasja	48
Certifikacijska služba	49
Knjižnica	50
ZAG in trajnostni razvoj	53



Uvodni nagovor

izr. prof. dr. Andraž Legat, direktor

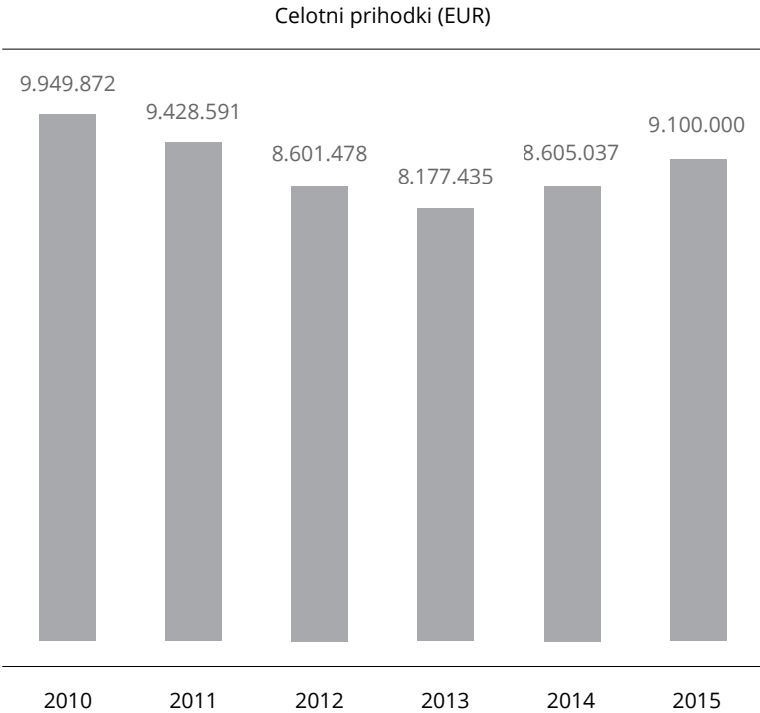
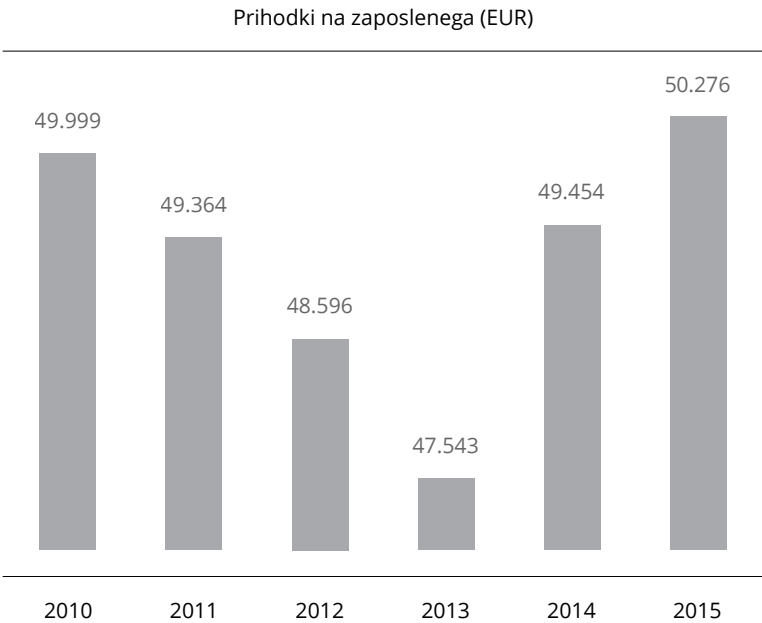
Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG) je bil formalno ustanovljen leta 1994 s preoblikovanjem laboratorijev Zavoda za raziskave materialov in konstrukcij (ZRMK) v javni raziskovalni zavod. Pri tem v dobršni meri nadaljujemo tradicijo raziskovalnega in strokovnega dela ZRMK, ki je bil ob nastanku leta 1949 osrednji gradbeni inštitut v takratni Jugoslaviji. Ob razpadu skupne države so nastali popolnoma novi pogoji delovanja, kar je privedlo tudi do prej omenjene reorganizacije. V več kot 20 letih samostojnega delovanja je ZAG uspešno vstopil v svoje zrelo obdobje, saj smo postali prepoznavni doma, še bolj pa v tujini. Smo enakopraven član vseh pomembnih mednarodnih združenj s širšega področja gradbeništva, pri čemer velja omeniti predvsem ENBRI (European Network of Building Research Institutes), FEHRL (Federation of European Highway Research Centres) in EOTA (European Organisation for Technical Assessment). Poudariti je treba, da je glede večine relevantnih kazalcev ZAG popolnoma primerljiv z najboljšimi inštituti v državah EU.

ZAG se je uspešno razvijal tudi v času gospodarske krize, ki je še vedno izrazita predvsem na področju gradbeništva. Ključno pri tem je bilo vzporedno delovanje na različnih področjih, od raziskovalnega do strokovnega dela in potrjevanja skladnosti. Pri tem se nam je obrestovalo vlaganje v določene nove vsebine, ki so šele sedaj postale aktualne. Kot učinkovito se je pokazalo tudi tesno sodelovanje z domačo in tujo industrijo ter posledično uspešno pridobivanje raziskovalnih projektov. Na drugi strani se že kažejo dolgoročne posledice gospodarske krize oziroma negativni učinki varčevalnih ukrepov. Če Slovenija ne bo povečala sredstev za znanost in raziskave na prejšnji nivo in sistemsko uredila področja tehnologije, se situacija lahko drastično poslabša. Zadnji podatki

namreč potrjujejo, da se konkurenca tudi v raziskovalnem okolju EU zaostre, kar posredno poslabšuje predvsem položaj partnerjev iz manjših držav. Brez ustreznega podpornega okolja države bomo v prihodnje tudi v tem okolju izgubili s težavo pridobljen status učinkovitega in tehnološko primerne partnerja. Mehanizmi pametne specializacije namreč lahko le delno nadomestijo stabilno nacionalno financiranje. Za pospešen tehnološki razvoj bo v okviru javnega naročanja tudi nujno treba vpeljati učinkovite mehanizme za implementacijo rezultatov raziskav in uporabo vrhunske stroke.

Znanstveno-raziskovalna dejavnost

Vsebinsko in statusno sta znanstvena in raziskovalno-razvojna dejavnost za ZAG vsekakor najpomembnejši. ZAG obe izvaja na področju, ki je gospodarsko gledano eno pomembnejših, in to ne le pri nas, pač pa tudi v svetu. V tem sektorju se v razvitih gospodarstvih neposredno ustvarja med 7 in 8 % BNP, skupaj s povezanimi dejavnostmi pa še precej več. Kljub temu da so naše raziskave usmerjene pretežno aplikativno, v določenih segmentih vzdržujemo neposreden stik z najnovejšimi znanstvenimi spoznanji, kar kažejo tudi objave v najpomembnejših mednarodnih revijah na posameznih področjih. Večina naših raziskav je vključena v mednarodne projekte (predvsem v H2020), kar dokazuje, da so pomembne za razvoj znanosti v širšem smislu.





Gradbeni objekti vseh vrst, tako stavbe kot inženirski objekti, morajo v skladu z evropsko uredbo za gradbene proizvode zadostiti predpisanim osnovnim zahtevam. Posebej za stavbe velja, da morajo poleg mehanske odpornosti in stabilnosti zagotoviti tudi varnost pri požaru, primerno higieno, okolje za zdravo bivanje, varnost in dostopnost pri uporabi, zaščito pred hrupom, biti morajo varčne z energijo in ohranjati toploto. V zadnjem času morajo vse vrste objektov v vseh fazah življenjske dobe, gradnji-uporabi-odstranitvi, odražati tudi trajnostno rabo naravnih virov. Da bi pri projektiranju novih objektov zagotovili izpolnjevanje teh zahtev, moramo poznati vse vplive, ki bodo med življenjsko dobo delovali na konstrukcije objektov, okolje in človeka. Istočasno moramo obvladovati tehnološke rešitve oziroma računske metode, s katerimi bomo preverili izpolnjevanje teh zahtev. Za zagotavljanje omenjenih ciljev so naše raziskave usmerjene predvsem v naslednja področja:

- varnost/stabilnost objektov (vključno z ekstremnejšimi parametri okolja ob klimatskih spremembah),
- trajnost objektov (tudi z ekološkega vidika: analiza celotnega življenjskega kroga, napake pri gradnji),
- energijska učinkovitost objektov (ustrezna uporaba novih materialov in tehnologij).

V okviru teh ciljev naše raziskave potekajo na ožjem področju materialov:

- karakterizacija degradacijskih procesov in metod za njihovo preprečevanje,
- razvoj in uporaba novih materialov in postopkov, vključno z nanomateriali in nanotehnologijami,
- uporaba/imobilizacija odpadkov/sekundarnih surovin (vključno z ekoremediacijo).

Posebno pozornost posvečamo:

- gradbenim objektom s posebnimi zahtevami: prometna infrastruktura, energetske objekti, odlagališča (vključno z odlagališčem za radioaktivne odpadke),
- objektom kulturne dediščine.

ZAG izvaja raziskovalni program »Gradbeni objekti in materiali« s podporo infrastrukturne skupine »Preskušanje materialov in konstrukcij«. Poleg tega v zadnjem obdobju vsako leto koordiniramo ali sodelujemo v približno desetih projektih, sofinanciranih s strani ARRS. Na ZAG se trenutno usposablja devet mladih raziskovalcev.

V preteklem obdobju smo bili pri raziskovalnih aktivnostih v okviru evropskih razpisov vsaj tako uspešni kot doma: ZAG je koordiniral ali sodeloval v preko 50 mednarodnih raziskovalnih projektih (FP6, FP7, H2020, Life) in v več kot 30 projektih mreženja (COST). Poudariti je treba, da omenjeni projekti vključujejo vsa relevantna področja gradbeništva, od novih materialov, trajnosti in varnosti gradbenih objektov ter prometne infrastrukture do energijske učinkovitosti stavb in obnove kulturne dediščine. Pri večini naših aktivnosti sodelujemo z našimi partnerji v mednarodnih znanstvenih in strokovnih združenjih. Zaradi uspešnosti našega sodelovanja sem bil kot prvi direktor inštitutov novih članic EU tudi izvoljen za predsednika ENBRI (European Network of Building Research Institutes), podpredsednika FEHRL (Forum of European National Highway Research Laboratories) in člana Steering Committee ECTP (European Construction Technology Platform). Posebej smo lahko ponosni na odobritev projekta v prvi fazi mehanizma H2020 Teaming (iz Slovenije sta bila odobrena samo dva), ki smo ga pripravili v sodelovanju z več slovenskimi razi-

skovalnimi inštitucijami (InnoRenew CoE: Renewable Materials and Healthy Environments Research and Innovation Centre of Excellence; nosilca sta Univerza na Primorskem in Fraunhofer WKL).

Poleg tega v celotnem obdobju našega obstoja na ZAG izvajamo številne uporabne raziskovalne projekte, pri katerih tesno sodelujemo z razvojnimi oddelki iz industrije. Med večjimi je treba omeniti Center kompetenčnosti TIGR (Trajnostno in inovativno gradbeništvo), ki se z aktivnim sodelovanjem med partnerji nadaljuje tudi po formalnem zaključku projekta. Glede na najperspektivnejša področja, ki jih je izpostavila Strategija pametne specializacije, lahko upravičeno pričakujemo vključitev ZAG v več skupnih projektov z industrijskimi partnerji.

Strokovno delovanje in potrjevanje skladnosti

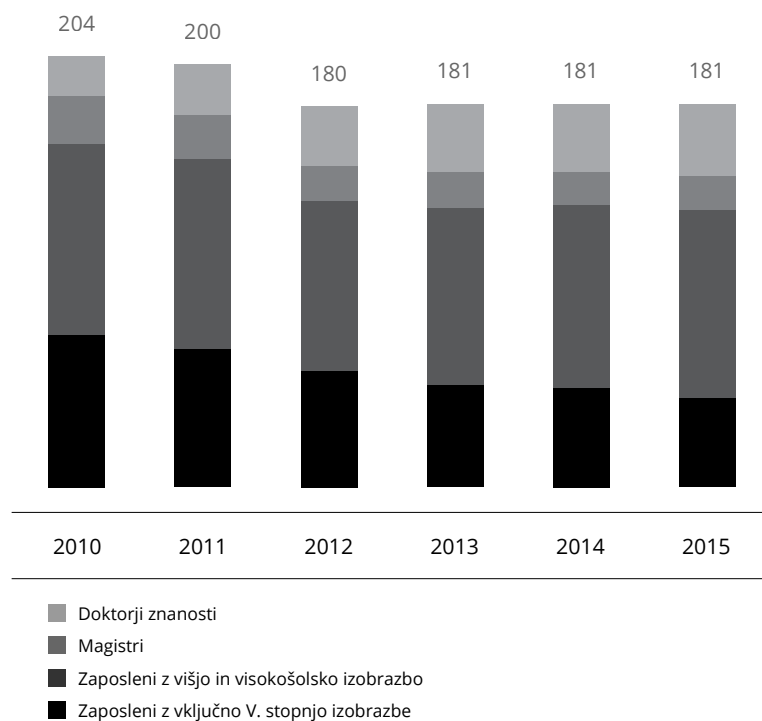
ZAG izvaja številne strokovne naloge na širšem področju gradbeništva kot so tehnična mnenja in analize, študije, preiskave, meritve, nadzor, opazovanja in analize stanja konstrukcij visoke in nizke gradnje, transportnih naprav, ter prometne infrastrukture. Sodelovali smo, oziroma še delujemo pri večini večjih nacionalnih infrastrukturnih projektov, predvsem pri izgradnji in obnovi avtocestnega omrežja in državnih cest ter energetske in komunalne infrastrukture. Rezultati teh aktivnosti so delno pogojeni z rezultati znanstveno-raziskovalnih dejavnosti in se z njimi tudi dopolnjujejo. Zato smo začeli tudi tesneje povezovati ožja strokovna področja, ki jih pokrivajo posamezni laboratoriji, tako da se ZAG s svojo interdisciplinarnostjo in celovitostjo lažje prilagaja potrebam trga.

Vzporedno s strokovnimi dejavnostmi ZAG tudi certificira gradbene proizvode in izdaja tehnične ocene, kalibrira merilnike mehanskih veličin (sile, navora in trdote) ter izvaja zunanjo kontrolo kot tretja neodvisna stranka. Na omenjenih področjih sledimo zahtevam evropske in slovenske zakonodaje, aktivno sodelujemo v ustreznih organih in tako tudi na evropskem nivoju predstavljamo državo Slovenijo. Strokovnost in širina dajeta ZAG določeno konkurenčno prednost, vendar se mora za večino projektov boriti na javnih razpisih z ostalimi ponudniki. V številnih razpisih poseben problem predstavljajo pomanjkljive tehnične zahteve, saj omogočajo sodelovanje neustrezno opremljene in premalo usposobljene konkurence, ki zato lahko nastopa tudi z bistveno nižjimi cenami. S tem se srečujemo celo na področjih, kjer ZAG v okviru svojih mednarodnih dejavnosti razvija nove postopke preiskav, metodologije in tehnologije – kar pomeni, da je v svetovnem (ali vsaj v evropskem) vrhu. Poudariti moramo tudi, da ima ZAG med vsemi inštituti in gospodarskimi družbami v Sloveniji največ akreditiranih merilnih metod in postopkov (trenutno 232). Žal kljub stalnemu opozarjanju s strani GZS in IZS ter vrhunskih strokovnih inštitucij, velika večina javnih naročnikov kot najpomembnejši ali celo edini kriterij za izbiro še vedno uveljavlja najnižjo ceno. Posebej problematično je to pri strokovnih aktivnostih, npr. pri ocenjevanju stanja, načrtovanju in projektiranju, kjer posamezne pomanjkljivosti v naslednjih fazah, kot so uporaba, vzdrževanje in odstranitev, lahko povzročijo bistveno višje stroške in neracionalno rabo naravnih virov. Poleg tega omenjena praksa onemogoča hitrejšo vpeljavo rezultatov raziskav in zavira tehnološki napredek Slovenije. Upamo, da bo implementacija novega Zakona o javnih naročilih (ZJN-3) izboljšala stanje na tem področju.

Zaposleni

Zaradi izjemnega povečanja posameznih tehničnih aktivnosti, predvsem izgradnje AC-omrežja, je imel ZAG največje število zaposlenih v letih od 2007 do 2009, in sicer 211. V naslednjih letih se je obseg rutinskih preiskav precej zmanjšal, zato smo postopoma zmanjšali tudi število sodelavcev (trenutno 181). Večja vključenost v raziskovalne projekte EU in širša dejavnost na področju tehničnih ocen in certificiranja je na drugi strani zahtevala zaposlitev več novih sodelavcev z visoko izobrazbo, praviloma z doktoratom. Tako smo kontinuirano dvigovali izobrazbeno strukturo zaposlenih na ZAG, kjer je med 181 zaposlenimi 71 raziskovalcev z univerzitetno izobrazbo (med njimi 34 doktorjev znanosti). Omenjena izobrazbena struktura je sicer še vedno nižja od drugih javnih raziskovalnih zavodov, vendar se je treba zavedati, da bo ZAG za svoje učinkovito delovanje vedno potreboval relativno velik delež strokovnega kadra.

Problem dolgoročnega kadrovskega načrtovanja je, da je situacija za prihodnje obdobje zelo nepredvidljiva: od napovedi, da bo do okrevanja gospodarstva prišlo že naslednje leto, do bojazni, da se bosta realni in seveda tudi javni sektor še nekaj let soočala z resnimi težavami. Zelo verjetno se bodo še naprej povečevale kadrovske zahteve za kompleksne raziskovalne aktivnosti v okviru mednarodnih in ostalih projektov, kjer je treba združiti znanje z več področij. Podobna situacija bo tudi pri zahtevnih strokovnih dejavnostih, ki zahtevajo povezovanje različnih ved s področja materialov, konstrukcij, gradbene fizike, geotehnike, prometne infrastrukture. Najverjetneje bomo vsaj v določenih segmentih zaposlovali mlade raziskovalce, ki so končali doktorski študij, saj so si pri nas že pridobili osnovne izkušnje.





Infrastruktura

Od svoje formalne ustanovitve v letu 1994 je ZAG za nabavo in modernizacijo raziskovalno-preskuševalne opreme vsako leto namenil približno 7 do 10 % poslovnih prihodkov. Del nakupa te opreme je bil financiran s strani ARRS in EU v okviru raziskovalnih projektov. ZAG ima tako danes relativno sodobno laboratorijsko opremo, ki zaposlenim omogoča kakovostno izvajanje raziskav in preskušanj pri večini aktivnosti. Na posameznih visoko specializiranih področjih, ki ne spadajo med ožje dejavnosti ZAG, se dodatno povežemo z drugimi raziskovalnimi institucijami (predvsem IJS, KI ter Univerzo v Ljubljani). V okviru skupnih raziskav in preskušanj imamo tudi možnost uporabe opreme drugih članic ENBRI in FEHRL.

V okviru zadnje finančne perspektive je ZAG načrtoval izvedbo treh razvojnih projektov: obnovo Laboratorija za konstrukcije, izgradnjo Centra za raziskave v gradbeništvu na vzorcih velikih dimenzij v Logatcu ter izgradnjo Centra za aplikativne raziskave EuroLabSI. Obnova Laboratorija za konstrukcije je bila sprejeta v sofinanciranje v višini 2,2 milijona EUR in je bila uspešno izvedena. Vlogi za sofinanciranje izgradnje Centra za raziskave v gradbeništvu na vzorcih velikih dimenzij v Logatcu in EuroLabSI sta bili zaradi pomanjkanja finančnih sredstev resornega ministrstva žal zavrjeni. Iz ostankov sredstev Operativnega programa krepitve regionalnih razvojnih potencialov nam je kasneje uspelo izvesti nakup in montažo XRD-sistema (Rentgenska praškovna difrakcija) ter obnovo prostorov.

ZAG je letos jeseni zaključil operacijo EU Obnova Laboratorija za konstrukcije, ki je bila sofinancirana s sredstvi Evropskega sklada za regionalni razvoj. V skladu s potrjenim investicijskim načrtom je bila izvedena rekonstrukcija obstoječega prizidka ob laboratorijski hali (rušenje dela obstoječe infrastrukture, izgradnja dodatnega prvega nadstropja, obnova dela prizidka) ter z nadstreškom pokrita zunanja žerjavna proga. Konec maja smo pridobili pravnomočno uporabno dovoljenje. Po zaključku gradbeno-obrtniških in inštalacijskih del smo dobavili in namestili tehnološko in računalniško opremo. S tem smo izrazito nadgradili naše eksperimentalne zmožnosti na področju konstrukcij in gradbene fizike. Uradno otvoritev obnovljenih prostorov in nove opreme načrtujemo v sredini decembra.

Po zavrnitvi sofinanciranja izgradnje Centra za raziskave v gradbeništvu na vzorcih velikih dimenzij v Logatcu smo projekt delno modificirali in pridobili gradbeno dovoljenje. Predvidena izgradnja Centra za raziskave v gradbeništvu na vzorcih velikih dimenzij bo ključna investicija ZAG v naslednjem srednjeročnem obdobju; brez njene izvedbe bi verjetno morali postopoma zaključiti dejavnost požarnega laboratorija, ki je edini v tem delu EU.

Na področju osnovne infrastrukture je ZAG v vseh programih dela, ki so bili potrjeni s strani UO (Upravni odbor), izkazal potrebo po rešitvi prostorskega razmerja med ZAG in ZRMK d. d. Vlada Republike Slovenije je potrdila razdelitev prostorov med obema pravnima naslednikoma ZRMK, vendar omenjeni sklepi do danes še niso bili realizirani. To moti nekatere dejavnosti ZAG in do določene mere tudi vpliva na vlaganje v osnovno infrastrukturo. Zato smo v zadnjih letih vzporedno s pripravo investicijskih projektov naredili nekaj posameznih korakov v smeri reševanja omenjene problematike. Upamo, da nam bo v sodelovanju z MIZŠ v naslednjih letih končno le uspelo fizično razdeliti prostore.

Zaključki

Iz vsega omenjenega lahko zaključimo, da je bil ZAG tudi v letih 2010–2015 glede na razmere, v katerih delujemo, dokaj uspešen. Glede večine najpomembnejših kazalcev smo primerljivi z najboljšimi instituti s podobnim področjem delovanja v razvitih državah EU. To je mogoče le z veliko angažiranostjo zaposlenih. Poudariti je treba, da večina raziskovalcev istočasno deluje pri različnih strokovnih nalogah in ne samo na znanstvenem področju, kar zahteva izjemen napor.

Zadnja gospodarska kriza je ponovno pokazala, da je tehnološka razvitost eden ključnih dejavnikov za preživetje posameznih delov gospodarstva in blaginjo državljanov. V tem smislu se je pokazalo kot ključno, da je Sloveniji ob vstopu v EU poleg pomembnih industrijskih jeder uspelo ohraniti večino nacionalnih raziskovalnih institutov. Večina tehnološko najrazvitejših članic EU namreč zelo skrbno bedi nad stanjem svojih raziskovalnih ustanov ter jih neposredno ali posredno ustrezno sofinancira. Želeli bi, da bi se pomembnosti celotnega področja znanosti in raziskav poleg MIZŠ v večji meri zavedala tudi druga ministrstva, ki morajo sodelovati v aktivnostih trajnostnega razvoja slovenske družbe.

Laboratorij za konstrukcije in eksperimentalne raziskave s področja potresnega inženirstva

akad. prof. dr. Miha Tomaževič

Uvod

Raziskovanja na področju potresnega inženirstva si ne moremo predstavljati brez eksperimentov, s katerimi ponazorimo obnašanje gradbenih konstrukcij med potresi. Seveda ne eksperimentov, pri katerih konstrukcija ostane cela, pač pa eksperimentov, pri katerih obnašanje konstrukcije spremljamo vse do porušitve. Vrsta poškodb in potek njihovega nastanka sta podlaga za ugotovitev, kaj je bilo s konstrukcijo narobe, da ni vzdržala potresa. Če poznamo zasnovo konstrukcije, kakovost vgrajenih materialov ter odpornost posameznih elementov oziroma sklopov konstrukcije, lahko na podlagi analize poškodb ugotovimo, kakšne so bile sile, ki so delovale na konstrukcijo med potresom, in kako so bile razporejene. Poškodbe nam pokažejo šibka mesta konstrukcije, ki jih pri projektiranju podobnih novih konstrukcij odpravimo, pri obstoječih, po potresu že poškodovanih konstrukcijah pa utrdimo. Kako to storiti, nam pove vrsta poškodbe.

