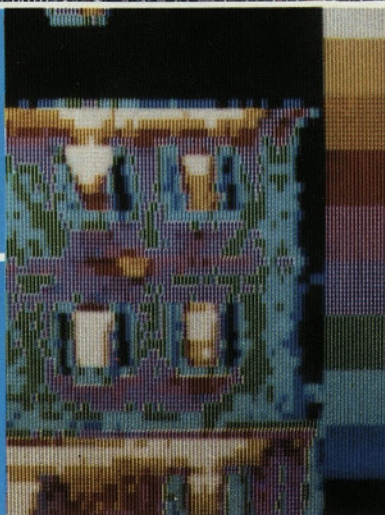
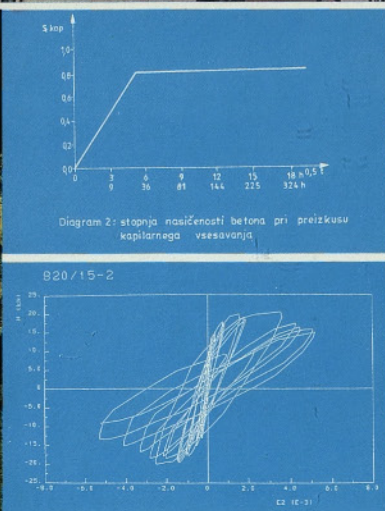
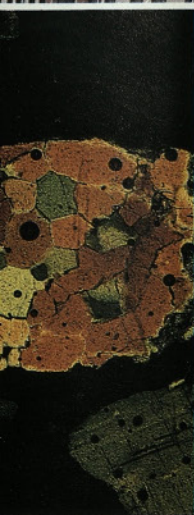


UDK-UDC 05:625;
YU ISSN 0017-2774

LJUBLJANA,
NOVEMBER,
DECEMBER

LETNIK XXXVIII,
STR. 267-364