Ustrezno opremljen laboratorij je torej ključni element potresno odpornega projektiranja konstrukcij. S pomočjo eksperimentov zasnujemo in preverjamo računske modele, s katerimi ocenjujemo potresno odpornost konstrukcij in njihovih elementov. S pomočjo eksperimentov preverjamo tudi učinkovitost tehnoloških rešitev za protipotresno utrjevanje obstoječih konstrukcij, tako tistih, ki jih je potres že poškodoval, kot tudi takih, ki so potresno ranljive in kjer je velika verjetnost, da jih v bližnji prihodnosti bo. Z drugimi besedami, brez ustreznega laboratorija ni projektiranja potresno odpornih (novih) konstrukcij niti preprojektiranja oziroma utrjevanja potresno ranljivih obstoječih stavb.

Danes se prihajajoča, že četrta generacija raziskovalcev na Zavodu zaveda pomena laboratorija prav tako kot prva, ki je že pred šestdesetimi leti postavila temelje eksperimentalnega raziskovanja za učinkovito potresno odporno gradnjo pri nas in ključno pripomogla, da je današnji Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG) na tem področju poznan ne le doma in v Evropi, pač pa tako rekoč po vsem svetu. Zato prispevek ni toliko zgodba o Laboratoriju za konstrukcije, ampak predvsem o raziskovalcih, ki so znali izkoristiti njegove na začetku še zelo skromne zmogljivosti, da bi s svojimi raziskavami pripomogli k varnejšemu življenju na območjih, ki jih ogrožajo potresi.

Laboratorij za konstrukcije, ki je v času od svojega nastanka deloval v različnih organizacijskih enotah nekdanjega Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij (ZRMK), je po njegovem prestrukturiranju v celoti prešel v ZAG. Laboratorij je bil in je tudi ostal sestavni del organizacijske enote, ki se danes imenuje Oddelek za konstrukcije.

Žal omejeni obseg prispevka in časovna stiska pri pisanju ne omogočata temeljitega pregleda vsega, kar je na področju potresnega inženirstva nastalo s pomočjo laboratorija. Tako v prispevku ne bodo omenjene eksperimentalne raziskave obnašanja velikopanelnih stenastih armiranobetonskih konstrukcij po sistemu Jugomont, ki je bil popularen v 60. letih prejšnjega stoletja, in izboljšanega sistema SCT iz 80. let, s katerim je zgrajeno stanovanjsko naselje Župančičeva jama v Ljubljani. Opisane ne bodo niti raziskave vpliva načina armiranja armiranobetonskih sten na obnašanje pri potresu, pri katerih je simulacija obremenitev, nastalih med potresom, zahtevala dobršno mero inovativnosti, niti raziskave obnašanja nekaterih drugih inovativnih monolitnih in montažnih konstrukcijskih sistemov oziroma poskusi reševanja geotehničnih problemov pri potresih. Ne nazadnje pa ne bodo opisane niti tiste dejavnosti na področju potresnega inženirstva, ki niso neposredno povezane z laboratorijem, čeprav so sicer pomembne, kot npr. razvoj metod za oceno potresne ogroženosti grajenega okolja in razvoj metodologij za oceno uporabnosti objektov, ki jih je poškodoval potres. Raziskovalci zavoda igrajo pomembno vlogo tudi na teh področjih.

Ker se bomo omejili na raziskave obnašanja konstrukcij zidanih stavb, kjer si je zavod pridobil največji ugled, nas natančnejši pregled drugih dejavnosti laboratorija na področju potresnega inženirstva v prihodnje še čaka. Tudi v prispevku omenjeni dosežki na področju zidanih konstrukcij ne predstavljajo vsega. Tisti, ki so po avtorjevi presoji najpomembnejši, pa so opisani le na kratko. Žal zasnova publikacije ne dopušča, da bi avtor navedel nekaj ključnih objav, v katerih so dosežki podrobneje opisani.



Začetki in mednarodna uveljavitev

Čeprav so se raziskovalci na ZRMK že za časa njegove ustanovitve pred več kot šestdesetimi leti zavedali, da potresno odporna gradnja kljub potresni nevarnosti v nekdanji Jugoslaviji ni ustrezno urejena s predpisi, in so po lokalnem potresu leta 1956 v Ilirski Bistrici sodelovali pri pripravi slovenske regulative, je resnejši mejnik v dejavnosti pomenil potres, ki je leta 1963 porušil Skopje, glavno mesto Makedonije. Mimogrede, slovenska priporočila za projektiranje, ki so izšla tik pred skopskim potresom, so leta 1964 le z manjšimi spremembami postala jugoslovanski začasni tehnični predpis za projektiranje na potresnih območjih. Sloveniji in s tem ZRMK kot njeni takrat edini raziskovalni instituciji za gradbeništvo, ki je imela na področju sanacije gradbenih konstrukcij že nekaj izkušenj, je bila po potresu leta 1963 poverjena skrb za zidane stavbe.

Zvezna država (takratni jugoslovanski Zvezni fond za znanstvena raziskovanja) je po potresu v Skopju financirala obsežen program raziskav obnašanja zidov pri potresni obtežbi ter učinkovitosti nekaterih metod utrjevanja opečnih zidov (injektiranje razpok, prednapetje, oblaganje z armirano cementno oblogo), ki so bile uporabljene pri sanaciji poškodovanih stavb, ki so preživele potres. Najpomembnejši rezultat teh raziskav, pri katerih je bila za ugotavljanje poteka napetosti v zidu pri kombinaciji navpične in vodoravne obtežbe poleg preiskav zidov uporabljena tudi fotoelastična metoda, je bila t. i. Turnškova enačba, ki kot osnovni parameter za račun strižne odpornosti zidu uvaja natezno trdnost zidovja. Enačba se zaradi enostavnosti in inženirske vrednosti v posodobljeni obliki uporablja še danes, z modifikacijami pa je bila vpeljana v kasnejše jugoslovanske in nekatere tuje predpise. Pomembnost enačbe kaže citiranost članka, v katerem je bila enačba predstavljena v tujini, saj do danes z nobeno slovensko objavo na področju zidanih konstrukcij še ni bila presežena. Tudi sicer je število citatov (cca 230, večinoma v zadnjih 15 letih) za 45 let staro objavo na tem področju spoštljivo.

Razvoj raziskovalne opreme

Za eksperimentalne raziskave, s katerimi naj bi ponazorili vplive potresnih sil, je bilo treba prirediti tudi preizkuševalno opremo. Zato so že konec 60. let prejšnjega stoletja raziskovalci Zavoda skupaj s švicarskim podjetjem Amsler, ki je do takrat dobavilo večino hidravlične preskuševalne opreme, zasnovali eno prvih potresnih miz v Evropi, pri čemer so kot osnovno idejo uporabili princip delovanja pulzatorja. Potresno mizo, jekleno ploščad, ki je bila zaradi zmanjšanja mase izdelana kot paličje, na katero se je pritrdil preizkušanec, sta premikala dva v nasprotnih smereh delujoča hidravlična bata. Bata sta bila na eni strani povezana z mizo, na drugi strani pa pritrdjena na jekleno podporno steno, vpeto v preizkuševalni temelj. Prvi od obeh batov je bil priključen na pulzator (aktivni bat), drugi, pasivni bat pa na oljni akumulator pod tlakom. Pasivni bat je po analogiji s povratno elastično silo konstrukcije, preizkušane med pulziranjem, pri obremenitvi vračal aktivni bat in z njim potresno mizo v izhodiščni položaj oziroma ga je preko izhodišča potisnil v nasprotno smer. Pasivni bat je bil ustrezno »prednapet«,

delovanje aktivnega bata pa so krmilili elektromehanski ventili pulzatorja, ki so po posebnem programu regulirali dotok olja v bat. Za krmiljenje pravilnega, po navadi sinusnega gibanja je služil kar vgrajeni funkcijski generator, za krmiljenje potresnega gibanja tal pa merilni magnetofon z magnetnim trakom, na katerem je bil zapisan časovni potek pomikov izbranega potresa, seveda v obliki sprememb električne napetosti, inducirane v induktivnem merilniku pomikov, ki je sledil posebni šabloni, na enem od robov izrezani v obliki izbranega potresnega gibanja tal. Način krmiljenja je v okviru tehničnih omejitev naprave omogočal poljubno nastavitve intenzitete gibanja tal.

Raziskovalci na Zavodu so istočasno zasnovali tudi posebno napravo za preiskave zidov, s katero naj bi ponazorili obnašanje tipičnega zidnega slopa v zidani stavbi med potresom. Naprava je omogočala preizkušanje zidu z dinamično, izmenično delujočo strižno silo pri konstantni navpični obremenitvi in enakih vpetostnih pogojih na spodnjem in zgornjem robu zidu. Tudi ta naprava je bila sestavljiva: na togo prečko med dvema stebroma, po potrebi podprtima z diagonalama, je bil pritrdjen ključni element naprave, paralelogram, poimenovan »škarje«, ki je zagotavljal, da sta zgornji in spodnji rob zidu med preiskavo ostala vzporedna. Drug, ne dosti manj pomemben element naprave je bil jeklen podporni nosilec, na katerega je bil postavljen preizkusni zid. Da ne bi služil samo kot podstavek, pač pa tudi kot merilnik vodoravne sile, ki jo je paralelogram med preiskavo vnašal v zid, je nosilec členkasto visel na dveh stebričih, vpetih v podporni temelj, tako da bi se v smeri delovanja vodoravne sile lahko prosto premikal, če ne bi bili njegovi pomiki blokirani z bočnima, prednapetima dinamometroma na vsaki strani podpornega nosilca. Vodoravno silo, ki je delovala v višini zgornjega roba zidu, sta povzročala aktivni in pasivni bat, ki sta bila priključena na zunanje strani stebrov okvira, silo oziroma pomik pa sta prenašala na spodnji del paralelograma z nateznim drogovjem (paralelogram sta vlekla vsak na svojo stran). Bata sta delovala na enak način kot pri potresni mizi. Tudi navpično obtežbo sta povzročala dva hidravlična bata, oba priključena na oljni akumulator, ki je skrbel, da je sila kljub navpičnim pomikom spodnjega dela paralelograma oziroma stisnjenju zidu med preiskavo ostajala nespremenjena. Da ne bi prišlo do neželenega izklona in poškodb pri porušitvi preizkušanca, se je navpična sila preko batov, pritrdjenih na strop preizkuševalnega temelja, prenašala na spodnji del paralelograma z jeklenim drogovjem. Da ne bi ovirale vodoravnih deformacij zidu, so imele palice zgoraj in spodaj členke.

Pomiki na zgornjem robu zidu so bili krmiljeni. Ker so obremenitve med potresom ciklične, je bila preiskava programirana tako, da so bili cikli z enako amplitudo pomikov trikrat ponovljeni, amplitude programiranih pomikov pa so se postopoma povečevale do največje, vnaprej izbrane vrednosti. Obremenjevanje s tako programiranim sklopom pomikov (imenovanim »blok«) se je ponavljalo v več zaporednih fazah, pri katerih se je velikost zadnje amplitude pomikov bloka povečevala vse do porušitve zidu. Ker je bil za programiranje pomikov uporabljen funkcijski generator, je bila preiskava dinamična. Izbrana frekvenca cikla (1 Hz) naj bi ustrezala prvi lastni frekvenci nihanja 10-nadstropne stavbe. Čeprav so kasnejše raziskave pokazale, da frekvenca vzbujanja vpliva na rezultate, saj je odpornost pri višjih frekvencah večja, deformabilnost pa manjša, se je frekvenca 1 Hz uporabljala kot standardna, vse dokler se je naprava uporabljala v opisani konfiguraciji.

Potresna miza in naprava za ciklične strižne preiskave zidov nista bili fiksni napravi, saj je Laboratorij za konstrukcije opremo želel izkoristiti tudi za druge namene. Za svojo postavitev pa sta potrebovali poseben temelj, ki je danes del preizkuševalne ploščadi laboratorija; to je 110 cm debela, s stenami podprta močna armiranobetonska plošča, ki ima v rastru 120 x 120 cm predvidena pritrdišča za jekleno oporno konstrukcijo. Kletni prostor, v katerem so danes in po razširitvi temelja sredi 80. let nameščeni hidravlični agregati za pogon programskih batov, je dovolj visok, da se na strop temelja po potrebi lahko pritrdijo bati za vnos navpično delujočih sil.

Zmogljivost potresne mize je bila skromna, omejena na skupno maso premikajočih se delov 2500 kg, zato se na njej raziskuje obnašanje konstrukcij v zmanjšanem merilu – modelov in ne konstrukcij v naravni velikosti. Da bi bili rezultati modelnih preiskav zanesljivi, je bilo treba osvojiti tehniko fizičnega modeliranja konstrukcij in obtežbe in razviti ustrezne materiale za modeliranje betona, armature in zidovja. Tudi zmogljivost naprave za strižne preiskave zidov je bila omejena. Dimenzionirana je bila za preiskave nearmiranih zidov s strižno odpornostjo, ki ne presega 250 kN. To silo sta pri cikličnem dinamičnem obremenjevanju zagotavljala hidravlična bata zmogljivosti 500 kN.

Velik zadržek za izvedbo dinamičnih preiskav je v tistem obdobju predstavljal zelo skromen analogni merilni sistem in sistem za zajemanje podatkov. Poleg 4-kanalnega merilnega magnetofona so imeli raziskovalci na razpolago le še 5-kanalni optični vizikorder (optični zapis na fotografsko občutljiv papir) in grafični x-y-risalnik, tako da je bilo treba merilna mesta pred preiskavo skrbno izbrati. Težavna je bila tudi obdelava rezultatov, saj je bilo treba vse zapise pred resnejšo analizo ročno digitalizirati. Zato je potresna miza po poskusnih preiskavah obnašanja modelov armiranobetonskih okvirov v celotnem desetletju le redko služila svojemu namenu.

Tudi meritve fizikalnih veličin med cikličnimi preiskavami zidov so bile v tem obdobju večinoma omejene na meritve ključnih pomikov in sil. Časovni potek je bil po potrebi zapisan z vizikorderjem, histerezna odvisnost pa z grafičnim x-y-risalnikom. Da bi opazovali potek poškodb v odvisnosti od amplitud pomikov, je bila na paralelogram pritrjena ura, ki je na fotografskih posnetkih preiskave v značilnih trenutkih kazala čas (sekunde), merjen od začetka posamezne faze preiskave.

Raziskave in začetki mednarodnega povezovanja

Skopskemu potresu je leta 1969 sledil rušilni potres v Banja Luki, kjer je ZRMK ponovno odigral ključno vlogo pri sanaciji in utrditvi nekaterih pomembnejših zidanih pa tudi armiranobetonskih stavb. V okviru obnove mesta je Zavod za obnovo Banja Luke, ki je upravljal tudi s sredstvi zvezne pomoči, financiral obsežne raziskave, s katerimi so bile raziskane mehanske lastnosti tipičnega zidovja. Zato so iz nekaterih stavb v mestu izrezali zidove v velikosti običajnih preizkušancev, jih varno prepeljali v Ljubljano in preiskali v novi napravi laboratorija. Podatki so bili uporabljeni pri projektiranju utrditve, kjer je bil na podlagi analiz poškodb po potresu in rezultatov laboratorijskih raziskav predlagan

nov način razporeditve potresnih sil po zidovih, ki je temeljil na strižnem in ne na upogibnem obnašanju zidov, kot je bilo do takrat v navadi.

Po potresih v Skopju in Banja Luki je bilo razvitih kar nekaj inovativnih »protipotresnih« sistemov gradnje (sistem Čigon, sistem PRSF). Njihovo učinkovitost in osnovne značilnosti je bilo treba preiskati v laboratoriju, zato je Zavod v tistem obdobju raziskoval tudi vpliv vodoravne armature v naležnih regah zidovja. Predpisi so na območjih z najvišjo stopnjo seizmičnosti uvedli obvezno vgradnjo navpičnih zidnih vezi (sistem povezanega zidovja). Ker navpičnih vezi do takrat pri nas nismo poznali, je bilo treba raziskati, če in v kolikšni meri izboljšajo potresno odpornost zidanih stavb. Raziskave, ki sta jih financirali tako država kot industrija, so dale nekaj pomembnih podatkov in izhodišč za nadaljevanje v kasnejšem obdobju.

Potresa v Skopju in Banja Luki sta vzbudila tudi zanimanje tuje strokovne javnosti. Obe-nem s pomočjo prizadetih območjem je iz tujine prišla tudi pobuda za znanstvenoraziskovalno sodelovanje. Da bi se seznanili z zavodovimi raziskavami zidanih konstrukcij, so v začetku 70. let zavod obiskali predstavniki Univerze v Kaliforniji v Berkeleyu. Poznavanje problematike in opravljeno raziskovalno delo sta naredila dober vtis. Zavodove raziskave so bile vključene v poročilo berkeleyske univerze o stanju stroke na tem področju, čeprav takrat še ni bilo omembe vrednega števila objav v angleščini, da bi se poročilo lahko nanje sklicevalo. Ker je bil vodja delegacije, prof. Bouwkamp, čeprav specialist za jeklene konstrukcije, tudi koordinator raziskav s področja potresnega inženirstva v okviru ameriško-jugoslovanskega znanstveno-tehnološkega sodelovanja, je Zavod vključil v program sodelovanja pod okriljem National Science Foundation (NSF). To je dalo Zavodovim raziskavam obnašanja zidanih konstrukcij dodatno težo.

Leta 1974 je prišlo do sicer manjšega potresa na Kozjanskem, ki je resneje prizadel eno takrat najrevnejših območij v Sloveniji z večinoma kamnitimi zidanimi hišami. Zavodu sta bila poverjena strokovno vodenje ugotavljanja uporabnosti prizadetih stavb in skrb za tehnične rešitve pri popotresni obnovi. Na podlagi stanja na terenu in izkušenj pri sanaciji kamnitih mostov so zavodovi raziskovalci kot najustreznejšo rešitev predlagali injektiranje kamnitega zidovja s cementnimi injekcijami in povezovanje zidovja z jeklenimi armaturnimi palicami. Učinke enostavne in ne drage metode so preverili z laboratorijskimi preiskavami odpornosti injektiranih zidov in s preiskavo obnašanja modela enostavne povezane hiše na potresni mizi. Pripravili so tudi navodila, kako vgrajevati zidne vezi.

Po furlanskem potresu leta 1976, pravzaprav vrsti treh potresov, ki so prizadeli tudi Posočje in porušili oziroma poškodovali večinoma stare kamnite hiše, so bile izkušnje, pridobljene po potresu na Kozjanskem, zelo dragocene. Na žalost v Posočju po majskem potresu na slovenski strani ni bilo resne akcije, se je pa takratna slovenska vlada odločila priskočiti na pomoč slovenski manjšini v Italiji. Med drugim je zadožila Zavod, naj s svojim znanjem usposobi za obnovitvena dela tudi manjše slovensko podjetje iz Čedadada (Cividale). Zato se je operativna ekipa Zavoda že poleti po majskem potresu lotila dela. V vasi Bardo (Lusevera) blizu Tarčenta (Tarcento) je kot primer, kaj se da storiti, utrdila hišo, ki so jo italijanske oblasti predvidele za rušenje. Groba dela (injektiranje



in povezovanje zidov) so bila končana pred septembrskim potresom, utrjena hiša pa je septembrski potres podobne intenzitete, kot jo je imel majski, prestala brez novih poškodb. Eksperiment v naravi je še bolj kot predhodni v laboratoriju pokazal, da je metoda utrjevanja učinkovita, zato so se italijanski kolegi iz Vidma (Udine) odločili, da Zavodove strokovnjake pokličejo na pomoč pri obnovi prizadetega območja. Ker je bil obseg prizadetosti bistveno večji kot v Posočju, bili pa so brez izkušenj, so se na obnovo želeli najprej pripraviti. Tako je Zavod s pomočjo Inženirske zbornice iz Vidma v začetku leta 1977 za italijanske inženirje pripravil dva dobro obiskana seminarja in tudi učni material, ki je, mimogrede, danes razstavljen v posebni sobi muzeja o potresu v obnovljeni Gemoni.

Seveda je bil Zavod nosilec strokovnega dela tudi med obnovo Posočja. Njegove tehnične ekipe so delovale tako samostojno kot tudi kot inštruktorji slovenskih podjetij pri zahtevnih obnovitvenih delih, ki so bila pri nas vsaj v grobem zaključena že konec leta 1976.

Da bi Zavodove izkušnje bolje izkoristili, je predsednik deželne vlade Furlanija - Julijska krajina v centralno interdisciplinarno komisijo, katere naloga je bila med drugim pripraviti tehnično in drugo regulativo za uspešen potek obnove, imenoval tudi Zavodovega predstavnika. Tako večino določil osnovnega tehničnega dokumenta in priporočil za obnovo hiš predstavljajo Zavodove izkušnje in priporočila. Dokument je predpisal tudi uporabo na zavodu razvitih računskih metod.

Ena izmed predlaganih računskih metod zasluži omembo. Temelji na oceni potresne odpornosti zidane konstrukcije s krivuljo odpornosti kritične etaže in je bila ena prvih na svetu, ki je za račun krivulje uporabila metodo, ki se danes imenuje »potisna (push-over) metoda«. Še posebej velja omeniti, da se krivulja računa s povečevanjem vsiljenih pomikov in ne sil, kot je še danes v navadi. Metoda je tipična metoda porušnega mehanizma, zato je bil računalniški program za račun krivulje odpornosti, ki je bil preverjen zunaj, ker takrat zavod še ni imel svojega računalnika, imenovan »POR« (PORušna metoda), po programu pa z istimi kraticami tudi sama metoda. V Italiji se to ime v različnih verzijah še danes uporablja, pri nas pa smo dopolnjeno in izboljšano metodo v 80. letih preimenovali v »SREMB«.

Vloga ZRMK in slovenske stroke med obnovo po potresu prizadete sosednje Italije je imela velik vpliv na izboljšanje položaja takrat precej zapostavljene slovenske manjšine, živeče v tamkajšnjih krajih (Beneška Slovenija). Povečala je ugled Slovenije in odprla vrata zavodu za sodelovanje s številnimi univerzami v severni Italiji, ki traja še danes. Še posebej velja omeniti sodelovanje z Univerzo v Padovi, s katero je Zavod že kmalu po potresu raziskal lastnosti z injektiranjem utrjenega kamnitega zidovja, kasneje pa tudi vpliv različnih metod preskušanja zidov na vrednosti parametrov, ki določajo strižno odpornost, in Politehnika iz Milana, katere profesorji so razumeli pomen Zavodovih raziskav in pripomogli, da so bila zavodova priporočila v Italiji dobro sprejeta.

Leta 1979 je močan potres prizadel Črno goro. Zavod je bil ponovno vključen v popotresne dejavnosti: poverjeno mu je bilo strokovno svetovanje slovenskim ekipam, ki so priskočile na pomoč Črni gori in sodelovale pri ugotavljanju posledic, pa tudi sodelovanje pri strokovni koordinaciji dejavnosti obnove in pripravi tehnične regulative po zgledu iz Furlanije. Zaradi izkušenj pri obnovi Posočja in podobne tipologije stavb (kamnito zidovje) je bilo Zavodu poverjeno tudi projektiranje utrditvenih ukrepov večjega števila javnih objektov, šol in upravnih stavb. Pri utrditvi večine med njimi so sodelovale Zavodove tehnične ekipe. Kot po potresih na Kozjanskem in v Posočju je Zavod z državnim financiranjem preiskal večje število zidov v obstoječem in utrjenem (injektiranem) stanju, sezidanih v laboratoriju iz materiala, odvzetega iz porušениh hiš. Da bi jih lahko pri svojem delu uporabljali projektanti, so bile s preiskavami zidov ugotovljene vrednosti ključnih trdnostnih parametrov privzete v predpisih za sanacijo in utrditev. O rezultatih raziskav in možnostih za utrditev je Zavod poročal domači in tuji strokovni javnosti.

Če je furlanski potres leta 1976 pripomogel k ugledu in prepoznavnosti Zavoda na področju potresnega inženirstva v sosednji Italiji, pa je bila uveljavitev Zavoda v svetovnem merilu povezana z že omenjenim bilateralnim ameriško-jugoslovanskim sodelovanjem. O rezultatih svojih raziskav smo lahko zelo podrobno poročali na mednarodnih delavnicah in konferencah v Cavtatu leta 1977, Skopju leta 1980 in na Bledu leta 1981, kjer so s predavanji sodelovali takrat najuglednejši raziskovalci s širokega področja potresnega inženirstva z vsega sveta. Zavodovi raziskovalci so vse svoje dotedanje raziskave obnašanja zidanih konstrukcij in iz njih izhajajoče metode preverjanja potresne odpornosti povzeli v dveh daljših prispevkih na konferenci v Skopju. Obdobje smo želeli zaključiti z eksperimentom, s katerim bi dokazali pravilnost predpostavk pri preverjanju potresne odpornosti zidanih stavb, vendar se je poskus ponesrečil.

Konferenco na Bledu je organiziral ZRMK pod pokroviteljstvom NSF iz ZDA. Konferenca ni bila posvečena potresno odpornim konstrukcijam, pač pa socialnim in ekonomskim vidikom potresov in planiranju za ublažitev njihovih posledic (Social and economic aspects of earthquakes and planning to mitigate their impacts). Izredno odmevna konferenca je bila prva te vrste na svetu, nanjo pa so bili povabljeni svetovno znani sociologi, ekonomisti in drugi, ki so se ukvarjali s to problematiko. Konferenca je pokazala, kako pomembno je, da zaradi hudih posledic in posredne škode, ki jih po potresih povzroči neustrezna odpornost gradbenega fonda in infrastrukture, potresni odpornosti objektov posvetimo ustrezno pozornost.

Zbornik konference je posvečen prof. Viktorju Turnšku, idejnemu vodji, gonilni sili in nesebičnemu mentorju raziskovalcem na področju potresnega inženirstva, ki je po hudi bolezni umrl kmalu po konferenci. Z njegovo smrtjo se je končalo obdobje mednarodnega uveljavljanja Zavoda na področju raziskav potresne odpornosti zidanih konstrukcij. Kasneje je bilo treba doseženo raven le še vzdrževati in nadgrajevati.



Obdobje 1981–1995

Že na začetku 80. let prejšnjega stoletja so se začeli pojavljati zametki evrokodov, sodoben predpis za gradnjo na potresnih območjih, ki je v Sloveniji veljal vse do uradne uveljavitve evrokodov leta 2008, pa je leta 1981 sprejela tudi Jugoslavija. Predpisi so sicer kot običajno povzeli stanje stroke, vendar so bila v njih tudi določila in vrednosti projektnih parametrov brez eksperimentalne podlage, še posebej v poglavjih, ki so obravnavala zidane konstrukcije. Zidane stavbe so se gradile na podlagi izkušenj in z upoštevanjem pravil dobre obrti, zato je uvedba inženirskega pristopa z računskim dokazom odporosti največkrat temeljila na nekritičnem privzemu analogije z obnašanjem betonskih in armiranobetonskih konstrukcij. Eksperimentalnih podlag, na podlagi katerih bi lahko preverili zanesljivost in uporabnost enačb za projektiranje oziroma številnih parametrov za projektiranje, je bilo zelo malo ali pa jih niti ni bilo. Ker je potresno odporno projektiranje zidanih konstrukcij tipično »eksperimentalno podprto projektiranje« (experiment aided design), so bile potrebe po eksperimentalnem raziskovanju velike. Neraziskana področja so predstavljala raziskovalno nišo in možnost za prepoznavnost, ki so se je Zavodovi raziskovalci dobro zavedali.

Potresi, ki so v drugi polovici 70. letih prejšnjega stoletja prizadeli številne regije v Sredozemlju, so vsi po vrsti pokazali na potresno ranljivost kamnitih hiš v starih mestnih in podeželskih jedrih. Večina škode in smrtnih žrtev po potresih je bila posledica hudih poškodb in porušitve starih stavb. Izguba stavb in celih naselij je bila razlog, da so se na prizadetih območjih začeli zavedati njihove potresne ranljivosti in pomembnosti. Ne kot posamezni objekti, ampak kot skupina stavb stare hiše postanejo arhitekturna kulturna dediščina največje vrednosti. Sodobnim mestom in podeželju dajejo prepoznavnost in dodano vrednost, saj predstavljajo jedro kulturnega, družabnega in turističnega dogajanja. Če ne bi imela starih jeder, bi bila sodobna naselja pusta in brez življenja. Zato so se prav po potresih začeli zavedati, da jih je treba ohraniti tudi v modernem okolju. Začeli so iskati načine, kako obnoviti po potresih prizadete stavbe oziroma jih utrditi, še preden jih prizadene potres.

Tudi na tem področju so bili raziskovalci Zavoda pionirji, ki so z utrditvijo stavb arhitekturne dediščine že imeli izkušnje pa tudi načrte, kako konstrukcije zgodovinskih stavb podrobneje spoznati, raziskati razloge za njihovo neustrezno obnašanje med potresi, ukrepe za utrjevanje prilagoditi ugotovitvam in njihovo učinkovitost preveriti z laboratorijskimi in terenskimi eksperimenti.

Ker je Zavod podpiral mednarodno sodelovanje, so bili njegovi raziskovalci na tekočem z raziskavami drugod po svetu. Po svojih močeh in zmožnostih so marsikaj dodali v svetovno zakladnico znanja, s svojimi sugestijami pa kolegom-raziskovalcem iz tujine, ki so imeli na razpolago neprimerno večja finančna sredstva in boljšo raziskovalno opremo, svetovali, kaj v prihodnje raziskati. Sredstva za svoje raziskave so pridobili bodisi od države (po uvedbi samoupravnega sistema je bila glavni financer Raziskovalna skupnost Slovenije) bodisi s strani domače in tuje opekarske industrije. Dokazali so, da je mogoče do rezultatov priti tudi z razmeroma skromno preizkuševalno opremo. To je sicer zahte-

valo več inovativnosti, prilagodljivosti in vloženega truda pa tudi zavedanja, da se vsega ne da poenostaviti. Zavodove izkušnje so spodbudile eksperimentalno raziskovanje v številnih inštitutih manj razvitih držav na Kitajskem, v Indiji, na srednjem vzhodu in v Latinski Ameriki, kjer se tipologija zidanih stavb do neke mere lahko primerja s stavbami pri nas.

Z raziskavami obnašanja zidanih konstrukcij, ki jih je v osnovi financirala Raziskovalna skupnost Slovenije, je bil Zavod še skoraj celo desetletje tudi formalno vključen v ameriško-jugoslovansko sodelovanje. Najprej pod okriljem NSF, nato pa pod okriljem nekdanjega National Bureau of Standards (NBS), današnjega National Institute of Standards and Technology (NIST). Del raziskav je financirala domača industrija, predvsem gradbena podjetja, pomemben del raziskav, ki jih je Zavod izvedel v okviru sodelovanja z Univerzo v Padovi, pa italijanska opekarska industrija. Leta 1985 je bil podpisan protokol o znanstveno-tehničnem sodelovanju med Kitajsko in Jugoslavijo. Kitajska delegacija, ki je istega leta obiskala vse gradbene inštitute v Jugoslaviji, je k sodelovanju na področju raziskav zidanih konstrukcij, povabila samo Zavod. V projekt je bilo kasneje vključeno tudi gradbeno podjetje SCT, za katerega je Zavod izvajal preiskave potresne odporosti novorazvitega velikopanelnega montažnega sistema. Zanimivo in uspešno sodelovanje je trajalo vse do razpada Jugoslavije, po njem pa je potekalo le občasno v okviru ameriško-kitajskega programa o sodelovanju. V drugi polovici 80. let in po osamosvojitvi Slovenije je Zavodovo raziskovanje uživalo že tolikšen ugled, da je bilo predstavljeno v okviru študijskih programov na nekaterih tujih univerzah.

Posodobitev raziskovalne opreme

Eksperimentalne raziskave je močno olajšala posodobitev infrastrukture in raziskovalne opreme. Tako je laboratorij oziroma oddelek (takratni TOZD) na začetku 80. let z lastnimi sredstvi razširil preizkuševalni temelj, namenjen potresni mizi in napravi za preizkušanje zidov, v preizkuševalno ploščad, ki obsega četrtno površine laboratorijske dvorane. Utrdil je tudi žerjavno progo in nabavil zmogljivejši mostni žerjav. Še posebej velja omeniti prvo nabavo sodobne raziskovalne opreme, ki je omogočila prehod z analognega na digitalni način krmiljenja preiskav in zajemanja podatkov. V okviru t. i. paketov nabave raziskovalne opreme, ki jih je takrat uvedla Raziskovalna skupnost Slovenije, je Zavod z lastnim sofinanciranjem že v prvem paketu prišel do prvega programskega dvosmerno delujočega hidravličnega bata s pogonskim hidravličnim agregatom in krmiljenjem, merilnega sistema in sistema za zajemanje podatkov z računalnikom. Število priključkov oziroma kanalov je bilo dovolj veliko, da meritve pri dinamičnih in statičnih preiskavah niso več predstavljale problema. Z nabavami v kasnejših letih je bil nabor batov dopolnjen, dopolnjena in posodobljena pa sta bila tudi merilni sistem in sistem za zajemanje podatkov. Seveda je vodilo pri nakupu opreme ves čas ostalo enako: ostati na realnih tleh in skrbeti za čim večjo izkoriščenost preizkuševalne opreme. Ne nabavljati opreme, ki bi se uporabljala samo za raziskovalne projekte, za katere bi težko našli financerja.

Programski dvosmerno delujoči bat je poenostavil način pogona potresne mize in tudi napravo za strižne preiskave zidov. Dva bata, aktivnega in pasivnega, je zamenjal en sam, ki je lahko enkrat potiskal, drugič pa vlekel preizkusni zid. Ker tovarniško prirejeno krmiljenje bata ni dopuščalo poljubnih nastavitvev, potrebnih za pogon potresne mize oziroma naprave za ciklične strižne preiskave zidov, so sodelavci laboratorija sami izdelali vso potrebno programsko opremo za njegovo krmiljenje. Bat je omogočil posodobitev preizkusnega protokola, časovnega poteka obremenjevanja z vsiljenimi cikličnimi pomiki. Namesto z zaporedjem posameznih blokov cikličnih pomikov s frekvenco 1 Hz je bilo zidove možno preiskati v eni sami fazi s cikli poljubnih amplitud pomikov in s poljubno hitrostjo obremenjevanja. Počasno izvajanje preiskave je omogočilo opazovanje in dokumentiranje nastanka poškodb in porušnega mehanizma.

Ker bat ni bil namenjen preiskavam gradbenih elementov, ni imel členkastih priključkov za preizkušance, ki bi preprečevali poškodbe bata v primeru prevelikih deformacij ali nenadne porušitve preizkušanca. Zato je njegova uporaba zahtevala izdelavo dodatnega kardanskega členkastega priključka.

V primerih preiskav zidov, za katere se je izkazalo, da je njihova odpornost večja od 250 kN (kot že omenjeno, je bila na to silo dimenzionirana tudi naprava za preizkušanje zidov), so se zidovi preiskali kot navpične konzole na temeljih, neposredno vpetih v preizkuševalno ploščad. V teh primerih so se preiskave izvajale tako, da sta izmenično vodoravno silo povzročala dva klasična enosmerno delujoča hidravlična bata ustrezne zmogljivosti, ki sta bila priključena na nihalna manometra in sta s pomočjo jeklenega drogova vlekle preizkusni zid vsak na svojo stran. Bata sta bila krmiljena ročno po vnaprej pripravljenem programu poteka pomikov, pri čemer je operater preiskave spremljal dejanske deformacije zidu, zabeležene z grafičnim risalnikom ali elektronskim svetlobnim prikazovalnikom, in po doseženi željeni vrednosti v posameznem ciklu bat vrnil v izhodiščni položaj, nato pa postopek ponovil z batom na drugi strani. Vmes so bili v poljubno izbranih intervalih deformacije zidu zabeleženi podatki meritev, na začetku na luknjan trak, nato neposredno na disk računalnika. Zelo preprosta tehnika krmiljenja preiskave in zajemanja podatkov meritev je bila popolnoma enakovredna računalniško krmiljeni.

Usposobljeni in inovativni zaposleni, tako raziskovalci kot tehnično osebje v laboratoriju, so za vsako vrsto preiskave našli rešitev, pri kateri so na tak ali drugačen način uporabili že obstoječo opremo.

Raziskave za eksperimentalno podprto projektiranje

Večina raziskav je potekala na treh ožjih področjih:

- raziskave dinamičnega obnašanja različnih sistemov zidanih konstrukcij,
- raziskave obnašanja zidovja, armiranega z armaturo v naležnih regah, in
- raziskave obnašanja armiranobetonskih konstrukcij z zidanimi polnili.

Da bi raziskali obnašanje 4-etažne stavbe iz nearmiranega zidovja, je bil model v merilu 1 : 7 sezidan iz modelnih zidakov, ki so bili izdelani po recepturi, že v preteklosti pripravljene na podlagi dolgotrajnih raziskav materialov, primernih za izdelavo popolnih modelov zidanih stavb. Kljub nekaterim težavam s samo potresno mizo in meritvami je preiskava na mizi uspela in dala pričakovane rezultate. Obdelava podatkov je bila sicer omejena, saj takrat zavodov računalnik še ni imel grafične periferne enote. Kljub temu je raziskava omogočila preverjanje ustreznosti računskega modela za račun nelinearnega dinamičnega odziva večetažne nearmirane zidane stavbe na potresno vzbujanje tal, ki temelji na etažnem strižnem porušnem mehanizmu. Primerjava je pokazala, da računski model, ki kot vhodne podatke upošteva etažno histerezno ovojnico, izračunano po metodi, omejeni v predhodnem poglavju, in enostavna etažna histerezna pravila, zadovoljivo dobro ponazori odziv nearmirane zidane stavbe na potres.

Vzporedno z raziskavami obnašanja armiranega zidovja je potekala tudi primerjava obnašanja modelov stavb z nearmiranim in armiranim zidovjem, ki so imeli enako zasnovo po tlorisu in višini, s preiskavami modelov na potresni mizi. Ker je italijanska opekar-ska industrija istočasno želela raziskati možnosti gradnje mešanih zidanih-armiranobetonskih konstrukcijskih sistemov tudi na potresnih območjih (periferno zidovje in vmesni armiranobetonski stebri), kjer to v načelu ni dopustno, je prišlo do dogovora, da se reševanje problema vključi v že zasnovani raziskovalni projekt. Da bi imela primerjava širši značaj, so se poenotili gabariti vseh tipov modelov, pri raziskavah, ki jih je sofinancirala italijanska opekar-ska industrija, pa je sodelovala tudi Univerza v Padovi.

Ker bi bila izdelava modelnih votlakov, s katerimi bi sezidali popoln model, predraga, je bila sprejeta odločitev, da se modeli izdelajo na enostaven način iz prototipnih materialov. Tako tudi mehanskih lastnosti armature ni bilo treba modelirati. Seveda je bilo treba prilagoditi simulirano potresno gibanje tal, rezultate preiskav na potresni mizi pa interpretirati po ustrezno spremenjenih pravilih. Izkazalo se je, da bi bilo najenostavneje prave votlake razrezati na dimenzijsko ustrezne kose in z njimi sezidati modele. Tehnika modeliranja je v tem primeru zahtevala poseben aranžma za brezmasni vnos tlačnih napetosti v zidove, kar je zagotovilo pravilno simulacijo porušnih mehanizmov. Preiskava na potresni mizi je pokazala, da se je nearmirani model klasične zasnove obnašal strižno, medtem ko je bil pri armiranem modelu z zidovjem, armiranim z navpično in vodoravno armaturo, ugotovljen prevladujoč upogibni mehanizem porušitve. Pri prevzemu potresnih sil so sodelovali tudi vodoravni nosilni elementi konstrukcije, plošče in preklade. Obnašanje nearmiranega modela z vmesnim stebrom ni bilo ugodno, medtem ko se je armirani model z vmesnim stebrom obnašal zadovoljivo.

Stališča o učinkih armiranobetonskih navpičnih zidnih vezi in njihovem upoštevanju pri vrednotenju potresne odpornosti zidanih stavb, sezidanih v sistemu povezanega zidovja, so bila vedno različna. Tudi Zavodove raziskave v preteklosti so pokazale, da navpične vezi ne povečajo toliko odpornosti, pač pa deformabilnost (duktilnost) nearmirane zidane konstrukcije. Povezovalna vloga je bila nedvomna, medtem ko je pri načinu dimenzioniranja in računanju doprinosa navpičnih vezi k odpornosti konstrukcije, ki so ga dopuščali nekateri predpisi, prihajalo do velikih razlik. Da bi podrobneje raziskali, kako deluje sistem povezanega zidovja v konstrukciji med potresom, je bil financiran in izpeljan raziskovalni projekt, v katerem sta bila na potresni mizi preiskana dva modela trietažne zi-

slika: Fotogrametrične meritve deformacij med preiskavo okvira s polnilom

dane stavbe enake zasnove in gabaritov, prvi sezidan v sistemu nearmiranega, drugi pa v sistemu povezanega zidovja. Za izdelavo modelov je bila osvojena nova tehnika priprave modelnih materialov, in sicer izdelava zidakov z vlivanjem posebej projektirane malte v kalupe ustreznih dimenzij. Tako so bili z mešanico agregata ustrezne gostote in ustreznega veziva izdelani zidaki za izdelavo popolnih modelov (več o modelnih preiskavah na potresni mizi in tehniki modeliranja je najti v). Eksperimenti so pokazali, da povezovanje nearmirane zidane konstrukcije z armiranobetonskimi vezmi na način, ki ga predpisuje osnutek evropskih predpisov za projektiranje stavb na potresnih območjih, povzroči, da se poškodbe med potresom razširijo po celi višini stavbe. To poveča tako duktilnost in sposobnost sipanja energije kot tudi odpornost konstrukcije. Ugotovitev je v nasprotju s predpisom, ki pravi, da so navpične vezi samo konstrukcijskega pomena in se njihovega vpliva na potresno odpornost v računskih dokazih ne sme upoštevati. Na podlagi ugotovljenega mehanizma obnašanja in meritev med preiskavo je bil razvit računski model, s pomočjo katerega se ugodni vplivi navpičnih zidnih vezi lahko izvednotijo.

Po analogiji z armiranobetonskimi konstrukcijami se je tudi pri zidanih uveljavila ideja, da se materialu, ki je sposoben prenašati tlačne obremenitve, nateznih in strižnih pa ne, v konstrukcijskih elementih na ustrezen način doda material, ki bo lahko prevzel natezne in strižne obremenitve. Z drugimi besedami, da se zidani elementi ojačijo, armirajo z jekleno armaturo ali drugim materialom, ki bo prevzel natege. Da bi to dosegli, so bile razvite številne rešitve in sistemi zidanja. Ker se zidovje in beton v tlaku obnašata podobno (deformacija pri doseganju trdnosti in pri porušitvi ni pomembno odvisna od trdnosti materiala in je enaka kot pri betonu), so bile vse enačbe, izpeljane za dimenzioniranje

oziroma preverjanje odpornosti prereзов in elementov iz armiranega zidovja, izpeljane na podlagi analogije z armiranim betonom. Uporaba takšnih enačb je določena v marsikaterem predpisu, predpisana pa je tudi minimalna količina strižne in upogibne armature, s katero mora biti zid armiran, da bo izpolnjeval pogoje za tovrstno zidovje in da se mu lahko pripišejo lastnosti, ki so bistveno boljše od lastnosti nearmiranega zidu.

Preiskave, ki so bile izvedene za posamezne naročnike, ki jih je zanimal učinek armiranja, so pokazale, da so predpostavke predpisov po navadi zelo daleč od resnice. Tako pri upogibnem kot pri strižnem mehanizmu so bile razlike med dejansko in računsko odpornostjo velike v škodo dejanske odpornosti konstrukcije. Ker so te preiskave pokazale, da bi bilo zanašanje na računske vrednosti za konstrukcijo lahko usodno, je bil izpeljan obsežen eksperimentalen raziskovalni program, v katerem je bil raziskan mehanizem delovanja navpične armature, vložene v luknje ob robovih zidu, in vodoravne strižne armature v naležnih regah. Ker ni šlo za konkreten sistem zidanja in vrsto zidakov, so bile raziskave izvedene na pomanjšanih zidovih, modelih, ki pa so bili še vedno dovolj veliki, da so bile ugotovitve lahko splošene. Preiskano je bilo večje število zidov, sezidanih iz dveh vrst zidakov, opečnih polnih zidakov in betonskih votlakov. Da bi lahko nedvoumno raziskali vpliv armiranja pri upogibnem in strižnem načinu porušitve, je bil del zidov sezidan v geometrijskih proporcijah, tipičnih za prevladujoče strižno obnašanje, del pa v proporcijah, ki so predvidevali upogibno obnašanje. Pri obeh dimenzijah je bil del zidov armiran samo z navpično armaturo ob robovih, pri delu zidov pa je bila navpični dodana še vodoravna strižna armatura v naležnih regah.



Meritve deformacij na armaturi so pokazale, da ta v vsakem primeru deluje tako, kot predvidevajo predpostavke. Navpična armatura prevzema upogibne momente in zato pri cikličnih obremenitvah deluje enkrat v tlaku, drugič v nategu, medtem ko vodoravna armatura, ki prevzema strižne sile, v obeh smereh obremenjevanja deluje v nategu. Vodoravna armatura je sicer v vseh primerih izboljšala deformacijske lastnosti zidov (izboljšala je duktilnost in povečala sposobnost sipanja energije), vendar to ni imelo bistvenega vpliva na odpornost. Meritve deformacij armature so pokazale, da do razlik med računskimi predpostavkami in dejanskim stanjem prihaja zaradi dejstva, da vodoravna armatura v nobenem primeru ni mogla prevzeti obremenitev, ki ji jih je pripisal račun. Še pred doseganjem njene računske nosilnosti je bodisi popustila sprijemnost med armaturo in malto oziroma malto in zidaki bodisi zidaki niso mogli prenašati obremenitev in so se zdrobili. Izkazalo se je, da je izkoriščenost vodoravne armature pri strigu močno odvisna od količine armature: celo tisti odstotek armiranja, ki ga predpis predpisuje kot minimalnega, je običajno preveč. Izkoriščena je bila le tista količina armature, katere nosilnost v nategu je bila približno enaka strižni odpornosti zidov. V primeru, ko vodoravne armature v naležnih regah sploh ni bilo, je bilo obnašanje zidov še bolj oddaljeno od pričakovanj. Tako visoki kot nizki zidovi so se porušili strižno, čeprav je račun nakazoval ugodnejšo upogibno porušitev. Če je tak zid armiran z robno navpično in ustrezno sidrano vodoravno strižno armaturo, se bo po pričakovanjih porušil upogibno. Če vodoravne armature ni, tudi doprinos navpične armature ne bo in zid se bo porušil strižno. Na podlagi rezultatov meritev deformacij v armaturi so bila ugotovljena razmerja med deležem, ki ga k odpornosti zidu prinese armatura, in deležem osnovnega zidu. Na podlagi ugotovljenega izkoristka armature so bili v enačbo za preverjanje odpornosti uvedeni faktorji korekcije nosilnosti s predlogom, naj se njihova vrednost eksperimentalno oceni za vsako vrsto zidovja posebej. Podano je bilo tudi priporočilo, naj se za armirano zidovje uporabljajo zidaki visoke trdnosti, armatura pa naj se ustrezno sidra in zalije s cementno malto.

Z eksperimentalnimi rezultati obnašanja armiranega zidovja je bil preverjen in dopolnjen računski model na podlagi paličnega mehanizma, ki so ga razvili japonski raziskovalci. Ugotovljeno je bilo, da se z njim razmeroma dobro ponazori stanje pri strižni porušitvi armiranih zidov.

Na večjem številu enakih armiranih zidov, ki so bili preiskani pri dveh ravneh tlačne predobremenitve, je bil raziskan vpliv časovnega poteka obremenjevanja z vodoravno obtežbo na rezultat preiskave. Primerjava je zajela več vrst časovnih potekov vsiljenih pomikov, od monotonega do poteka, ki ustreza dejanskemu potresnemu odzivu, vsaka vrsta pomika pa je bila nanašana tako statično kot dinamično s frekvenco, ki ustreza frekvenci odziva tipične zidane stavbe na potres. Namen raziskave je bil ugotoviti možnost in način, kako bi na podlagi rezultatov cenejše monotone preiskave sklepali na velikost parametrov, ki določajo potresno odpornost in ki se sicer ugotavljajo z dražjo ciklično preiskavo (odvisnost med odpornostjo in deformacijo, upadanje nosilnosti in togosti pri cikličnih obremenitvah, duktilnost in sposobnost sipanja energije).



Ugotovljeno je bilo, da realne podatke dajejo le ciklične preiskave, rezultati pa niso pomembno odvisni od vrste cikličnega poteka obremenitev. Razlike med rezultati, dobljenimi s statično in dinamično preiskavo, prav tako niso ključne za realno oceno potresne odpornosti. Po pričakovanjih je na rezultate pomembno vplivala predobremenitev, tj. razmerje med tlačnimi napetostmi v zidu, ki jih je povzročala konstantna navpična sila, in tlačno trdnostjo zidovja. S tlačnimi obremenitvami se je povečala odpornost, zmanjšali pa sta se duktilnost in sposobnost sipanja energije. Na podlagi ugotovljenega obnašanja zidov je bil izdelan računski model histereznega obnašanja zidu pri ciklični obtežbi, pri čemer so bila podana navodila, kako se parametri, ki opisujejo histerezo, določijo na podlagi eksperimentalnih rezultatov preiskav zidov.

Potres v Črni gori leta 1979 in drugi potresi na začetku 80. let so ponovno opozorili na problem zidanih polnil v armiranobetonskih konstrukcijah. Polnila, ki se še danes večinoma obravnavajo kot sekundaren nekonstrukcijski element armiranobetonske okvirne konstrukcije, so v resnici med potresom sestavni del konstrukcije. Resda ne prenašajo navpičnih obtežb, ki jih v celoti prevzame okvirni sistem, kljub temu pa zaradi delne ali polne povezanosti z glavno konstrukcijo ovirajo njene deformacije med potresnim nihanjem in tudi prevzamejo potresne sile. Od tega, kako so zidana polnila povezana z glavno konstrukcijo, je odvisna njihova vloga: pri delni povezanosti po višini stebrov ali dolžini prečk je njihova vloga po navadi izrazito negativna. Z delnim oviranjem deformacij spremenijo deformabilnostne razmere in povzročijo, da na mestih, kjer projektant tega ni pričakoval, nastanejo velike obremenitve, ki povzročijo kritične poškodbe konstrukcije. Če so vmesna polja med stebri okvirov pravilno zapolnjena, je vpliv polnil lahko pozitiven, tudi če v računu ni bil predviden. Čeprav spremenijo dinamične lastnosti konstrukcije in v začetni fazi odziva na potres povzročijo nastanek velikih sil, ki jih projektant ni pričakoval, ko se poškodujejo, delujejo kot nekakšni disipatorji energije. Če med potresom ne izpadejo zaradi vplivov pravokotno na svojo ravnino, trenje med posameznimi deli po navadi strižno poškodovanega polnila zmanjšuje intenziteto nihanja konstrukcije.

Da bi raziskali mehanizme obnašanja in ocenili sovplivne sile med armiranobetonskim okvirom in zidanim polnilom, so bile tudi na zavodu opravljene obsežne eksperimentalne raziskave. Okviri s polnili so bili preiskani na podoben način kot zidovi, pri meritvah deformacij pa je bila uporabljena tudi fotogrametrična metoda, s pomočjo katere so bili izmerjeni vektorji pomikov okvira in polnila na večjem številu mest. Danes je fotogrametrično metodo zamenjala digitalnooptična, precej bolj natančna in učinkovita metoda meritev deformacij. Ob nastalih poškodbah je poznavanje deformacijske slike omogočilo ponazoritev mehanizma obnašanja in sovplivnih sil, nastalih med polnilom in okvirom. Med prvo serijo preiskav okvirov z opečnimi polnili je bil ugotovljen mehanizem, ki je sicer le eden izmed mnogih možnih, podlaga za izpeljavo enostavnega računskega modela, s pomočjo katerega se pri določenih pogojih lahko oceni potresna odpornost okvira z zidanim polnilom. Postopek in razmišljanje, na podlagi katerega je bil izpeljan računski model, lahko služita kot vzorec za modeliranje drugih vrst mehanizmov.

V drugi fazi raziskav so bili preizkusni vzorci manjši, polnila pa sezidana z betonskimi bloki. Da bi raziskali vpliv stika med osnovno konstrukcijo in polnilom, je bila z nav-

pičnim prednapetjem simulirana obtežba stropov na prečke okvira. Raziskan je bil tudi vpliv vratnih odprtín v polnilu. Pozitivna vloga zidanih polnil v armiranobetonskih okvirnih konstrukcijah med potresi je stroko navedla na to, da se bodisi z naknadno vgraditvijo bodisi s popravilom oziroma utrditvijo po potresu poškodovanih polnil obnašanje osnovne konstrukcije bistveno izboljša. Poleg tega da polnila bistveno zmanjšajo neugodne velike deformacije vitkih skeletnih konstrukcij med potresom, povezana z glavno konstrukcijo in ustrezno močna lahko tudi prevzamejo velik del potresnih obremenitev. Zato je bila na zavodu v nadaljevanju izdelana tudi eksperimentalna študija obnašanja armiranobetonskih okvirov z na različne načine utrjenimi zidanimi polnili, ki je pokazala, da vse rešitve povečajo odpornost. Pri načinu utrditve polnil z oblaganjem z armiranocementno oblogo je učinek na strani povečanja bistveno večji, je pa zato padec odpornosti po nastanku poškodb zelo velik, celo na raven osnovne okvirne konstrukcije. Raziskave so opozorile, da je treba učinkovitost vsake rešitve pred uporabo eksperimentalno preveriti.

Raziskave za utrditev stavb arhitekturne dediščine

Po žalostnih izkušnjah s potresi in zaradi možnosti za pravočasno protipotresno utrditev, ki so jo nakazale eksperimentalne raziskave, je v začetku 80. prejšnjega stoletja tudi takratna Stanovanjska skupnost mesta Ljubljana sprožila in tudi financirala obsežno zastavljen program prenove stare Ljubljane. Program prenove je v prvi fazi predvidel tudi vse potrebne raziskave za ugotavljanje obstoječega stanja stavb, predvidenih za prenovo. Zavod je tako prvič dobil možnost, da mehanske lastnosti obstoječega zidovja ugotovi s preiskavo zidov v samih stavbah. Zidovi, ki so bili sezidani in preiskani v laboratoriju, so bili sicer sezidani z materialom, odvzetim na terenu, in z malto, ki je bila po laboratorijskih analizah sestavin enaka kot malta zidovja stavb. Čeprav so bila tudi pri samem zidanju upoštevana tradicionalna pravila, pa so bile zaradi različnih vplivov trdnostne in deformabilnostne lastnosti zidovja lahko le približno ponazorjene. Preiskave na terenu imajo to veliko prednost, da se preiskujejo dejanski elementi konstrukcije z dejanskimi materiali v dejanskih obtežbenih in vpetostnih pogojih. Ker so terenske preiskave dražje in težje izvedljive kot tiste v laboratoriju, žal le redkokdaj pridejo v poštev. V stavbi je treba mesto preizkušanja skrbno izbrati, ločiti preizkušanece od ostalega zidovja, zavarovati konstrukcijo pred morebitnimi poškodbami, ki bi lahko nastale med preiskavo, pripeljati ustrezno preizkuševalno opremo ter opremiti preizkuševališče. Zato običajno tudi ni mogoče preiskati tako velikega števila vzorcev kot v laboratoriju, preiskava enega ali dveh vzorcev pa postavlja pod vprašaj predpostavke statističnega vrednotenja rezultatov. Pomanjkljivost terenske preiskave je običajno tudi to, da je zaradi nevarnosti nastanka poškodb na okoliški konstrukciji navadno ni mogoče izpeljati do porušitve vzorca.

Rezultati terenskih preiskav so pokazali, da se vrednosti mehanskih lastnosti zidovja ne da splošiti, saj so odvisne od kakovosti zidanja in strukture zidovja. Prav tako so pokazali, da so na terenu ugotovljene vrednosti praviloma precej višje od vrednosti, dobljenih s preiskavo v laboratoriju sezidanih zidov podobne strukture. Ker so terenske preiskave razmeroma zahtevne, se zidovi po končani preiskavi navadno utrdijo in ponovno preiščejo, saj so tako dobljeni rezultati bolj zanesljivi od laboratorijskih. Vse preiskave so pokazale, da se z injektiranjem ne poveča samo odpornost kamnitega zidu, pač pa tudi njegova togost. Rezultati terenskih preiskav, ki jih je opravil Zavod, so bili podlaga za projektiranje prenove večjega števila hiš v stari Ljubljani. Zavod je v sodelovanju s projektanti izdelal potresni del projektov.

Čeprav je bil vpliv vodoravnih zidnih vezi, ki zagotovijo celovitost delovanja zidane konstrukcije med potresom, že ugotovljen s preiskavo in potrjen z obnašanjem dejanske, že utrjene stavbe med močnim potresom, je bil mehanizem delovanja vezi podrobneje raziskan. Preiskani sta bili dve seriji modelov dvoetažnih kamnitih in opečnih hiš z lesenimi stropi. Modeli, ki so bili sezidani kot popolni modeli v merilu 1 : 4, so imeli v zidovih, ki so stali pravokotno na smer delovanja potresa, okenske in vratne odprtine. V vsaki seriji je bil najprej preiskan referenčni model z lesenimi stropi brez vezi, nato pa še po dva modela, od katerih je imel eden zidove povezane z vezmi, drugi pa je imel namesto vezi in lesenih stropov armiranobetonske plošče.

Za izdelavo modelov kamnitih hiš je bil uporabljen kar naravni kamen, odvzet iz dejanske hiše in zdrobljen na primerno majhne kose, medtem ko so bili modeli opečnih hiš sezidani iz opek, izdelanih iz malte ustrezne sestave. Za jeklene vezi, vgrajene enako kot v prototipnih hišah, je bila uporabljena žgana žica ustrezno zmanjšane premera. Da bi raziskali, kakšne sile nastanejo med potresom v vezeh, so bile zidne vezi opremljene z merilnimi lističi.

Ugotovljeno je bilo, da leseni stropi, ki niso sidrani v zidovje, ne morejo preprečiti ločevanja zidov, zaradi česar lahko pride do porušitve zgornjih nadstropij. Če se zidovi povežejo, se stavba odzove na potres kot celovita konstrukcija, čeprav leseni stropi niso zamenjani s togimi armiranobetonskimi diafragmami. Rezultati raziskav so dali tudi podatke za dimenzioniranje jeklenih zidnih vezi. Ugotovljeno je bilo, da se pri nihanju zidu pravokotno na ravnino lahko uporabi analogija z armiranobetonsko zidno vezjo (upogib). Profil zidne vezi se izračuna na podlagi predpostavke, da se med nihanjem ustvari armiran upogibni nosilec, katerega statična višina je enaka debelini zidu, obremenitev pa predstavljajo enakomerno porazdeljene vztrajnostne sile, ki nastanejo v višini stropa, kjer leži vez. Za oceno obtežbe se upoštevata pospešek v višini stropa in pripadajoča masa zidu (polovica višine etaže pod vezjo in polovica nad njo).

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

Laboratorijske preiskave in potresi so že dokazali učinkovitost utrjevanja kamnitih zidov z injektiranjem. Pri prvih posegih je bil suhi del injekcijske mešanice sestavljen iz 90 % portlandskega cementa in 10 % opalske breče, dodane za doseganje ustrezne plastičnosti med injektiranjem (injektabilnosti). Kmalu se je izkazalo, da se po injektiranju s takšno mešanico neprijetno poveča vlažnost zidovja, kar je posledica kapilarne aktivnosti otrdele cemente mase. Medtem ko so razpoke in votline v osnovnem zidu delovale kot pregrada in preprečevale širjenje vlage po zidovju, predstavlja otrdeli cement kapilarno močno aktivno snov. Da bi preprečili kasnejše nabiranje vlage na površini injektiranega zidu, se mešanici dodajajo različni dodatki za higrofobiranje, kar pa precej zmanjša trdnost osnovne cementne mase. Da bi ugotovili, v kolikšni meri zmanjšana trdnost injekcijske mase vpliva na potresno odpornost zainjektiranega zidu, je Raziskovalna skupnost Slovenije financirala raziskovalni projekt, v okviru katerega je Zavod primerjal obnašanje večjega števila kamnitih zidov, sezidanih v laboratoriju in utrjenih z injektiranjem mešanic različne sestave in trdnosti. Preiskave so bile izvedene z napravo za ciklične strižne preiskave, njihovi rezultati pa so bili presenetljivi, saj niso pokazali praktično nobenega vpliva trdnosti injekcijske mase na potresno odpornost injektiranih zidov. Izid preiskav se da razložiti s tem, da injekcijska masa zagotavlja samo homogeno delovanje zidovja, tako da zlepi posamezne, z votlinami ločene dele zidu in prepreči razslojevanje. Njena vloga je podobna kot vloga zidnih vezi pri zidani konstrukciji. Injekcijska masa ne more utrditi obstoječega materiala, preko katerega se sicer prenašajo strižne obremenitve, nastale med potresom.

Raziskava je pokazala, da je mogoče večji ali manjši del cementa v injekcijski mešanici zamenjati z inertnimi materiali, lahko tudi z apnom, in tako narediti mešanico, ki po injektiranju ne bo imela neugodnih stranskih učinkov (povečanje vlažnosti, izločanje soli iz zidovja), ne da bi pri tem trpela dosegljiva nosilnost zidovja. Tako se lahko načrtuje tudi takšna sestava mešanice, ki bo ustrezala zahtevam spomeniškega varstva in s katero se bo lahko injektiralo tudi poslikano zidovje. Seveda je treba mešanico prilagoditi sestavi zidovja in ji zagotoviti injektabilnost, tj. sposobnost, da vezivo med vtiskanjem zalije vse votline ter da se delci veziva ne odfiltrirajo na začetku vstopanja v zid, v globino pa se izcedi samo voda. Ustrezno sestavo je treba vsakokrat preveriti s preiskavami.



A 150%

Obdobje od 1996 do danes

Krizni časi gradbeništva, reorganizacija in prestrukturiranje ZRMK niso toliko posegli v delo in kader laboratorija in oddelka, pač pa so za nekaj časa ustavili posodabljanje raziskovalne opreme. To je ponovno zaživel šele z ustanovitvijo in samostojnostjo ZAG. Čeprav je bilo na uresničitev nekaterih pobud strateškega značaja tudi v novem Zavodu treba čakati skoraj 20 let (prva resna ideja o izgradnji prizidka je prišla na mizo znanstvenega sveta že pred skoraj dvajsetimi leti, deset let pa je minilo, odkar je bila izdelana prva projektna dokumentacija in pridobljeno gradbeno dovoljenje), je ZAG z velikim razumevanjem upravnega odbora in ustanovitelja uspešno nadoknadil zamujeno. Tako se tudi Laboratorij za konstrukcije danes lahko pohvali z najsodobnejšo raziskovalno in preizkuševalno opremo. Popolnoma nova potresna miza omogoča zelo natančno ponazoritev poljubnega gibanja tal. Zmogljivost mize je sicer podvojena, a je še vedno skromna, natančnost vodenja pa omogočajo natančno mehansko vodenje, predvsem pa zmogljivejši hidravlični agregati in doma razvita programska oprema za krmiljenje. Nabava palete programskih batov različnih zmogljivosti, povečanje moči tlačnih agregatov in izgradnja sistema za povezovanje omogočajo izvedbo več preiskav hkrati. Medtem ko je potresna miza kljub večji zmogljivosti še vedno primerna le za preiskave modelov konstrukcij, pa oporna stena, ki je sestavni del laboratorijskega prizidka, omogoča preizkušanje manjših konstrukcij celo v naravnem merilu. Nova oprema omogoča tudi izvedbo strižnih cikličnih preiskav zidov pri poljubno kontroliranih robnih pogojih. Najsodobnejša merilna oprema z digitalnim optičnim merilnim sistemom, ki omogoča brezkontaktno meritve pomikov, ter sistemom za zajemanje in obdelavo podatkov omogoča meritve poljubnih fizikalnih veličin na poljubnih mestih. Če je bila pred leti težava, na katere dele preiskane

konstrukcije namestiti merilnike, je danes večji problem, katere podatke izmed množice izmerjenih iz vrednotiti in analizirati. Visoki tehnologiji današnje opreme se je prilagodila tudi struktura kadra v laboratoriju.

Spremenil se je sistem financiranja raziskovalne dejavnosti, ki je javnim raziskovalnim zavodom omogočil, da večji del sredstev dobijo preko večletnih raziskovalnih programov, manjši del pa s financiranjem raziskovalnih projektov. V obeh primerih, predvsem pa pri kandidiranju za raziskovalne projekte, je konkurenca huda in možnost za uspeh majhna. Žal so danes v obeh primerih za pridobitev sredstev za raziskovanje bolj kot vsebina predloga pomembne reference iz preteklega obdobja.

S približevanjem Slovenije Evropski uniji in kasnejšim članstvom v Uniji se je tudi mednarodno sodelovanje na področju potresnega inženirstva v veliki meri preselilo v Evropo, predvsem v sosednjo Italijo. Z usmeritvijo evropskih okvirnih programov v visoko tehnologijo je bilo čedalje manj prostora in sredstev za financiranje klasičnih gradbeniških problemov potresnega inženirstva. Če so se pred leti raziskave, financirane z evropskimi sredstvi, dale »pobarvati« z varstvom in ohranitvijo kulturne dediščine, danes niti raziskave možnosti uporabe sodobnih sintetičnih materialov v potresnem inženirstvu niso dovolj zanimive. Še manj so seveda zanimive »starodobne« zidane konstrukcije, čeprav problemov, ki bi jih še morali raziskati, in vprašanj, ki še čakajo na odgovor, nikoli ne zmanjka.

K sreči se je v zadnjem obdobju, še posebej pred zadnjo gospodarsko krizo, povečala pripravljenost opearske in druge industrije gradbenih materialov, da pred prodorom na trg razišče, kako se konstrukcije, zgrajene z njihovimi materiali, obnašajo med potre-



som. K raziskavam so jih spodbudili tudi na novo uveljavljeni evrokodi, standardi za projektiranje stavb, katerih uporaba je bila v Sloveniji kot prvi državi članici EU predpisana kot obvezna v začetku leta 2008. Na podlagi referenc in ugleda Zavodovih raziskovalcev je bilo v zadnjem obdobju kar nekaj pomembnih raziskav financiranih s strani tuje oziroma domače industrije v tuji lasti. Pri pogoju, da so bile raziskave zasnovane tako, da so bili rezultati lahko vključeni v domače raziskovalne programe in projekte, je bila tudi cena za financiranje sprejemljiva.

Kot da bi vedela, da Slovenijo v bližnji prihodnosti čakajo novi potresi, je Uprava za zaščito in reševanje v letih 1995–1997 financirala raziskovalni projekt Potresna ogroženost in varstvo pred potresi, katerega koordinacijo je poverila zavodu. V okviru projekta, v katerem so sodelovali ZAG, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo ter Geografski inštitut Antona Melika pri Znanstvenoraziskovalnem centru SAZU, je ZAG pripravil osnutek strategije varstva in priporočila za ocenjevanje uporabnosti po potresu poškodovanih stavb. Na podlagi priporočil je pripravil tudi priročnik, ki je bil po naključju pripravljen za tisk prav na dan potresa, ki je prizadel Posočje leta 1998. Prva izmed sodelujočih institucij je pripravila orodja za hitro oceno potresne ranljivosti stavb in mostov, druga pa katalog objektov in preliminarno oceno ogroženosti.

Zaradi statusa javnega raziskovalnega zavoda ZAG pri odpravi posledic potresa ni mogel sodelovati v enakem obsegu kot v preteklem obdobju. Zato je sodeloval le pri izobraževanju projektantov in izvedel nekatere eksperimentalne raziskave, s katerimi je ugotovil projektne parametre, ki so jih pri projektih utrditve hiš uporabljali projektanti. Po ponovljenem potresu leta 2004 je za Ministrstvo za okolje in prostor izdelal analizo vzrokov za nastanek ponovnih poškodb, kasneje pa izvajal neodvisni strokovni nadzor nad obnovo območja. Ironično je, da danes slovenske strokovnjake izobražujejo italijanski, ki vodijo evropski projekt, ki naj bi poenotil metodologijo in ukrepe po potresih v EU in v katerem med drugimi sodeluje slovenska Civilna zaščita.

Čeprav je bilo že v preteklem obdobju osvetljenih nekaj problemov potresno odporne projektiranja zidanih konstrukcij, so priprava na uvajanje evrokodov, popravki nekaterih zgrešenih določil in izbira nacionalnih parametrov zahtevali dodatne raziskave. Bolj kot raziskave za eksperimentalno podprto projektiranje lahko raziskave na področju potresne odpornosti zidanih konstrukcij v zadnjem obdobju s skupnim imenom imenujemo raziskave za uvajanje evrokodov. Eksperimentalno preverjanje obnašanja pri potresu zahtevajo tudi številni novi materiali in tehnologije zidanja, ki so bile razvite predvsem za doseganje energetske učinkovitosti stavb. Ker so bile te tehnologije razvite večinoma na območjih, kjer ni pričakovati potresov, je bilo treba njihovo uporabnost na potresnih območjih še preveriti. Evrokod 6 kot osnovni standard za projektiranje zidanih konstrukcij njihove uporabe ne omejuje, Evrokod 8, ki osnovni standard dopolnjuje z dodatnimi določili, pa za kredibilno omejitev nima vedno eksperimentalne podlage.

Tudi na področju varstva arhitekturne dediščine in protipotresnega utrjevanja starih zidanih stavb se uvajajo nove tehnološke rešitve, ki temeljijo na uporabi sodobnih sintetičnih materialov, predvsem epoksidov in z vlakni ojačenih polimerov. Če se je primernost rešitev pri armiranobetonskih konstrukcijah že izkazala, pa je bilo eksperimentalnih

raziskav za možnost uporabe teh rešitev pri zidanih konstrukcijah še zelo malo. Tudi na tem področju je zavod v zadnjem času opravil pomembno delo.

Eksperimentalne raziskave za uvajanje evrokodov

Najpomembnejša vprašanja, na katera je bilo treba odgovoriti z eksperimentalnimi raziskavami in s katerimi so se raziskovalci ZAG ukvarjali v zadnjem obdobju, so bila:

- kateri način zapolnitve navpičnih reg je primeren za zidanje na potresnih območjih;
- kako definirati oziroma izbrati parameter, ki bo določal mejo »ustrezne robustnosti zidaka«;
- raziskati obnašanje stavb, sezidanih iz lahkega aeriranega betona nizke trdnosti, pri potresni obtežbi in ugotoviti, če je material, ki ima trdnost nižjo od splošne omejitve, primeren za gradnjo na potresnih območjih;
- katere vrednosti faktorja obnašanja konstrukcije upoštevati pri preverjanju potresne odpornosti posameznih sistemov zidanja;
- kako računati strižno odpornost zidu.

Novi sistemi zaradi poenostavitve zidanja in energetske učinkovitosti zidovja (toplotni mostovi) opuščajo zidanje s klasično malto, ki je v evrokodih imenovana »malta za splošno uporabo«. Danes se zida z zidaki z brušeno naležno površino, v naležnih regah se uporabljajo tankoslojna malta ali druga veziva, kot je npr. poliuretansko lepilo, navpične rege pa so le delno zapolnjene ali pa se zidaki suho stikajo na pero in utor. Ker Evrokod 6 takšne zidarske zveze dopušča, na potresnih območjih pa je veljalo, da se ne sme zidati, ne da bi bile navpične rege v celoti zapolnjene, so združenja opekarske industrije iz Slovenije, Avstrije, Švice, Nemčije in Italije sofinancirala obsežen program raziskav, katerega cilj je bil raziskati, koliko in če različni načini zapolnitev navpičnih reg vplivajo na obnašanje zidov pri cikličnih obtežbah. Zidovi so bili zaradi primerjave sezidani s sicer enakimi zidaki, ki pa so imeli navpične stikalne površine prilagojene različnim tipom stikanja. Naročniki so želeli imeti podatke o tem, če in v kolikšni meri vrsta stika vpliva na obnašanje zidov pri potresni obtežbi. Da bi bili rezultati raziskave čim bližje realnemu stanju, so bili zidovi sezidani z zidaki, ki so ustrezali neki povprečni obliki in kakovosti zidakov, ki se jih dobi na tržišču, čeprav so obstajali pomisleki glede njihove robustnosti. Da bi zmanjšali vrtenje, so bili zidovi preiskani z razmeroma visoko tlačno predobremenitvijo, od 15 % do 28 % tlačne trdnosti zidovja, kar bi ustrezalo napetostnim pogojem v zidovih tudi večnadstropnih stavb. Preiskave so pokazale, da je bila porušitev zidov sicer tipična strižna z nastankom diagonalnih razpok, vendar je do nje prišlo zaradi krhke porušitve zidakov. Zato sta bili tudi duktilnost zidov in sposobnost sipanja energije razmeroma majhni. Raziskave niso pokazale bistvenih razlik v obnašanju, ki bi jih lahko pripisali različnim načinom zapolnitve navpičnih reg. Kljub posebnosti ugotovljenega mehanizma porušitve so preiskave zidov dale vedeti, da zadržki glede zapolnitve navpičnih reg pri sodobnem načinu zidanja niso potrebni. So pa ponovno opozorile na problem robustnosti tlačno obremenjenih sodobnih opečnih votlakov.

Zakaj so sodobni opečni votlaki krhki? Da bi izboljšali toplotnoizolacijske lastnosti zidovja, je opekarska industrija obliko in material zidakov zasnovala predvsem tako, da bi zidovje ob izkoriščeni nosilnosti ustrezalo tudi današnjim strogim zahtevam glede varčevanja z energijo. Zato so votlaki navadno izdelani iz poroziranih glinenih materialov, ki so že sami po sebi bolj krhki kot navadna opeka, za zadrževanje prehoda toplote pa so izoblikovani z veliko količino votlin, tanko lupino in tankimi vmesnimi stenami. Medtem ko je nosilnost zidovja iz takšnih votlakov na navpično obtežbo navadno ustrezna, se v primeru, da so zidovi ob hkratnih visokih tlačnih obremenitvah izpostavljeni dodatnim upogibom in strigom, ki nastanejo zaradi vodoravnih sil med potresom, votlaki v najbolj obremenjenih delih zidu lahko zdrobijo. Raziskave so pokazale, da je ustrezna robustnost še posebej pomembna v primeru armiranega zidovja, kjer morajo zidaki prevzemati dodatne strižne in tlačne obremenitve, ki so posledica nastalih nateznih sil v armaturi. Lokalna krhka porušitev votlakov zelo neugodno vpliva na kapaciteto duktilnosti in sipanja energije, ki jo mora potresno odporna zidana konstrukcija zagotavljati med potresom. To seveda postavlja pod vprašaj uporabo marsikaterega votlaka, razvitega za zidanje na območjih brez potresne nevarnosti, na območjih, kjer lahko pričakujemo tudi močne potrese.

Da ne bi prišlo do lokalne krhke porušitve votlakov, evropski standard za projektiranje potresno odpornih konstrukcij, Evrokod 8, zahteva, da »morajo biti zidaki dovolj robustni, da se prepreči lokalna krhka porušitev«. Kaj pomeni »dovolj robustni«, tega evrokod ne pove in prepušča nacionalnim dodatkom, da »se lahko izbere tip zidakov po preglednici iz Evrokoda 6 (ta zidake razvršča v skupine po obliki, materialih in namenu), ki ustrezajo zahtevi, da so dovolj robustni«. Takšna odločitev pa nikakor ni preprosta, saj so v preglednici zidaki, ki se uporabljajo za zidanje nosilnih zidov, razvrščeni v dve skupini, pri čemer so v drugi votlaki, pri katerih je območje med najmanjšo in največjo votlavostjo ter največjo in najmanjšo debelino sten zelo veliko.

Da bi ugotovili, kaj vpliva na robustnost, in določili merila za »dovolj robustni«, je bilo pri dveh stopnjah tlačne obremenitve s simulirano potresno obtežbo preiskanih večje število zidov, sezidanih iz šestih vrst zidakov, ki jih je najpogosteje najti na domačem tržišču. Na različne načine, s katerimi so bile ponazorjene obremenitve v zidakih med potresom, so bili preiskani tudi sami zidaki. Čeprav so bile opravljene zelo obsežne preiskave, posebnih mehanskih lastnosti oziroma razmerij med njimi, s katerimi bi lahko določili merilo za »dovolj robustni«, ni bilo mogoče najti. Raziskave so pokazale, da je ključni parameter, od katerega je odvisna robustnost zidakov, velikost razmerja med tlačnimi napetostmi, s katerimi je obremenjen zid, in tlačno trdnostjo zidovja. Zato je bil podan predlog, naj evrokod tlačno obremenitev na potresnih območjih omeji podobno kot pri armiranobetonskih elementih.

Evrokod 8 priporoča vrednost 5 MPa kot minimalno tlačno trdnost, ki jo morajo dosegati zidaki za zidanje stavb na potresnih območjih ne glede na material, iz katerega so izdelani. To vrednost je kot minimalno dopustno privzel tudi slovenski nacionalni dodatek, zato zidanje z zidaki, ki imajo manjšo trdnost, pri nas na potresnih območjih ni dovoljeno. Aerirani celični beton ali porobeton je lahek gradbeni material, ki ima zelo dobre toplotno- in zvočnoizolacijske lastnosti in veliko požarno odpornost. Kljub temu da je



tlačna trdnost zidovja iz porobetona nižja od trdnosti, ki jo dosega opečno zidovje, je dovolj visoka, da se s porobetonom gradijo tudi večnadstropne stavbe. Kot so že pokazali nekateri primeri, je bilo obnašanje stavb iz porobetona tudi med močnimi potresi kljub nizki tlačni trdnosti ustrezno. Glede na to, da je z običajno tehnologijo dosežena tlačna trdnost porobetona nižja od zahtevanih 5 MPa, je korporacija Xella, lastnica tovarn, ki proizvajajo porobeton pri nas, financirala raziskave, s katerimi bi argumentirala ustreznost materiala za zidanje na potresnih območjih in predlog za spremembo določila v ustreznem nacionalnem dodatku. V okviru projekta so bili na potresni mizi preiskani trije modeli, dva modela s po tremi etažami in en štirietažni model, ki so bili sezidani v merilu 1 : 4. Vsi modeli so bili sezidani v sistemu povezanega zidovja, vendar s prilagojeno zasnovo porazdelitve in dimenzij navpičnih zidnih vezi.

Raziskave so pokazale, da je pri potresni obtežbi obnašanje stavb, sezidanih iz porobetona, enakovredno obnašanju stavb iz opečnega zidovja. Na eni strani zaradi majhne mase materiala zidovja v stavbi med projektnim potresom nastanejo manjše potresne sile, na drugi strani pa strižna odpornost zidov, sezidanih iz porobetona, ni bistveno manjša od strižne odpornosti zidov iz opečnih votlakov. Kot kažejo preiskave, opravljene v okviru te študije, so pri nizki tlačni trdnosti zidovja navpične zidne vezi ključni element, ki zagotavlja ustrezno potresno odpornost konstrukcije stavb iz porobetona. Ponovitev preiskav za češko podružnico iste korporacije, za katero je bil poleg večjega števila večjih zidov na potresni mizi preiskan tudi model sicer nižje hiše, vendar v večjem merilu, je dala podobne rezultate. Z njimi je proizvajalec porobetona lahko dodatno argumentiral spremembo zahteve evrokoda glede minimalne dopustne trdnosti zidakov.

Oblika potresne obtežbe in način, kako se preverja potresna odpornost konstrukcije, sta odvisna od pomembnosti in kompleksnosti konstrukcije. Če je zasnova konstrukcije pravilna in po pomembnosti ni uvrščena v najvišjo kategorijo, kar velja za večino zidanih stavb, se račun lahko poenostavi. Naenkrat se upošteva le ena komponenta potresnega gibanja tal in konstrukcija se analizira v vsaki od obeh med seboj pravokotnih smereh posebej. Analiza nelinearnega dinamičnega odziva se nadomesti z ekvivalentno elastično statično analizo, kjer se projektna potresna obtežba izvede na podlagi projektnega spektra odziva z upoštevanjem konstrukcije kot ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo. Projektni spekter se dobi tako, da se ordinate elastičnega spektra zmanjšajo s faktorjem, ki je v evrokodih imenovan »faktor obnašanja konstrukcije q «. V faktorju q je zajeta sposobnost deformacij in sipanja energije, ki konstrukciji kljub pričakovanim poškodbam sicer omejenega obsega še zagotavlja dogovorjeno raven varnosti. Ker je dopustna redukcija elastičnih sil odvisna od materialov in vrste konstrukcije, se faktorji obnašanja q od konstrukcije do konstrukcije lahko precej razlikujejo.

Eksperimentalnih podatkov za oceno faktorjev q za različne sisteme zidanja je zelo malo, zato Evrokod 8 za vsak sistem (nearmirano, povezano in armirano zidovje) podaja vrednosti v določenem intervalu. Evrokod priporoča privzem vrednosti na spodnji meji intervala, če ni dokazov, ki bi argumentirali uporabo večjih vrednosti. Da bi argumentirali možnosti za uporabo večjih vrednosti, je zavod s financiranjem Nemškega združenja za zidano gradnjo (Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau) izvedel serijo preiskav šestih modelov stavb različnih zasnov na potresni mizi, ki so bili sezidani z različnimi materiali

kot navadne ali delno oziroma polno povezane konstrukcije. Raziskave so potrdile predvidevanja, da bi v odvisnosti od sistema zidanja in pravilnosti zasnove ter pri preverjanju potresne odpornosti s potisno metodo, pri kateri se ne pričakuje pomembne rezervne nosilnosti (overstrength), lahko upoštevali vrednosti, ki jih evrokod navaja na zgornji meji priporočenih. Pri tem bi seveda morali preveriti, da pomiki oziroma poškodbe zidov pri teh silah ne sežejo čez določeno mejo. Rezultati raziskav tudi kažejo, da so pri uporabi elastičnih metod preverjanja potresne odpornosti, pri katerih se lahko pričakuje večja rezervna nosilnost konstrukcije, vrednosti na zgornji meji lahko celo konzervativne. Žal ta argument ni zadoščal, da bi slovenski nacionalni dodatek priporočil uporabo vrednosti faktorja q na zgornji meji intervala priporočenih vrednosti.

Strižna odpornost zidu, tj. odpornost pri delovanju vodoravne strižne (prečne) sile v ravnini zidu, se po evrokodu izračuna z enačbo, izpeljano po analogiji trenja, ki je zato primeren le za prestrižni mehanizem porušitve. V evrokodu predpisana enačba ni primeren za račun strižne odpornosti v primeru, ko v zidu kot posledica prevelikih diagonalnih nateznih napetosti nastanejo značilne poševno usmerjene razpoke. To pa je značilen način porušitve nearmiranih in povezanih zidov, na katere v ravnini zidu deluje potresna obtežba.

Da bi argumentirali zahtevo, da se pri preverjanju potresne odpornosti preverijo tudi drugi možni porušni mehanizmi, in ocenili primernost predpisane metode, so bili analizirani rezultati cikličnih strižnih preiskav večjega števila zidov različnih geometrijskih proporcev, ki se bili preiskani pri različnih tlačnih predobremenitvah. Primerjava je pokazala, da tipične enačbe, ki temeljijo bodisi na prestrižnem mehanizmu bodisi na porušitvi zaradi natega v diagonalni smeri, niso kar na splošno veljavne. Rezultati računa z enačbo, ki temelji na mehanizmu porušitve zaradi natega v diagonalni smeri, se pri opečnih slopih običajnih geometrijskih razmerij dobro ujemajo z eksperimentalnimi vrednostmi. Ujemanje je vprašljivo le pri dolgih zidovih, obremenjenih z zelo nizkimi tlačnimi napetostmi. Nasprotno pa izračuni z enačbami, ki temeljijo na strižnem trenju, v primeru zidov, obremenjenih z običajnimi tlačnimi obremenitvami, precenijo dejansko strižno odpornost zidov, z njo se bolje ujemajo pri nizkih tlačnih napetostih. Nelogičnosti se pojavijo tudi pri izračunu potresne odpornosti, ki z upoštevanjem enačbe strižnega trenja ni konstanta veličina, pač pa se zmanjšuje z večanjem računske potresne obtežbe. Predlog, da bi se vsaj v nacionalni dodatek k Evrokodu 6 uvedlo določilo, po katerem bi se odpornost zidu na vodoravne sile v njihovi ravnini ocenila z upoštevanjem vseh možnih porušnih mehanizmov, pri čemer bi se za analizo odpornosti konstrukcije upoštevala najnižja, kritična vrednost, kljub argumentom še ni bil uspešen.

Preprojektiranje konstrukcij in eksperimentalne raziskave učinkov utrjevanja stavb in zidov s sintetičnimi materiali

Tretji del Evrokoda 8 določa zahteve, ki jih je treba upoštevati pri prenovi in utrjevanju obstoječih stavb. Med drugim zahteva, da je treba obstoječim stavbam med prenovno zagotoviti enako stopnjo potresne varnosti kot pri novi gradnji. Pri tem predpiše, kako določiti ključne projektne parametre oziroma katere vrednosti upoštevati pri računskem preverjanju potresne odpornosti. Po določenih standarda se morajo vrednosti, ki se na konkretni stavbi določijo s preiskavo, zmanjšati s t. i. faktorjem zaupanja, ki je odvisen od obsega preiskav (ravni poznavanja konstrukcije), obenem pa je treba upoštevati tudi delni faktor varnosti za materiale, ki je pri sodobnih zidnih materialih odvisen od kontrole kakovosti med proizvodnjo in strogosti nadzora nad samo gradnjo, njegova vrednost pa se giblje v precej širokem razponu. Velja določilo, da se, če podatkov o kontroli ni, privzame največja vrednost, kar v primeru starih stavb pomeni, da se s preiskavo ugotovljene vrednosti zmanjšajo za polovico. Eksperimentalne in parametrične raziskave (primerjava računske odpornosti z dejanskim stanjem po potresih) so pokazale, da tolikšno zmanjšanje računske odpornosti nikakor ni utemeljeno. Zaradi prenizke izračunane potresne odpornosti bi morali stavbo po nepotrebnem utrditi, verjetno z večjimi posegi v konstrukcijo, ki bi pri stavbah arhitekturne kulturne dediščine pomenili grobo kršitev osnovnih načel spomeniškega varstva. Že omenjene preiskave modelov, katerih rezultati so bili kasneje analizirani tudi v ta namen, ter analize stavb, ki so jih prizadeli potresi v zadnjem času, pa so pokazale, da je tudi pri starih hišah kapaciteta deformacij in sipanja energije tolikšna, da se lahko pri določanju računskih potresnih sil upoštevajo običajni redukcijski faktorji, ne da bi njihova ogroženost bistveno odstopala od ogroženosti novih stavb. Analize so tudi pokazale, da je stanje poškodb, ocenjeno brez nepotrebne redukcije vrednosti mehanskih lastnosti materialov, določenih s preiskavo na stavbah, povsem primerljivo s stanjem dejanskih poškodb po potresu. To opravičuje predlog, da se pri preverjanju potresne odpornosti obstoječih hiš opusti nepotrebna redukcija s preiskavo ugotovljenih vrednosti mehanskih lastnosti z delnim faktorjem varnosti. Zadostuje redukcija s »faktorjem zaupanja« na podlagi obsega opravljenih preiskav, tj. redukcija v odvisnosti od poznavanja konstrukcije.

V zadnjem času številni proizvajalci ponujajo različne inovativne rešitve utrjevanja starih zidanih stavb, ki večinoma temeljijo na uporabi sintetičnih materialov. Resnejši proizvajalci svoje predloge poskušajo preveriti tudi z eksperimentalnimi raziskavami. Večinoma gre za utrjevanje z naknadnim armiranjem zidovja po zgledu utrjevanja armiranobetonskih konstrukcij, kjer je eksperimentalnih dokazov o učinkovitosti uporabe z vlakni ojačenih polimerov že precej. Nedavne eksperimentalne raziskave so pokazale, da bi se dalo jeklene vezi nadomestiti s trakovi iz polimernih laminatov, ojačenih z ogljikovimi vlakni. Na modelih, ki so bili preiskani na potresni mizi, je bilo ugotovljeno, da tak način utrditve stavbo poveže in utrdi. Ker polimerni trakovi niso bili ustrezno modelirani, so preiskave le nakazale, da bi bila takšna tehnična rešitev lahko zelo učinkovita. Pred uporabo v praksi bo treba predvsem pri kamnitih hišah rešiti še marsikateri tehnološki problem, povezan s prijemnostjo in učinkovitostjo sidranjem materialov, ki se po mehanskih lastnostih med seboj močno razlikujejo. Po rezultatih preiskave sodeč bi bilo mogoče potresno odpornost tako utrjene stavbe tudi več kot podvojiti. V sodelovanju in s sofinanciranjem korporacije Sika iz Švice je bil v zadnjih letih izpeljan tudi obsežen program eksperimentalnih raziskav

možnosti utrjevanja opečnih in kamnitih zidov z oblogami, armiranimi s polimeri in ojačenimi s karbonskimi ali steklenimi vlakni. Del preiskav zunaj programa je bil izveden tudi na zidovih opečne zidane stavbe, sezidane med obema svetovnjima vojnoma, ki je bila kasneje porušena.

Kot matrični material je bila pri armiranju z mrežo uporabljena z vlakni ojačena cementna malta z nizkim modulom elastičnosti, pri armiranju s tkanino pa epoksidna smola. Na opečnih zidovih je bil preverjen tudi učinek karbonskih lamel, nalepljenih na zid z epoksidno smolo, ki so se izkazale kot možna učinkovita rešitev pri povezovanju zidovja. Pri opečnih zidovih je bil porušni mehanizem v vseh primerih strižnega tipa, njegova značilnost pa je bila delaminacija obloge, ki se je odtrgala od zidovja in izklonila takoj po nastanku poškodb v zidovju in skrčenju zidovja pri ponovljenih obremenitvah z vodoravno obtežbo. Zaradi delaminacije obloge je prišlo do hipnega upada odpornosti in togosti, kar je praktično pomenilo porušitev zidov. Preiskave so pokazale, da obloge s kompozitnimi materiali v večini primerov povečajo togost in odpornost, le malo pa izboljšajo deformacijsko kapaciteto opečnih zidov. Preiskave so tudi pokazale, da je za učinkovitost oblog, katerih mehanske lastnosti so bistveno boljše od lastnosti zidovja, ključno ustrezno sidranje oblog v zidovje. Čeprav po priporočilih RILEM izvedene preiskave sprijemnosti med oblogo in opečnim zidovjem ne kažejo tako, saj se prej strga polimerna armatura kot pa poruši sprijemnost med oblogo in zidaki, je pri zidovih pri cikličnem obremenjevanju z vodoravno obtežbo drugače. Pri potresu se od zidu obenem z oblogo odtrga tudi del zidu. Kako se bo v prihodnje ugotavljala dejanska, efektivna sprijemnost obloge z zidovjem pri cikličnih obremenitvah, da bi se v računskih modelih lahko upoštevale pravilne vrednosti, je na podlagi teh ugotovitev še stvar razprave in raziskav v prihodnosti. Proti pričakovanjem je bil učinek utrjevanja na podoben način utrjenih kamnitih zidov večji. Preiskave so pokazale opazno, tudi štirikratno povečanje odpornosti utrjenih zidov v primerjavi z referenčnimi, neutrjenimi zidovi. Stopnja povečanja odpornosti ni bila toliko odvisna od tipa obloge kot od tehnologije nanašanja. Kot so pokazali rezultati preiskav, je oblaganje izboljšalo tudi sposobnost deformiranja in sipanja energije, vendar je hkrati povečalo togost zidov. Tudi v tem primeru je ustrezno sidranje obloge ključno, mehanizem porušitve, pri kateri je, podobno kot pri neutrjenih zidovi, prišlo do razslojevanja zidov, pa kaže, da bi se učinek oblaganja verjetno še povečal, če bi bili oblogi na obeh straneh zidov medsebojno povezani.

Tudi terenske preiskave zidov so pokazale učinkovitost sodobnih tehnologij utrjevanja. Pred utrditvijo in po njej sta bila preiskana dva zidova, utrjena s tremi pasovi karbonske tkanine v epoksidni podlagi, s katerimi sta bila zidova ovita, in s pasovi tkanine, nalepljenimi v obeh diagonalnih smereh na zgornji in spodnji polovici zidu. Diagonalni pasovi so bili pri notranjem, z navpično obtežbo bolj obremenjenem zidu nalepljeni na obeh straneh zidu, medtem ko so bili pri zunanjem, manj obremenjenem zidu nalepljeni samo na notranji strani zidu. Tudi v tem primeru je bilo povečanje odpornosti veliko, proti pričakovanju pa je bilo večje pri zidu z enostransko diagonalno nalepljenimi pasovi tkanine. Oba zidova sta bila po utrditvi tako toga in močna, da je bilo treba preiskavo zaradi nastajajočih poškodb stropnega dela stavbe prekiniti pred nastankom resnejših poškodb v zidu. V primerjavi z rezultati laboratorijskih preiskav je bilo očitno, da je ovitje zidov s tovrstnimi oblogami najučinkovitejša rešitev. Raziskave utrjevanja zidov s sodobnimi materiali se nadaljujejo tudi v povezavi s Tehnološko univerzo v Krakovu na Poljskem.

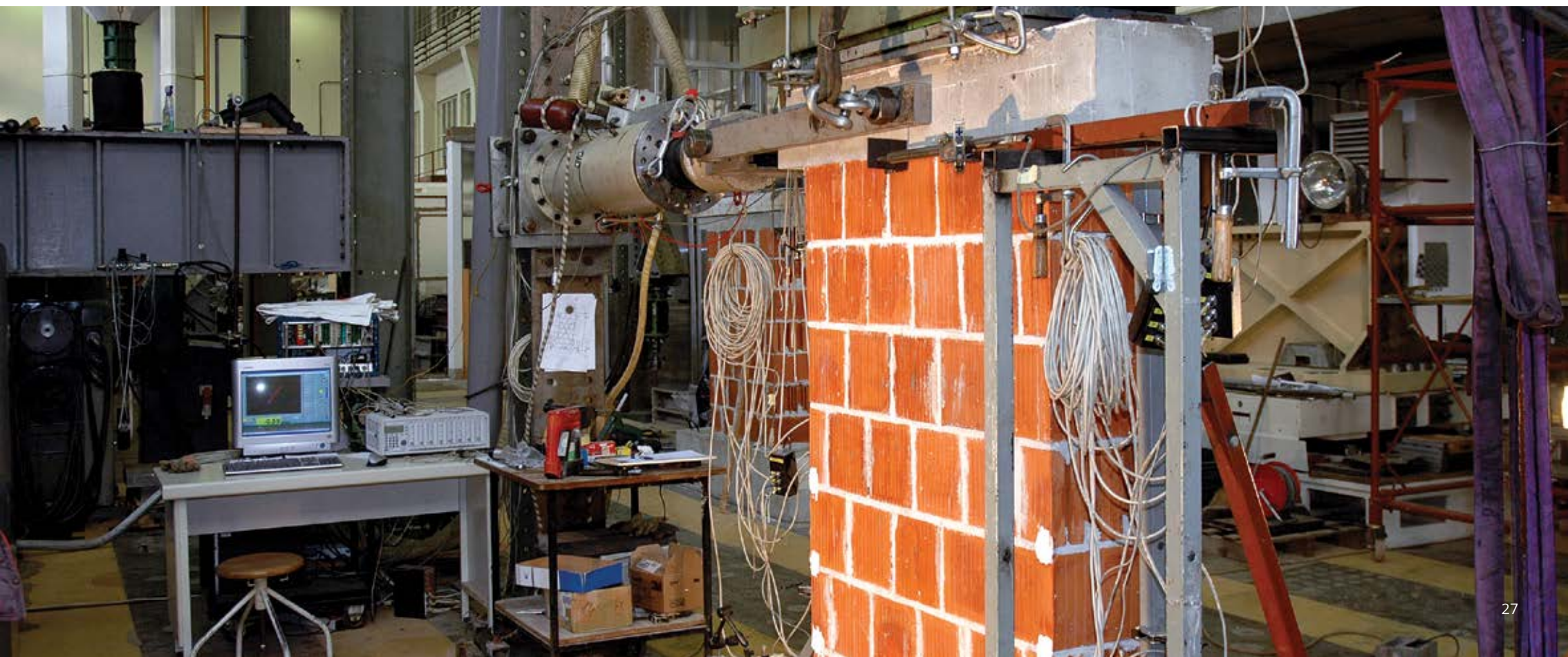
Namesto sklepa

Čeprav je poskušal biti kar se da faktografski, je prispevek kljub vsemu osebni pogled avtorja, ki je z laboratorijem preživel že več kot 48 let, na dosežke raziskovalcev, ki so svoje eksperimentalne raziskave opravljali v zavodovem Laboratoriju za konstrukcije. Kot je bilo že omenjeno, v prispevku ni opisano vse, kar bi se morda komu drugemu zdelo omembe vredno. Zaradi zasnove publikacije niti ni navedbe tistih najbolj značilnih objav, izbora izmed najbrž precej več kot 500 del, ki podrobno opisujejo navedene dosežke.

Ob tej priliki tudi ne bi naštevali nagrad in priznanj, ki so jih za svoja raziskovalna prizadevanja in dosežke dobili raziskovalci; bilo jih je kar nekaj, od državnih odlikovanj, občinskih priznanj in priznanj domačih strokovnih organizacij pa do mednarodnih nagrad in priznanj za raziskovalne dosežke in delo na področju odprave posledic potresov, ki so bili cenjeni tudi v tujini. Brez požrtvovalnih strokovnih sodelavcev v laboratoriju, ki jih je bilo v celotnem obdobju kar nekaj, vsega storjenega in opisanega v tem prispevku ne bi bilo. Brez raziskovalcev in strokovnih sodelavcev v laboratoriju tudi ne bi bilo knjige o potresno odpornih zidanih stavbah, v kateri je povzeto raziskovalno delo zavoda in ki je izšla pri eni najuglednejših mednarodnih založb. Knjiga je bila prevedena v grščino in jo kot koristno branje priporoča več tujih univerz, ki imajo v učnem programu zidane konstrukcije, letos pa je od tuje založbe prišlo vabilo, da je čas za njeno posodobitev in drugo izdajo. Seveda je, predelana in posodobljena, pred nekaj leti izšla tudi v slovenščini.

Avtor ima srečo, da lahko opazuje pri delu mlado, visoko izobraženo generacijo raziskovalcev. Prepričan je, da bo z voljo in idejami pa tudi z medsebojnim zaupanjem in sodelovanjem več kot uspešno nadaljevala delo predhodnikov.

slika: Nanos obtežbe med strižno preiskavo zidu



Raziskovalne zmogljivosti Laboratorija za konstrukcije

dr. Uroš Bohinc

Laboratorij za konstrukcije je v več pogledih med največjimi laboratoriji ZAG: tako po številu zaposlenih kot po vrednosti raziskovalne opreme in ne nazadnje po velikosti vzorcev, na katerih izvaja preskušanja. Svojo dejavnost neprekinjeno opravlja že več kot pol stoletja. V tem času je bilo v laboratoriju opravljenega veliko svetovno priznanega raziskovalnega dela, kar brez vrhunske merilne opreme in vrhunsko usposobljenega tehničnega osebja ne bi bilo mogoče. Prav nenehno izpopolnjevanje ter dopolnjevanje preskusne in merilne opreme skupaj z neprestanim izobraževanjem in usposabljanjem kadra zagotavlja, da je kakovost opravljenih raziskav vedno na najvišji ravni in primerljiva z najboljšimi svetovnimi laboratoriji. Posodabljanju in uvajanju vedno zahtevnejše opreme sledi tudi ekipa laboratorija, ki je danes izrazito interdisciplinarna, saj jo sestavljajo strokovnjaki različnih tehniških strok: od gradbeništva, strojništva, elektrotehnike do fizike. Uvajanje novih mladih in visoko motiviranih sodelavcev ter prenos znanja in izkušenj med generacijami sta ustvarila vrhunsko strokovno delovno skupino, ki je sposobna izvajati raziskave na različnih področjih. V nadaljevanju je kratek opis ključnih raziskovalnih zmogljivosti.

Strojna oprema - trden temelj raziskovalnega dela

Predmet preiskav Laboratorija za konstrukcije so različni gradbeniški konstrukcijski ter strojni elementi, ki se praviloma preizkušajo glede mehanskih, po naravi običajno zelo različnih obremenitev. Obremenitve so lahko točkovne ali površinske, statične ali dinamične ter pri različni ali celo spremenljivi temperaturi. Izredno širok je tudi razpon velikosti preizkušancev, saj se meritve izvajajo na preizkušancih, ki so veliki nekaj centimetrov, do delov konstrukcij, ki lahko presegajo deset metrov. Pri izvajanju mehanskih preiskav večjih konstrukcijskih elementov je ključni del infrastrukture vpenjalni temelj, ki predstavlja sidrišče za preizkušance oz. platformo, na kateri lahko gradimo praktično poljubna preskuševališča iz jeklenih nosilnih elementov. Vpenjalni temelj je 1 m debela armiranobetonska plošča, ki v tlorisu meri 10 m x 10 m z rastrom sidrišč na razdalji 1,2 m. Poleg temelja so v laboratoriju tudi dodatna sidrišča, ki omogočajo preskušanje vzorcev, ki presegajo 10 m dolžine. Pred nedavnim je bil v okviru rekonstrukcije prizidka k preskusni hali vpenjalni temelj nadgrajen z armiranobetonsko reakcijsko steno dolžine 6 in višine 7 m, ki znatno razširja preskuševalne zmogljivosti. Te so bile pred tem omejene zlasti s tem, da so bili jekleni oporni okviri preveč podajni pri vnašanju sil na višini. Postavitev masivne reakcijske stene prvič omogoča izvajanje preskusov večjih konstrukcijskih elementov v naravnem merilu in tako predstavlja velik potencial pri razvoju raziskav večetažnih armiranobetonskih, jeklenih, lesenih in zidanih konstrukcij. Nova reakcijska stena bo zaradi velike togosti in mase omogočala tudi kakovostno vpetje za visokofrekvenčne obremenitve, ki se med drugim pojavljajo pri krmiljenju potresne mize. V preskusni hali namreč že vrsto let deluje enokomponentna potresna miza, kjer se izvajajo preiskave manjših konstrukcijskih elementov do mase 5 t z dinamično obremenitvijo. Toga opora razširja frekvenčno območje gibanja potresne mize do 50 Hz, s čimer postaja primerna tudi za izvajanje standardiziranih preskusov odpornosti proti vibracijam.

Za izvedbo obremenjevanja je na voljo kompleksen servohidravlični sistem, ki je bil v okviru rekonstrukcije prizidka k preskusni hali temeljito posodobljen. Sestavljajo ga tri hidrav-

lične črpalke različnih zmogljivosti, ki lahko delujejo bodisi ločeno ali združeno. Tovrstna prilagodljivost je pomembna, saj lahko na tak način ekonomično izvajamo preiskave različnih tipov, katerih potreba po pretoku olja se lahko močno razlikuje. Popolno prilagodljivost servohidravličnega sistema, s katerim je mogoče hkrati krmiliti do 8 hidravličnih batov, zagotavlja najsodobnejši krmilnik podjetja MTS. Na servohidravlični sistem priklapljamo različne hidravlične bate, ki se razlikujejo predvsem po zmogljivosti obremenitve in pomiku. Opremljeni so s kakovostnimi in odzivnimi servoventili, ki pri najvišjih obremenitvah omogočajo hitrost giba do enega metra na sekundo. Nova hidravlična bata kapacitete 250 kN in 500 kN sta že opremljena s členkastim vpetjem, kar omogoča izvajanje zahtevnejših preiskav, kjer se prijemališče sile med obremenjevanjem lahko premika in suka. Sodobna krmilna elektronika in dodatni bati so zagotovilo za natančno izvedbo zahtevnih obremenilnih shem. Te se običajno pojavljajo pri preskušanju strojnih delov, ki so podvrženi velikim dinamičnim obremenitvam v več oseh hkrati. Podobno zahtevne preskuševalne zmogljivosti je moč srečati le v avtomobilski in letalski industriji. V laboratoriju deluje več univerzalnih preskusnih strojev, s katerimi se izvajajo različne mehanske preiskave manjših konstrukcijskih elementov. Tovrstne preiskave so pomembne predvsem pri raziskovanju mehanskih lastnosti novih gradbenih materialov. Med največje preskusne stroje svoje vrste v tem delu Evrope spada preskusni stroj ZWICK z zmogljivostjo 2500 kN, s katerim je mogoče preskušati tudi vzorce, pri katerih so potrebne izjemno velike sile. Poleg vrste manjših preskusnih strojev, ki omogočajo nadzorovano enosno obremenjevanje s predpisanim časovnim potekom, velja omeniti še zadnje pridobitev: preskusni stroj MTS Bio-nix. Njegova posebnost je zmogljivost hkratne osne in torzijske obremenitve, kar ponuja povsem nove raziskovalne možnosti. Te se odpirajo zlasti na področju razvoja materialnih modelov, ki jih je mogoče validirati le z ustreznimi preskusi, ki so sposobni simulirati kompleksne deformacijske oblike. Raziskovalni potencial novega preskusnega stroja pa ni omejen le na konvencionalna področja, saj so kombinirane osno-torzijske obremenitve denimo predmet obsežnih raziskav veje biomehanike, ki se ukvarja z nadomestnimi protezami. Novemu preskusnemu stroju potencial dodatno dviguje temperaturna komora, s katero lahko izvajamo preskuse v temperaturnem območju od -70 °C do +350 °C.

Sodobni merilni postopki odpirajo nov pogled in nudijo nove raziskovalne možnosti

Stereofotogrametrija je metoda, znana že več kot 150 let, vendar šele v zadnjih letih doživlja silovit razvoj, ki je povezan zlasti z razvojem naprednih algoritmov za računalniško obdelavo slik in večjo zmogljivostjo računalnikov. Tako smo tudi v Laboratoriju za konstrukcije že pred leti začeli uvajati računalniško podprte optične metode za meritev pomika. Komerčni optični merilni sistem GOM Aramis 5M smo takoj začeli uporabljati pri vsakodnevnem delu, rezultati meritev pa predstavljajo velik napredek tudi za raziskovalno delo, saj ponujajo neprimerljivo večjo kakovost rezultatov in nov pogled na marsikateri problem.

Optične merilne metode omogočajo brezkontaktno meritev pomika v treh razsežnostih. Pred konvencionalnimi metodami merjenja pomika imajo več izrazitih prednosti: meritev poteka v treh razsežnostih, hkrati pa je mogoče meriti pomike množice točk na površini,



iz česar lahko določimo polje pomikov po celi površini vzorca. To je izhodišče za izračun polja deformacij, ki omogoča močan uvid v notranje mehanizme preiskovanega elementa. Tovrstne zmogljivosti so cenjene zlasti na področjih, kjer ni dovolj numerična napoved območij morebitnih koncentracij napetosti, temveč jih je treba potrditi s preskusi. Taki primeri so predvsem pri ključnih močno obremenjenih konstrukcijskih elementih, npr. nosilcih motorjev ali spojin elementih. Ob vseh prednostih ne gre spregledati znatno hitrejšega in lažjega upravljanja s čimer z enakim vložkom časa in truda pridobimo več informacij, relevantnih za raziskave. Nakup novega optičnega merilnega sistema, opremljenega s hitrima kamerama, ki sta sposobni zajeti 4000 slik na sekundo pri polni ločljivosti, pomeni pomembno razširitev raziskovalnega potenciala v območje hitrih obremenitev. Raziskovanje hitrih mehanskih pojavov je bilo doslej namreč zelo omejeno predvsem v smislu težavnega izvajanja meritev. Nakup novega optičnega merilnega sistema za raziskovanje hitrih obremenitev, ki npr. nastajajo pri udarcih, trkih ali eksplozijah, ponuja številne priložnosti za preiskave, ki so doslej veljale za neizvedljive.

Neporušne metode so se uveljavile kot močno orodje za določanje stanja obstoječih gradbenih konstrukcij. Nepogrešljive so zlasti pri ocenjevanju starejših zaščitenih objektov, kjer porušnih preiskav iz različnih vzrokov ni smiselno ali dovoljeno izvajati. Področje neporušnih preiskav je izredno široko in vključuje raznovrstne metode, od ultrazvočnih metod do preiskav z elektromagnetnim valovanjem. V Laboratoriju za konstrukcije je bila vrednost neporušnih metod prepoznana že zgodaj, zato je bilo v zadnjih letih v redno delo uvedenih več novih metod. Poleg že uveljavljenih metod zaznavanja armature preko feromagnetnega učinka, sklerometričnega določanja trdnosti betona ter zaznavanja napak jeklenih žičnih vrvi z magnetno induktivno metodo sta bila v redno prakso uvedena zaznavanje nepravilnosti s pomočjo radarskega odmeva (t. i. »georadar«) in meritev betonskih elementov s pomočjo ultrazvočnega sondiranja ter po metodi odmeva po udarcu (»impact echo«). Ker se področje hitro razvija, v laboratoriju načrtujemo nove posodobitve in nadgradnje, s čimer bomo ohranili stik z vodilnimi laboratoriji.

Vizija razvoja

Razvoj laboratorija se prilagaja zlasti raziskovalnim potrebam ZAG in naših naročnikov. Te z leti postajajo vedno bolj interdisciplinarne, saj vključujejo različna področja od toplotnih do mehanskih obremenitev, po velikosti vzorcev pa od mikrostrukture do preizkušancev v naravni velikosti. Problemi, s katerimi se ukvarjamo, so lahko gradbeniški, strojniški, mehanski, geomehanski, raziskovalni ali industrijski, saj so čedalje pogostejši projekti in naloge, ki vključujejo več raziskovalnih področij.

Zadnja posodobitev raziskovalnih zmogljivosti laboratorija, v okviru katere je bil v celoti prenovljen prizidek k preskusni hali, zgrajena nova reakcijska stena, posodobljen in nadgrajen servohidraulični sistem, kupljena sta bila nov preskusni stroj s kombinirano osno-torzijsko obremenitvijo ter nov optični merilni sistem s hitrimi kamerami, dokazuje zavezo k prihodnjemu razvoju laboratorija in cilju postati vodilni laboratorij te vrste v širši regiji. Raznolika in sodobna raziskovalna infrastruktura ter vrhunsko usposobljen kader sta zagotovilo, da bo Laboratorij za konstrukcije tudi v prihodnje sposoben izpolnjevati svoje poslanstvo.

Predstavitev enot ZAG



Laboratorij za betone, kamen in reciklirane materiale

Laboratorij za betone, kamen in reciklirane materiale je nastal leta 2013 z združitvijo Laboratorija za beton in Laboratorija za kamen in agregat z namenom zagotoviti komplementarnost dobrih praks, izkušenj in znanja na področju preiskav teh materialov. V laboratoriju je trenutno 18 zaposlenih. Jedro laboratorija je interdisciplinarna ekipa s področja gradbeništva, geologije in kemijske tehnologije.

Dejavnosti

- Kontrola kakovosti betona, betonskih proizvodov in drugih cementnih kompozitov ter kontrola kakovosti izvedbe betonarskih del
- Preiskave in preskušanje betona, agregata, kamna in recikliranih materialov iz odpadkov
- Okoljski inženiring
- Presoja okoljskih vplivov recikliranih materialov z uporabo analize življenjskega cikla (metoda LCA)
- Mineraloške analize (vsebnost azbesta)
- Strokovne ocene, mnenja, nadzori, pregledi

Raziskave in razvoj

- Remediacija onesnaženih zemljin in vode
- Implementacija recikliranih odpadkov v gradbene proizvode in konstrukcije
- Raziskave s področja posebnih betonov in drugih cementnih kompozitov (samozgoščevalni, mikroarmirani, visokovredni betoni)
- Razvoj novih kamnitih površin, odpornih proti nastanku madežev in biokorozije
- Raziskave materialov na objektih kulturne dediščine in njihovi vplivi na okolje

Pomembnejša oprema

- Računalniški mikrotomograf z okoljsko komoro
- Sistem za rentgensko difrakcijo
- Mikroskopi (elektronski, optični, konfokalni)
- Porožimeter in analizator zrnivosti
- Komore za simulacijo vplivov okolja
- Programsko orodje AVIZO (FEI) za 3D-slikovno analizo
- Programsko orodje GaBi (Thinkstep) za analizo vplivov proizvodov/procesov na okolje

Vodja laboratorija:

doc. dr. Ana Mladenović, univ. dipl. inž. geol.
e-pošta: beton-kamen@zag.si



Laboratorij za kovine, korozijo in protikorozijsko zaščito

V Laboratoriju za kovine, korozijo in protikorozijsko zaščito povezujemo strokovno odličnost, novo znanje in vrhunsko raziskovalno opremo. Nudimo tehnično in strokovno podporo na področju kovin, korozije in zaščite. Sodelujemo z industrijo, podjetji in posamezniki, ki se soočajo s problemi ali vprašanji v zvezi s kovinami. V laboratoriju združujemo raziskovalce in strokovnjake z različnih področij (metalurgija, kemija, strojništvo, fizika) in sodelujemo z domačimi in tujimi raziskovalci in strokovnjaki.

Dejavnosti

- Preiskave in preizkušanje kovinskih in nekovinskih materialov, proizvodov ter sistemov
- Preiskave in preizkušanje protikorozijskih zaščitnih nekovinskih in kovinskih prevlek
- Neporušitvene preiskave napak in poškodb kovinskih elementov ter zvarnih in drugih spojev
- Ocene, mnenja, ekspertize, pregledi in nadzori
- Posebni pregledi žičniških naprav za prevoz ljudi
- Svetovanje s področja korozije in protikorozijske zaščite
- Izobraževanje

Raziskave in razvoj

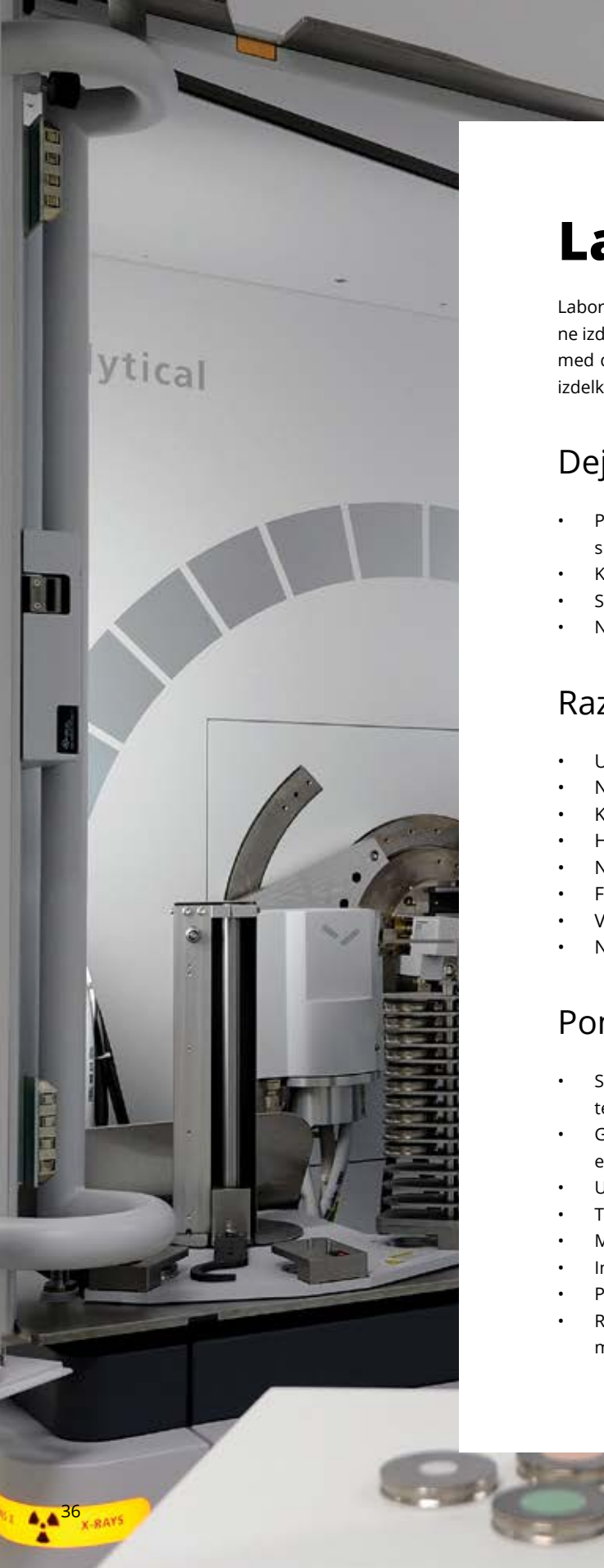
- Razvoj senzorjev za spremljanje korozije kovin v betonih
- Tribokorozijski procesi
- Mehanizmi procesov napetostno korozijskega pokanja
- Korozija objektov kulturne dediščine
- Korozija bakra v bentonitu
- Korozija vodovodnih instalacij ter ogrevalnih sistemov

Pomembnejša oprema

- Univerzalni preskuševalni stroj z nominalno silo 2500 kN, Zwick Z2500Y
- Metalografski mikroskop Carl Zeiss Axio Imager M2m
- Optični emisijski spektrometer SpectroMAXx
- Mikrotomograf MicroXCT-400
- XRD-oprema PAN Analytical
- SSRT avtoklav CORMET
- Vrstični elektronski mikroskop JEOL 5500 LV z Inca Oxford EDS-analizatorjem
- Ramanski spektrometer Horiba Jobin Yvon LabRAM HR800

Vodja laboratorija:

dr. Tadeja Kosec, univ. dipl. kem.
e-pošta: kovine@zag.si



Laboratorij za polimere

Laboratorij združuje strokovnjake in raziskovalce s področja polimerov. Preskušamo polimerne materiale in kontroliramo polimerne gradbene izdelke. Sodelujemo z industrijo in posamezniki, ki se soočajo s težavami ali vprašanji v zvezi s polimernimi izdelki. Raziskovalna dejavnost med drugim obsega razvoj fotokatalitskih premazov in utrjevalcev za zunanje površine stavb ter nanomaterialov za uporabo v gradbenih izdelkih, kjer sodelujemo tudi s priznanimi tujimi inštitucijami.

Dejavnosti

- Preskušanje polimernih cevi, geotekstilij, gume in gumenih izdelkov, lepil, folij, talnih oblog, toplotnoizolacijskih proizvodov, fasadnih sistemov, barv, premazov, ometov, opreme cest in embalaže
- Kontrola kakovosti polimernih izdelkov
- Strokovne ocene, mnenja, pregledi in študije
- Nadzor kakovosti in vgradnje polimernih gradbenih materialov

Raziskave in razvoj

- Utrjevalci in premazi za varovanje zunanjih površin stavb
- Nanomateriali za uporabo v gradbeništvu
- Kompoziti na osnovi nanoceluloze
- Historični materiali za varovanje objektov kulturne dediščine
- Napredni fotokatalitski materiali
- Fizikalni in kemijski procesi v gradbenih materialih
- Vplivi pospešenega staranja na mehanske lastnosti materialov
- Nove metode za ocenjevanje lastnosti materialov

Pomembnejša oprema

- Sistem za določanje fotokatalitske aktivnosti materialov v faznem sistemu trdno/plinInstrument za merjenje velikosti delcev in zeta potenciala NanoBrook Omni, Brookhaven Instruments
- Grobovakuumski vrstični elektronski mikroskop JEOL LV 5500 z EDS analizatorjem Oxford in vrstični elektronski mikroskop na poljsko emisijo Zeiss ULTRA plus
- Univerzalna trgalna stroja ZWICK Z030 in ZWICK Z100
- Temperaturna in vlažnostna komora Kambič kk-340 ter UV komora Q-SUN Xe-3,
- Merilnik kontaktnih kotov Drop Shape Instrument FTA 1000
- Instrument za termično analizo Netzsch STA 409 Luxx
- Plinski adsorber ASAP 2020
- Ramanski spektrometer Horiba Jobin Yvon LabRAM HR800, sklopljen z mikroskopom, ter FTIR spektrometer PERKIN ELMER, sklopljen z mikroskopom

Vodja laboratorija:

doc. dr. Andriana Sever Škapin, univ. dipl. inž.
e-pošta: polimeri@zag.si



Laboratorij za cemente, malte in keramiko

V Laboratoriju za cemente, malte in keramiko nudimo tehnično in strokovno podporo na področju mineralnih gradbenih materialov in sodelujemo z vsemi vejami industrije kot tudi posamezniki, ki se soočajo z vprašanji ali s problemi na našem področju. Laboratorij združuje strokovnjake in raziskovalce z različnih, komplementarnih področij (kemija, gradbeništvo, geologija) in sodelujemo z raziskovalci in strokovnjaki doma in v tujini.

Dejavnosti

- Preiskave mineralnih veziv, malt, kemijskih dodatkov za beton, cementnih lepil in injekcijskih mas
- Preiskave keramičnih ploščic in opečnih izdelkov
- Določevanje drsnosti talnih površin
- Preskušanje soli za posipavanje cestišč
- Ugotavljanje agresivnosti vode za beton
- Petrografske - mineraloške preiskave mineralnih gradbenih materialov
- Ocene, mnenja, ekspertize, pregledi in nadzori
- Izobraževanja podjetij in posameznikov

Raziskave in razvoj

- Kemijski procesi hidratacije cementov
- Vpliv mineralnih in kemijskih dodatkov na hidratacijo cementov in malt
- Kemijska odpornost mineralnih gradbenih materialov na agresivne medije
- Uporabnost sekundarnih surovin v industriji gradbenih materialov
- Razvoj alkalno aktiviranih materialov
- Razvoj injekcijskih mas za injektiranje zidovja

Pomembnejša oprema

- Stiskalnica do 300 kN
- Merilec drsnosti talnih oblog -- pendulum
- Rentgenski difraktometer – XRD
- Mikrotomograf Micro-XCT
- Vrstični elektronski mikroskop LV z EDS
- Dilatometer
- Porozimeter in plinski adsorber
- FTIR in ramanski spektrometer

Vodja laboratorija:

dr. Vilma Ducman, univ. dipl. inž. kem. inž.
e-pošta: veziva@zag.si



Laboratorij za toplotno zaščito in akustiko

Raziskovalci in strokovnjaki Laboratorija za toplotno zaščito in akustiko združujemo znanje s področij toplote, vlage in zvoka v gradbeni fiziki, učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije v gradbeništvu ter analiz življenjskega cikla in vplivov na zdravo grajeno okolje. Aktivni smo v nacionalnih in mednarodnih raziskovalnih projektih ter nudimo široko strokovno tehnično podporo v procesu gradnje in pri izpolnjevanju zakonodajnih zahtev v gradbeni industriji.

Dejavnosti

- Preiskave, meritve in preizkušanja gradbeno-fizikalnih lastnosti gradbenih proizvodov
- Numerični izračuni prenosa toplote, vode in difuzije vodne pare ter dinamične simulacije stavb ter energijskih sistemov
- Terenske gradbeno-fizikalne meritve in meritve parametrov v stavbah
- Ocene, mnenja, ekspertize s področja gradbene fizike in vpliva radona
- Analize življenjskega cikla (LCA, LCC)
- Različna izobraževanja

Raziskave in razvoj

- Obnovljivi materiali v gradbeništvu
- Vpliv gradbenih materialov in proizvodov za zdravo bivanje
- Gradbeni materiali in proizvodi v povezavi s trajnostjo in z energetske učinkovitostjo stavb
- Multifunkcionalni elementi stavbnega ovoja
- Koncepti za energijske prenove stavb z vključevanjem obnovljivih virov energije
- Trajnostne analize življenjskega kroga proizvodov, procesov in sistemov

Pomembnejša oprema

- Testna celica za preskušanje gradbeno-fizikalnih lastnosti fasadnih komponent
- Kalorimetrična komora (ISO 8990) z moduli umetnega sonca
- Merilna veriga za merjenje emisije hrupa cestnega prometa ter zvočne izolacije in odbojnosti zvoka protihrupnih ograj
- Numerični paketi TRNSYS, GaBi, Delphin, WUFI, PHYSIBEL, WinISO, Predictor-LimA, ACOUBAT Sound, RAYNOISE, DIRAC.

Vodja laboratorija:

Friderik Knez, univ. dipl. fiz.
e-pošta: toplota@zag.si



Požarni laboratorij in požarno inženirstvo

Preskušanje požarnih lastnosti proizvodov za gradbeništvo in ladjedelništvo izvajamo že več kot 50 let. Danes strokovnjaki in raziskovalci različnih tehničnih področij v Požarnem laboratoriju in požarnem inženirstvu sodelujemo z industrijo pri razvoju proizvodov in raziskavah na področju požara. Aktivno sodelujemo v evropskem združenju požarnih laboratorije EGOLF in ostalih organih kot so EOTA, CEN, SIST, IMO ter v Slovenskem združenju za požarno varstvo.

Dejavnosti

- Standardizirano preskušanje požarnih lastnosti različnih proizvodov
- Izdelava strokovnih mnenj o požarnih lastnostih različnih proizvodov, o požarnovarnostnih problemih, o vzrokih za nastanek in razširitev požara
- Pregled in ocena konstrukcij, poškodovanih v požaru
- Izdelava študij požarnega varstva
- Različna izobraževanja
- Sodelovanje v domačih in tujih združenjih in odborih
- Sodelovanje pri pripravi predpisov in smernic

Raziskave in razvoj

- Sistemi za gradnjo hiše s pomočjo opaža iz toplotno izolativnih oblikovnikov iz ekspandiranega grafitnega polistirena
- Visokotrdni betoni z jeklenimi vlakni (t.i. UHPFRC betoni)
- Raziskave na področju povečane požarne nevarnosti, gradbenih materialov, proizvodov in konstrukcij iz naravnih materialov (npr. lesenih)

Pomembnejša oprema

- Konusni kalorimeter
- FTIR analizator plinov za merjenje toksičnosti dimnih plinov,
- Dimna komora
- Naprave za preskušanje odziva na ogenj gradbenih materialov (SBI, negorljivost, kalorimetrija, mali plamen, talne obloge)
- Vertikalna peč 3 m × 3 m in horizontalna peč 4 m × 3 m za preskušanje požarne odpornosti

Vodja laboratorija:

Milan Hajduković, univ. dipl. inž. str.
e-pošta: pozarni.laboratorij@zag.si



Odsek za stavbe in potresno inženirstvo

Na Odseku za stavbe in potresno inženirstvo je zaposlenih 6 strokovnjakov za široko področje stavb in njihovih nosilnih konstrukcij. Na tem področju opravljamo najzahtevnejše ekspertize, ocene stanja in nosilnosti konstrukcij, terenske in laboratorijske preiskave ter sodelujemo pri pripravi tehničnih soglasij. V okviru dolgoletnega, priznanega in uspešnega raziskovalnega dela sodelujemo z raziskovalci doma in mednarodno, industriji nudimo podporo pri razvoju in smo aktivni v strokovnih organizacijah.

Dejavnosti

- Pregledi stanja obstoječih gradbenih konstrukcij
- Laboratorijske in terenske preiskave konstrukcijskih elementov, sklopov in konstrukcij
- Računske analize in ocene potresne ogroženosti
- Obremenilne preizkušnje različnih gradbenih konstrukcij
- Geodetska in druga tehnična opazovanja
- Sodelovanje pri pripravi standardov, tehničnih ocen in potrjevanju skladnosti
- Ekspertne storitve in izvedenska mnenja

Raziskave in razvoj

- Obnašanje stavb in inženirskih gradbenih objektov pri potresni obtežbi
- Učinkovitost sistemov za protipotresno utrjevanje gradbenih konstrukcij
- Potresna odpornost novih konstrukcijskih elementov in sistemov
- Eksperimentalne in analitične metode

Pomembnejša oprema

- Enokomponentna potresna miza 1,97 x 3,20 m (koristna masa do največ 5000 kg, pospešek do največ 5 g)
- Dvosmerni programski hidravlični bati zmogljivosti od 40 do 1000 kN s hodom do 1000 mm
- Merilniki in sistemi za zajemanje podatkov
- Optični sistem za merjenje pomikov in deformacij
- Preizkuševalna oprema za porušne in polporušne in-situ preiskave

Vodja odseka:

mag. Marjana Lutman, univ. dipl. inž. grad.
e-pošta: potresno.inzenirstvo@zag.si



Odsek za mostove in inženirske objekte

Na Odseku za mostove in inženirske objekte ponujamo tehnično in strokovno podporo na področju mostov, inženirskih in energetskih objektov. Izvajamo laboratorijske in terenske preiskave ter meritve in analize vibracij stanovanjskih in inženirskih objektov. Sodelujemo z upravljavci mostov in drugih objektov ter razvijamo sisteme za tehtanje vozil med vožnjo na mostovih. Poleg tega smo intenzivno vpeti v mednarodno sodelovanje.

Dejavnosti

- Statične in dinamične laboratorijske preiskave elementov mostnih konstrukcij (do dolžine 30 m in obtežbe 6000 kN) pri kratkotrajnih in dolgotrajnih obremenitvah ter preiskave ležišč in dilatacij
- Terenske preiskave, vključno z obremenilnimi preizkušnjami mostov in drugih inženirskih konstrukcij
- Pregledi mostov s preiskavami, meritve vibracij na stanovanjskih, industrijskih in infrastrukturnih objektih ter tehnično opazovanje inženirskih objektov
- Analize in modeliranje prometnih obremenitev za ocenjevanje varnosti obstoječih mostov in vzdrževanje prometnic
- Načrtovanje in vzpostavljanje sistemov opazovanja ter uvajanje metod za ugotavljanje stanja premostitvenih objektov
- Vodenje in sodelovanje pri mednarodnih in domačih raziskovalno-razvojnih projektih s področij varnosti in trajnosti premostitvenih objektov in tehtanja vozil med vožnjo
- Sodelovanje z domačimi in tujimi univerzami in inštituti

Raziskave in razvoj

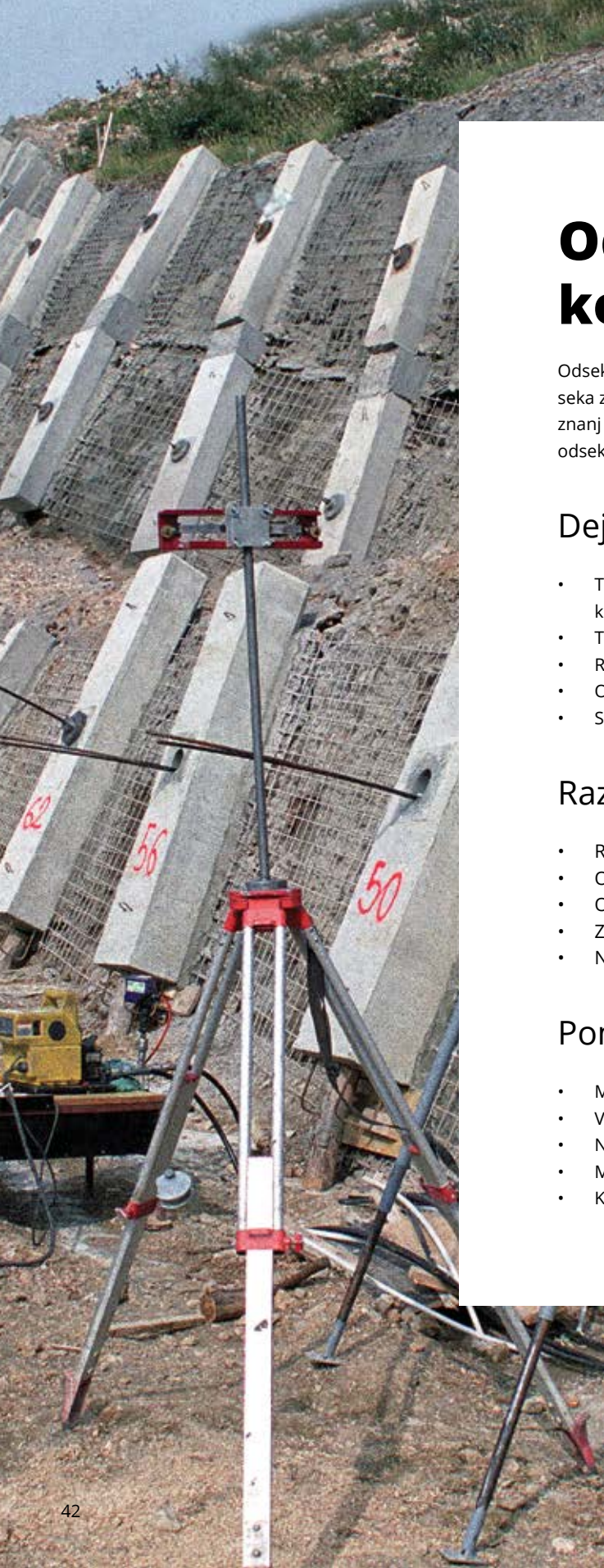
- Nove metode in postopki na področju varnosti in trajnosti mostnih konstrukcij in tehtanja vozil med vožnjo
- Razvoj programske opreme za tehtanje vozil med vožnjo (SiWIM®), modeliranje prometnih obremenitev
- Ocena stanja mostnih konstrukcij in meritev vibracij

Pomembnejša oprema

- Sistem za meritve vibracij z merilci hitrosti in pospeškov
- Programska oprema za analizo konstrukcij
- Programska oprema za analizo obnašanja mostov v povezavi z mostnim tehtanjem vozil med vožnjo

Vodja odseka:

mag. Aleš Žnidarič, univ. dipl. inž. grad.
e-pošta: mostovi@zag.si



Odsek za kovinske, lesene in polimerne konstrukcije

Odsek za kovinske, lesene in polimerne konstrukcije je nastal leta 2013, z združitvijo Odseka za kovinske konstrukcije in transportne naprave, Odseka za lesene konstrukcije in Odseka za geotehnična sidra. V Odseku so združeni raziskovalci in strokovnjaki z dolgoletnimi izkušnjami različnih znanj iz gradbeništva in strojništva. Sodelujemo z industrijo in podjetji, ki se soočajo s problemi ali dilemami na strokovnih področjih delovanja odseka, na področju nestandardnih preiskav razvijamo in uvajamo nove metode preskušanja.

Dejavnosti

- Tehnična in strokovna podpora pri uvajanju novih tehnologij in uveljavljanju nove regulative na področju kovinskih, lesenih in polimernih konstrukcij ter geotehničnih sider
- Terenske meritve, pregledovanje in ocenjevanje stanja gradbenih konstrukcij in konstrukcijskih elementov in-situ
- Različna laboratorijska preskušanja, preiskave in meritve konstrukcijskih sklopov, elementov ter gradbenih proizvodov
- Ocene, mnenja, ekspertize, izvajamo preglede in nadzore, izvajanje kontrole kakovosti
- Strokovno tehnični pregledi žičniških naprav v sklopu Kontrolnega organa za žičniške naprave, magnetno induktivni pregledi jeklenih vrvi

Raziskave in razvoj

- Razvrščanje lesenih konstrukcijskih elementov po trdnosti in obnašanje lepljenih lesenih konstrukcij
- Ocenjevanje, ojačevanje in opazovanje lesenih konstrukcij
- Ocenjevanje stanja vgrajenih trajnih prednapetih geotehničnih sider
- Zagotavljanje nosilnosti in ocenjevanja trajnosti prednapetih in pasivnih geotehničnih sider
- Nove metode in tehnologije preskušanj kovinskih konstrukcij z vidika njihovega obnašanja pri statičnih in dinamičnih obremenitvah

Pomembnejša oprema

- Magnetno induktivna naprava za pregledovanje jeklen vrvi, NDT Technologies
- Vrvni tenzometer za meritve nateznih sil v vgrajenih vrveh, Sensy
- Naprava za strojno razvrščanje lesa Brookhuis Timber Grader MTG
- Merilnik odpora pri vrtanju IML PD500
- Komplet za izvedbo izvlečnih preskusov pasivnih sider

Vodja odseka:

dr. Iztok Klemenc, univ. dipl. inž. grad.
e-pošta: klp@zag.si



Laboratorij za konstrukcije

Laboratorij za konstrukcije s sodobno preskusno ter merilno opremo omogoča postavitev in izvedbo najzahtevnejših mehanskih preskusov konstrukcijskih elementov s statično ali dinamično obremenitvijo. Strokovno in kakovostno izvedbo preskusov zagotavlja interdisciplinarna ekipa s kompetencami z različnih področij. Med dejavnosti laboratorija sodijo tudi pregledi in preskusi konstrukcij na terenu, kjer uporabljamo najsodobnejše neporušne metode.

Dejavnosti

- Priprava in izvedba mehanskih preiskav konstrukcijskih elementov s statično ali dinamično obremenitvijo
- Terenski pregledi konstrukcij, ki obsegajo geodetsko merjenje pomikov, deformacij, vzorčenje in preiskavo vgrajenih materialov ter neporušne preiskave

Raziskave in razvoj

- Razvoj merilnih metod na področju preiskav konstrukcijskih elementov
- Uvajanje nedestruktivnih metod za zaznavanje stanja konstrukcij
- Razvoj optičnih metod za brezkontaktno merjenje polja pomikov ter deformacij

Pomembnejša oprema

- Preskuševalna ploščad 14 x 26 m nosilnosti 1000 kN/m² z vpenjalnim temeljem 10 x 10 m, reakcijsko steno 6 x 7 m ter modularnim sistemom jeklenih konstrukcijskih elementov
- Servohidravlični sistem, ki omogoča simultano obremenjevanje z do 8 hidravličnimi cilindri zmogljivosti od 16 do 1000 kN
- Enokomponentna potresna miza
- Univerzalni preskusni stroj ZWICK za statične obremenitve do 2500 kN
- Preskusni stroj z možnostjo kombinirane dinamične osno-torzijske obremenitve MTS Bionix
- Dva optična merilna sistema za brezkontaktne meritve pomikov in deformacij
- GOM Aramis, s kamerami 5 M ter hitrimi kamerami Photron
- Georadarski merilni sistem, ultrazvok ter impact echo (neporušne preiskave)

Vodja laboratorija:

dr. Uroš Bohinc, univ. dipl. fiz.

e-pošta: laboratorij.konstrukcije@zag.si



Odsek za geotehniko

Na Odseku za geotehniko nudimo tehnično in strokovno podporo na področju zemeljskih del, geotehničnega opazovanja ter gradnje cestne in železniške infrastrukture. Naši strokovnjaki izvajajo nacionalne in mednarodne razvojno-raziskovalne projekte. Izvajamo celovito kontrolo kakovosti materialov in izvedbe zemeljskih del pri gradnji cestnih in železniških povezav ter zemeljskih pregrad. Opravljamo geomehanske raziskave tal ter preglede temeljenja za preproste objekte; za zahtevnejše objekte izvajamo tudi statične in dinamične stabilnostne analize geotehničnih objektov.

Dejavnosti

- Geomehanske raziskave tal za objekte visoke in nizke gradnje ter predore
- Geomehanske laboratorijske preiskave in terenske preiskave
- Zunanja kontrola zemeljskih del in voziščne ter železniške konstrukcije
- Tehnična opazovanja objektov, kot so pregrade, predori in ceste
- PIT testi (meritve zveznosti pilotov)

Raziskave in razvoj

- Dinamično obnašanje zemljine ob potresu ali vplivu prometa
- Geomehanske raziskave sukije v pogojih triosne obremenitve
- Uvajanje laserskega skeniranja pri študiju hrapavosti razpok
- Inovativna raba geosintetikov v cestnih in železniških konstrukcijah
- Trajnost infrastrukturnih objektov v različnih klimatskih pogojih
- Okoljske analize (LCA) za cestno in železniško infrastrukturo

Pomembnejša oprema

- Dinamični torzijski triosni aparat
- Bishop-Wesleytriosna celica z opremo za meritev sukije, malih deformacij in prehoda strižnih valov
- Optični skener za meritev hrapavosti razpok (ATOS)
- Velika direktna strižna celica za preizkušanje nevezanih plasti in kamnin
- Ciklični triosni aparat za preiskave nevezanih plasti

Vodja odseka:

doc.dr. Karmen Fifer Bizjak, univ. dipl. inž. geol.
e-pošta: geotehnika@zag.si

Odsek za vzdrževanje in gospodarjenje s cestami

V Odseku nudimo tehnično in strokovno podporo na področju vzdrževanja in gospodarjenja s cestami, še posebej na področjih (ne)ravnosti, tornih lastnosti in nosilnosti. Ugotavljamo in vrednotimo začetno stanje voziščnih konstrukcij in vozni površin ter spremljamo njihovo stanje. Naša oprema nam omogoča izvedbo različnih preiskav, pripravo ekspertiz in aktivno delovanje na raziskovalnem področju. Sodelujemo z različnimi strokovnjaki pri izvedbi mednarodnih in nacionalnih razvojno-raziskovalnih projektov ter aktivno sodelujemo na domačih in tujih strokovnih srečanjih.

Dejavnosti

- Naše področje dela so lastnosti vozni površin in voziščnih konstrukcij, vplivi cestne infrastrukture na okolje, optimiziranje porabe prometne energije in emisij GHG.
- Pripravljamo ekspertize in svetujemo na področju našega dela, upravljavcem cestnih omrežij in drugim investitorjem na področju cest.
- Vključujemo rezultate terenskih meritev v sisteme gospodarjenja s cestami, s čimer omogočamo optimalnejše razporejanje finančnih sredstev za vzdrževanje cest.
- Vključujemo nova znanja in raziskovalno opremo v vsakodnevno delo.
- Mednarodno smo povezovani z raziskovalci in strokovnjaki iz različnih področij dela.

Raziskave in razvoj

- Upravljanje s cestami in elementi upravljanja
- Metode in naprave za izvajanje meritev in spremljanje stanja lastnosti vozni površin
- Varnost v prometu
- Vpliv gradnje in vzdrževanja cest na okolje
- Zaščita cestne infrastrukture

Pomembnejša oprema

- Naprava SCRIMTEX za meritve torne sposobnosti in makro hrapavosti vozni površin cest in letališč
- Naprava ZAG-VP za meritve vzdolžnega profila in določanje ravnosti vozni površin cest in letališč

Vodja odseka:

Bojan Leben, inž. geod.
e-pošta: ceste@zag.si



Laboratorij za asfalte in bitumenske proizvode

V Laboratoriju za asfalte in bitumenske proizvode so združeni strokovnjaki z dolgoletnimi izkušnjami s področja gradbeništva in kemije. Poleg raziskovalnega dela v tesnem sodelovanju z industrijo izvajamo preiskave tako za investitorje kot za izvajalce asfaltnih del. Na področju nestandardnih preiskav s področja bitumnov in asfaltov razvijamo in uvajamo nove metode preskušanja. Izvajamo tudi več kot 80 standardnih preiskav s področja bitumnov, asfaltov in hidroizolacije, od teh je 35 akreditiranih.

Dejavnosti

- Terenske meritve, pregledovanje in ocenjevanje izvedbe pri asfaltnih in hidroizolacijskih delih
- Strokovna mnenja in kontrola kakovosti
- Zahtevnejše preskušanje bitumnov in asfaltov ter bitumenskih hidroizolacij
- Tehnična in strokovna podpora pri iskanju možnosti uporabe recikliranih materialov

Raziskave in razvoj

- Vpliv staranja na cestogradbene in s polimeri modificirane bitumne
- Dopolnitev kriterijev za obnašanje s polimeri modificiranih bitumnov
- Vpliv vrste asfalta na odpornost proti utrujanju
- Vpliv vgradnje asfalta na njegovo trajnost
- Uporaba odpadnih produktov v asfaltnih
- Povezave med lastnostmi bitumnov in asfaltov

Pomembnejša oprema

- Naprava za kratkotrajno staranje bitumnov (RTFOT)
- Oprema za dolgotrajno staranje bitumnov (PAV)
- Naprava za ugotavljanje upogibne togosti bitumnov (BBR)
- Reometer za določanje karakteristik bitumnov (DSR)
- Naprava za preskušanje obnašanja asfaltov pri nizki temperaturi (TSRST)
- Štiri točkovna naprava za utrujanje in togost asfalta (4PBT)
- Vrtljiv zgoščevanik (Gyratory compactor)

Vodja laboratorija:

Mojca Ravnikar Turk, univ. dipl. inž. grad.
e-pošta: asfalti@zag.si



Laboratorij za metrologijo

Laboratorij za metrologijo izvaja kalibracije in kontrolo merilno-preskusne opreme v laboratoriju ZAG in pri naročnikih. Laboratorij je pri Slovenski akreditaciji po standardu SIST EN ISO/IEC 17025 akreditiran za kalibriranje meril na področju sile, momenta sile, tlaka, trdote, preskusnih strojev, merilnikov udarne žilavosti, tehnic in temperature ter po standardu SIST EN ISO/IEC 17020 tip C za kontrolne preglede naprav z valji za preverjanje zaviralne sile motornih vozil.

Dejavnosti

- Vzdrževanje slovenskih referenčnih etalonov za silo in trdoto
- Kalibriranje merilno-preskusne opreme (mehanske veličine, dolžina, temperatura)
- Organiziranje medlaboratorijskih primerjav
- Overjanje naprav z valji za preverjanje zaviralne sile
- Pregledi preskusnih naprav in metrološko vzdrževanje
- Izobraževanje

Raziskave in razvoj

- Referenčni etaloni
- Kalibriranje sile in trdote
- Merilna instrumentacija
- Analiza in izboljšanje negotovosti kalibracijskih postopkov

Pomembnejša oprema

- Referenčni stroji za silo od 0,1 N do 1 MN tlaka (600 kN natega)
- Kalibracijski stroji za silo do 5 MN tlaka
- Transforni etaloni za silo do 1 MN
- Precizni merilni ojačevalniki za pretvornike z merilnimi lističi
- Referenčni merilnik trdote z referenčnimi ploščicami trdote

Vodja laboratorija:

Anton Štibler, univ. dipl. inž. str.
e-pošta: metrologija@zag.si

Služba za tehnične ocene in soglasja

Služba za tehnične ocene in soglasja podeljuje slovenska tehnična soglasja, evropske tehnične ocene in okoljske deklaracije proizvodov. Od leta 2003 izdajamo slovenska tehnična soglasja (STS), do 1. julija 2013 smo izdajali tudi evropska tehnična soglasja (ETA). Smo člani organizacije EOTA – European Organisation for Technical Assessment (Evropska organizacija za tehnične ocene) in združenja ECO PLATFORMA – Združenje evropskih organizacij, ki izdajajo okoljske deklaracije proizvodov EPD. Zaradi uveljavitve uredbe št. 305/2011 je bil ZAG v letu 2012 imenovan za organ za tehnično ocenjevanje in je tako pridobil pravico priprave in izdaje evropskih tehničnih ocen (ETA). Od leta 2013 se v okviru službe pripravljajo okoljske deklaracije proizvodov (EPD).

Slovenska tehnična soglasja (STS)

STS se podeli na zahtevo proizvajalca, ki daje na trg v Republiki Sloveniji gradbeni proizvod, ki ni zajet v harmonizirani tehnični specifikaciji po ZGPro-1 (Zakon o gradbenih proizvodih).

Evropska tehnična ocena (ETA)

ETA se izda na zahtevo proizvajalca za gradbeni proizvod, ki ga proizvajalec daje na trg v državah EU. Podlaga za izdajo ETA je evropski ocenjevalni dokument (EAD), ki ga pripravi in sprejme organ za tehnično ocenjevanje (TAB).

Okoljska deklaracija proizvoda (EPD)

EPD podaja opis proizvoda in emisije, povezane s celotnim življenjskim ciklom proizvoda. Temelji na rezultatih ocenjevanja življenjskega cikla (LCA) ter predstavlja kompleksno, a potrebno in zanesljivo podlago trajnostnemu gradbeništvu.

Vodja službe:

mag. Franc Capuder, univ. dipl. inž. grad.
e-pošta: info.ta@zag.si



Certifikacijska služba

Certifikacijska služba se kot certifikacijski organ (CO ZAG) osredotoča na nenehno izboljševanje kakovosti svojih storitev. V ta namen ima vzpostavljen sistem vodenja kakovosti po zahtevah standarda SIST EN ISO/IEC 17065. Učinkovitost delovanja tega sistema dokazuje z mednarodno priznana akreditacijsko listino CP-002, izdano s strani Slovenske akreditacije. CO ZAG je priglašeni certifikacijski organ pri Komisiji EU pod številko 1404 po Uredbi 305/2011 (CPR) ter imenovan za vse tehnične specifikacije po 5. členu ZGPro-1. Jedro službe je interdisciplinarna ekipa 5 zaposlenih, ki sodeluje z več kot 30 strokovnjaki iz drugih oddelkov ZAG ter različnimi laboratoriji doma in v tujini.

Dejavnosti

- Certificiranje proizvodov in kontrole proizvodnje na področju obveznega in prostovoljnega certificiranja gradbenih proizvodov
- Certificiranje drugih proizvodov na reguliranem ali prostovoljnem področju
- Prostovoljno certificiranje različnih procesov in storitev
- Prostovoljno certificiranje izvedenih del

Razvoj novih shem

- Sodelovanje pri postavitvi in nadgrajevanju zakonodaje, standardizacije in postopkov ugotavljanja skladnosti
- Upoštevanje potreb, želja in težav proizvajalcev, trgovcev in kupcev gradbenih proizvodov, projektantov ter izvajalcev gradbenih del

Pomembnejši mejniki

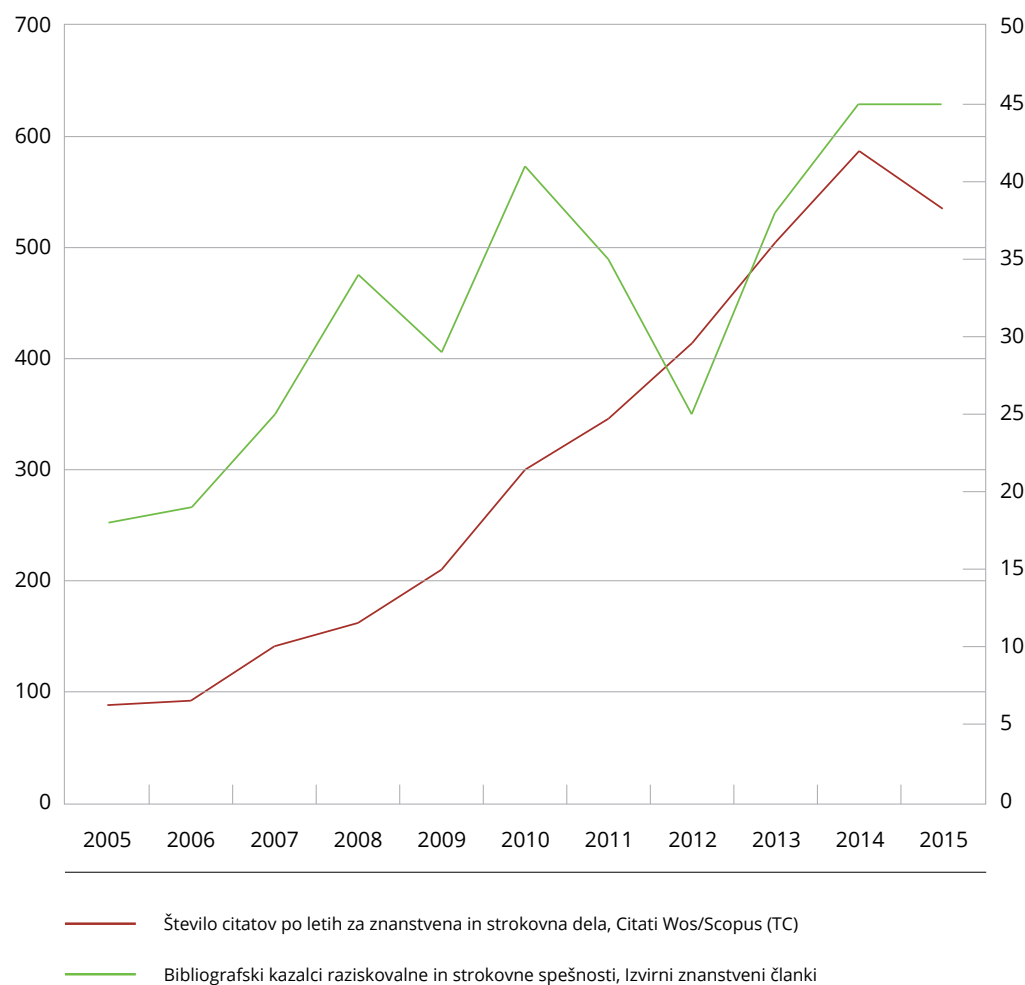
- 1996 – ustanovitev Certifikacijske službe ZAG
- 1998 – izdani prvi certifikati o skladnosti
- 2003 – pridobitev akreditacije po EN 45011
- 2004 – pridobitev statusa priglašene organa EU s številko 1404 po Direktivi o gradbenih proizvodih 89/106/EGS (CPD) ter prevzem vloge predstavnika Slovenije v svetovalni skupini priglašeni organov AG GNB
- 2013 – dopolnitev obsega dejavnosti kot priglašeni organ tudi po Uredbi o gradbenih proizvodih 305/2011 (CPR)

Vodja službe:

Marjan Japelj, univ. dipl. fiz.
e-pošta: certifikati@zag.si

Knjižnica

Knjižnica Zavoda za gradbeništvo Slovenije je specialna knjižnica za področje gradbeništva in sorodnih naravoslovnotehniških ved. V okviru matične ustanove deluje že dobrih 60 let. V razvidu knjižnic, ki sodelujejo v knjižničnem sistemu Slovenije, je registrirana s siglo 50214. Knjižnica vsem uporabnikom zagotavlja dostopnost do publikacij in bibliografskih informacij. Raziskovalcem in strokovnim sodelavcem, zaposlenim na zavodu, predstavlja informacijsko-dokumentacijsko podporo, pri njihovem delovnem, pedagoškem in raziskovalnem procesu. Glavni dejavnosti sta knjižnične in informacijske storitve ter vodenje bibliografij.



Vir bibliografskih zapisov: Vzajemna baza podatkov COBISS.SI/COBIB.SI, 23. 11. 2015

Knjižnične in informacijske storitve

Danes za naše raziskovalce in strokovne sodelavce gradimo zbirko relevantne literature s področja trajnostnega gradbeništva, recikliranja, energetske učinkovitosti in kulturne dediščine. Knjižnična zbirka obsega približno 37.000 enot gradiva monografskih in serijskih publikacij ter standardov. Tudi v letu 2015 smo vključeni v konzorcij SpringerLink, ki omogoča dostop do paketa e-vsebin. Smo člani konzorcijev v okviru sistema COBISS, ki ponujajo dostop do tujih baz podatkov in servisov.

Knjižnica nudi specializirane informacijske storitve in usposablja uporabnike za učinkovito in samostojno uporabo informacijskih virov in storitev. Sodeluje s specialnimi knjižnicami in informacijskimi centri sorodnih profilov in se vključuje v nacionalni knjižnični informacijski in raziskovalni sistem.

Vodenje bibliografij raziskovalcev in strokovnih sodelavcev

Od leta 1996 je knjižnica polnopravni član sistema COBISS. Z zbirko knjižničnega gradiva in vodenjem bibliografij raziskovalcev in strokovnih sodelavcev gradimo vzajemno bazo COBIB. Trenutno je v lokalni bibliografski bazi ZAGLJ zbranih 11.747 zapisov, zbirka se dnevno dopolnjuje.

Vodja knjižnice:

Metka Ljubešek, univ. dipl. bibl.
e-pošta: knjiznica@zag.si



ZAG in trajnostni razvoj

Friderik Knez

Že ob prelomu tisočletja smo v zahodnem svetu vedno pogosteje omenjali trajnostni razvoj in potrebe po trajnostnem obnašanju družbe kot celote. Ta tema je zajela tudi gradbeništvo in še posebej stavbe. A tu smo naleteli na zadrego, na kakšen način načeloma splošen koncept trajnostnega razvoja prevesti v inženirski jezik stavb, da bo merljiv z enoznačnimi parametri. Pokazala se je potreba po temeljitem konceptualnem razmisleku. Tudi v primeru stavb smo ugotovili, da govorimo o treh komponentah trajnostnosti: okoljski, finančni in družbeni komponenti. Ne glede na to, da je omenjeno strukturo v svoj koncept prevzela tudi mednarodna organizacija za standardizacijo, ta struktura vendarle ni dokončna. V različnih državah jo dopolnjujejo na podoben, a ne identičen način. Sloveniji je gotovo najbližji nemški zgled, saj je slovensko gradbeništvo že zgodovinsko povezano s srednjeevropskim prostorom. Tako tudi pri nas prepoznavamo, da je treba za celovito sliko omenjenemu konceptu dodati vsaj še funkcionalno komponento trajnostnosti, nezanemarljiv pa je tudi vpliv lokacije stavbe.

Življenjski cikel stavbe in trajnostna stavba

Koncept obravnave trajnostnosti stavbe temelji na obravnavi življenjskega cikla stavbe, ki ima v primerjavi s potrošnimi dobrinami relativno dolgo življenjsko dobo. Življenjski cikel stavbe ima štiri glavne faze. Faza izgradnje stavbe, vključno s proizvodnjo gradbenih proizvodov in materialov, se začne pred dejanskim začetkom gradnje. To pomeni, da na trajnostnost stavbe vplivamo z načrtovanjem, a ne samo z arhitekturno-oblikovnega stališča, temveč tudi z izbiro materialov in proizvodov. Faza rabe stavbe je časovno najdaljša faza. V tej fazi dominirajo energijski tokovi, pomembni pa so tudi snovni tokovi, ki pridejo posebej do izraza pri večjih popravilih. Faza konca življenjske dobe je navadno kratka in obsega postopek po prenehanju uporabe stavbe. Stavba se običajno razgradi, njeni deli končajo na odlagališču odpadkov, deloma lahko tudi kot nevaren odpadke. Vendar tak scenarij ni nujen – prizadevamo si za četrto fazo, nekakšno življenje po življenju. Govorimo o recikliranju in ponovni rabi materialov in stavbnih delov.

S stališča obravnave energije je v danes obstoječi običajni stavbi najpomembnejša faza rabe stavbe. Energijo sicer potrebujemo tudi v drugih fazah življenjskega cikla, vendar je ta v primerjavi s pomenom energije v fazi rabe stavbe majhna. Toda ta razmerja se lahko hitro spremenijo, posebej če govorimo o stavbah prihodnosti. Z okrepi učinkovite rabe energije, vse večjo rabo obnovljivih virov energije ter večanjem debeline toplotne izolacije ovoja stavb namreč prevešamo tehtnico rabe energije na stran proizvodnje materialov. Tako pri stavbah (bližnje) prihodnosti zgolj analiza energetske učinkovitosti stavbe ne bo podala relevantne slike o celotni rabi energije v povezavi s stavbo. Še posebej to velja za plus energijske hiše prihodnosti, načrtovane za obdobje 2030–2050, ki bodo po definiciji proizvedle več energije, kot je bodo rabile same. Da bo take stavbe mogoče graditi, pa bo treba razviti še kar nekaj inovativnih materialov in sistemov. Posebej to velja za ovoj stavbe. Ključna beseda pri tem je integracija vseh elementov v učinkovito delujočo celoto.

Danes se razvijajo elementi, ki omogočajo izgradnjo interaktivnega in prilagodljivega ovoja stavbe. Tak ovoj bo vseboval senzorje za merjenje obnašanja stavbe, morda bo izpisoval informacije ter komuniciral s stavbo in okolico. Določene funkcije, kot je na primer prosojnost, bo mogoče nastavljal, ključno pa bo nastavljanje toplotne prevodnosti elementov stavbnega ovoja. Elementi bodo vključevali tudi sisteme za aktiven zajem energije. Tako bodo stavbe v resnici lahko postale energijsko avtonomne.

Pot do tako naprednih in kompleksnih izdelkov, ki nikakor ni enostavna, vodi preko posameznih korakov. V prihodnosti bodo potrebni še bolj učinkoviti materiali pri omejevanju toplotnega toka na ovoju stavbe. Nekatere tovrstne materiale in sisteme že razvijajo v razvojno-raziskovalnih projektih. Govorimo o nanoporozni toplotni izolaciji, poimenovani tudi supertoplotna izolacija. Ta po svojih izolacijskih sposobnostih sicer ne dosega vakuumске tehnologije, a je njena toplotna prevodnost v grobem za polovico manjša od sodobne klasične izolacije. Obe tehnologiji sta dovolj razviti, da se uporabljata za posebne rešitve v gradbeništvu, in le vprašanje časa je, kdaj bosta na trgu nastopili tudi širše. Poleg superizolacijskih materialov se danes srečujemo tudi s povsem drugačnimi koncepti. Na trgu se pojavlja refleksijska toplotna izolacija, ne smemo pa pozabiti tudi na naravne materiale, med katerimi je kot toplotni izolator posebej zanimiv penjeni les. Srečujemo se torej s celim naborom materialov, ki naj bi, vsak po svoje, zagotavljali zelo dobre lastnosti ovoja stavbe.

Poleg omenjenih materialov bo za hiše prihodnosti treba razviti tudi pametne in prilagodljive sisteme za zasteklitev. Na tem področju smo v Sloveniji po doseženih rezultatih razvoja v evropskem vrhu. Slovenija premore odlične proizvajalce stavbnega pohištva in celotnih fasadnih sistemov, ki predstavljajo zelo dobro podlago za želeno interaktivnost in prilagodljivost ovoja stavbe. Morda je prav to smer razvoja visokotehnoloških izdelkov, kjer ima Slovenija razvojno priložnost.

Naslednja komponenta, potrebna za skoraj nič energijsko hišo, ki jo moramo integrirati v ovoj stavbe, je sistem za zajem sončne energije. Že danes je mogoče izdelati funkcionalne elemente z integriranimi fotonapetostnimi moduli ali integriranimi sprejemniki sončne energije. Vsekakor se ti elementi, ki so lahko tudi hibridni, z združeno fotonapetostno in toplotno funkcijo, zelo hitro razvijajo in dopolnjujejo.

Kombinacij na stavbnem ovoju je zelo veliko, zato je kompleksno življenjsko vrednotenje posameznih proizvodov in sistemov ter njihovo celovito ocenjevanje delovanja izredno zahtevna naloga.



Nove metode vrednotenja stavb

Množica novih materialov in predvsem materialov, ki temeljijo na neklasičnih principih zmanjševanja toplotnega toka, zahteva ponoven razmislek o metodah merjenja in vrednotenja. Običajno merjenje toplotnih lastnosti materialov temelji na stacionarnem stanju in opazovanju gostote toplotnega toka. Metoda je standardizirana in dobro opisuje dogajanje v stavbi, dokler govorimo o klasičnih materialih, ki ne spreminjajo svojih lastnosti. Kadar pa imamo opravka z interaktivnimi materiali in elementi, potrebujemo kompleksnejši pristop.

Standardizirano merjenje toplotne prevodnosti materiala je danes med proizvajalci zelo razširjeno, saj je pomembno predvsem z vidika obvladovanja kakovosti proizvodnje. Precej kompleksnejše je merjenje toplotne prehodnosti konstrukcij, vključno z vplivom toplotnih mostov. To je metoda, pri kateri v komori pod nadzorovanimi pogoji zelo natančno merimo toplotno moč, ki prehaja skozi konstrukcijo ali element ovoja pri izbrani temperaturni razliki. S to metodo merimo stavbno pohištvo in druge sestavljene elemente. Komora za tovrstne meritve, ki jo imamo na ZAG, ima poleg osnovnih zmožnosti še eno posebnost: na hladni strani naprave je mogoče simulirati sončno sevanje.

Obe opisani metodi sta stacionarni, zato z njima ne moremo proučevati vpliva toplotne mase na rezultate energijskih tokov. Prav tako tudi ne moremo opazovati vpliva svetlobe in vpada sevanja na površino pod različnimi koti. Za opazovanje realnega obnašanja fasadnega elementa pri zunanjih pogojih je potrebna celica, ki je kombinacija kalorimetrične komore in komore, ki omogoča izpostavo merjenega elementa zunanjim pogojem. Taka oprema omogoča, da toplotne lastnosti fasadnih elementov merimo na dinamičen način. S tem namesto ene številčne vrednosti, ki opisuje energijske lastnosti, dobimo odvisnosti, ki mnogo bolj celovito opisujejo posamezne toplotne tokove in tudi skupni toplotni tok skozi merjeni gradbeni element. Tako lahko istočasno opazujemo odziv gradbene konstrukcijske sestave na spreminjajočo se zunanjo temperaturo in sončno obsevanje ter določimo, ali prevladajo toplotne izgube ali sončni dobitki. Pri tem lahko zaradi fleksibilne konstrukcije testne celice proučujemo vpliv toplotne mase prostora pri različnih notranjih pogojih. Testna celica omogoča tudi časovno nastavljljive notranje pogoje. Tako lahko merimo obnašanje posameznega elementa v različnih scenarijih uporabe. S tem se najbolj približamo merjenju elementa v končni rabi. Le tako lahko lastnosti merjenega gradbenega elementa opredelimo dovolj dobro, da je kasneje možna dinamična obravnava toplotnega odziva stavbe.

Opisana testna celica velikosti 3 m × 3 m × 5 m z adiabatnimi stenami je zadnja pridobitev ZAG na področju naprav za preskušanje energijskih lastnosti sistemov in elementov obodnih konstrukcij. V njenih stenah so krmiljene ravnine z vsiljeno temperaturo, s čimer v celici ustvarimo pogoje, ki izločijo zunanje vplive. Tako lahko na primer simuliramo vpliv sosednjih prostorov na obnašanje opazovanega prostora. Posebna konstrukcija stene omogoča, da pred adiabatno ravnino vgradimo različne obloge, na primer obloge z integriranimi fazno spremenljivimi materiali. Drugo področje merjenja, ki ga s pomočjo nove testne celice lahko proučujemo, je osvetlitev prostorov z dnevno svetlobo in razporeditev svetlobe v prostoru, kadar merimo za svetlobo prepustne fasadne elemente.

Ta informacija je zelo pomembna za celovito presojo energijskih tokov skozi opazovani element kot tudi za oceno parametrov za načrtovanje svetlobnih razmer v stavbi, v katero bo element vgrajen. S testno celico tako lahko proučujemo učinkovitost senčil in usmernikov svetlobe ter vpliv kakovosti površine sten na razporeditev svetlobe v prostoru.

Velik volumen testne celice ter sledenje vsem energijskim tokovom s pomočjo kalorimetrov, piranometrov, pirgeometrov ter merilniki gostote toplotnega toka ter seveda temperature, hitrosti in vlažnosti zraka omogočata tudi simulacijo različnih scenarijev rabe prostora. Oprema je povsem raziskovalne narave in je dejansko zelo redka. Tako se ZAG s testno celico za merjenje gradbeno-fizikalnih lastnosti fasadnih komponent postavlja ob bok najbolj uglednim in uveljavljenim razvojno-raziskovalnim institucijam po celotni Evropi. Naša nova oprema je pomembna tudi zato, ker omogoča raziskave slovenskih izdelkov z visoko dodano vrednostjo, kot je na primer fasadni sistem QBISS Air. Tovrstni fasadni sistemi so zelo kompleksni in lahko vsebujejo tudi aktivne funkcije, kot so na primer integriran sistem za zajem sončne energije, lokalna prezračevalna naprava ali krmiljeno prilagajanje prepustnosti za energijo sončnega sevanja. Kompleksnosti takih sistemov ne moremo več popisati s standardnimi računskimi orodji, temveč moramo razviti ustrezne modele v orodjih, ki to omogočajo. Testna celica omogoča meritve, ki so dovolj celovite in kompleksne, da lahko take numerične modele preverimo, preden jih uporabimo pri projektiranju stavb.

ZAG v procesu trajnostne gradnje

Trajnostna gradnja je v Evropi dokončno prepoznana kot pravilna smer razvoja gradbeništva. Prinaša širši pogled na lastnosti in vlogo posameznih gradnikov stavbe in širšega grajenega okolja. Pri tem so energijske lastnosti eden ključnih parametrov opisa proizvodov.

Perspektiva razvoja slovenske industrije gradbenih proizvodov vključuje tudi razvoj visokotehnoloških vrhunskih izdelkov. Znanje za to v Sloveniji imamo, kar potrjuje lepo število izdelkov, kot so fasadni sistem QBISS Air (Trimo), koncepta okna Unisash (Kovinoplastika Lož) in Zerosash (AJM), okna Natura (M-Sora) in lokalni prezračevalni sistem Mikrovent (MIK), če naštejemo samo nekatere. Vsi ti izdelki so kompleksni do te mere, da zahtevajo poglobljeno razumevanje delovanja v realnih pogojih. Zato so relevantna merjenja nujni del pri razvoju celovite ponudbe, ki bo v končni fazi lahko pripeljala do izvoznih izdelkov z visoko dodano vrednostjo. ZAG poleg vrednotenja energijskih lastnosti zagotavlja tudi celovito trajnostno presojo izdelkov s stališča obravnave življenjskega cikla proizvoda. V nastajanju je tudi podatkovna baza gradbenih proizvodov z njihovimi lastnostmi, ki je ključen element pri implementaciji znanja v projektantsko prakso.

ZAG je na specifičnem področju gradbene fizike že danes pomemben razvojno-raziskovalni partner v Sloveniji in EU. Obstoječe znanje in oprema, še posebej zadnje pridobitve, omogočata kakovostno partnerstvo z domačo industrijo, kar pripomore k njeni

večji konkurenčnosti. Poleg tega evropska dimenzija sodelovanja pomeni na eni strani dotok znanja v Slovenijo in na drugi predstavitev slovenskih konceptov in izdelkov v EU. Zato že v bližnji prihodnosti pričakujemo intenziven razvoj najnaprednejših konceptov ter optimizacijo in izboljšave obstoječih tehnologij. Tudi integracija informacijske tehnologije v gradbene proizvode je neizbežna. S tem se odpira veliko možnosti za krmiljenje lastnosti proizvodov ter optimizacijo obnašanja stavbe. Slednja je mogoča le, če znamo proizvod dovolj dobro opisati. In prav na tem področju ZAG stopa naprej, tudi z novimi pridobitvami. Šele z uporabo raziskovalne opreme in znanja ZAG v razvoju konkretnih proizvodov zapremo krog inovacij.

Dolgoročno gledano nova oprema predstavlja mejnik in ne konca razvoja. ZAG bo še naprej soustvarjal trende gradnje v Sloveniji in Evropi. Končni cilj, ki ga imamo pri tem pred očmi, je popolna trajnostna stavba, ki bo omogočala idealno počutje človeka v njej in bo ekonomsko optimalna. Takšna stavba bo zaradi zahtev po prilagodljivosti in spremljivosti ter negotovih klimatskih razmer v prihodnosti po vsej verjetnosti visokotehnološka aktivna stavba, vendar bo v njeno delovanje vgrajene veliko avtonomnosti, kar bo razbremenilo uporabnika pri manj pomembnih odločitvah.

Pri vsej naravnosti v trajnostnost in energijsko učinkovitost na koncu vendarle ne smemo pozabiti bistva trajnostne gradnje: stavba je namenjena človeku in ne obratno. Zato ne smemo spregledati vseh bistvenih parametrov, ki določajo stavbo in so povezani z njeno trdnostjo in varnostjo. Prav ta povezava izpostavlja ključni pomen kompleksne obravnave stavb, ki jo premoremo na ZAG. Šele na ta način raziskave na področju energije in trajnostne gradnje dokončno osmislimo.





ZAVOD ZA GRADBENIŠTVO SLOVENIJE

Dimičeva ulica 12, SI-1000 Ljubljana

info@zag.si, www.zag.si



9 789619 036693

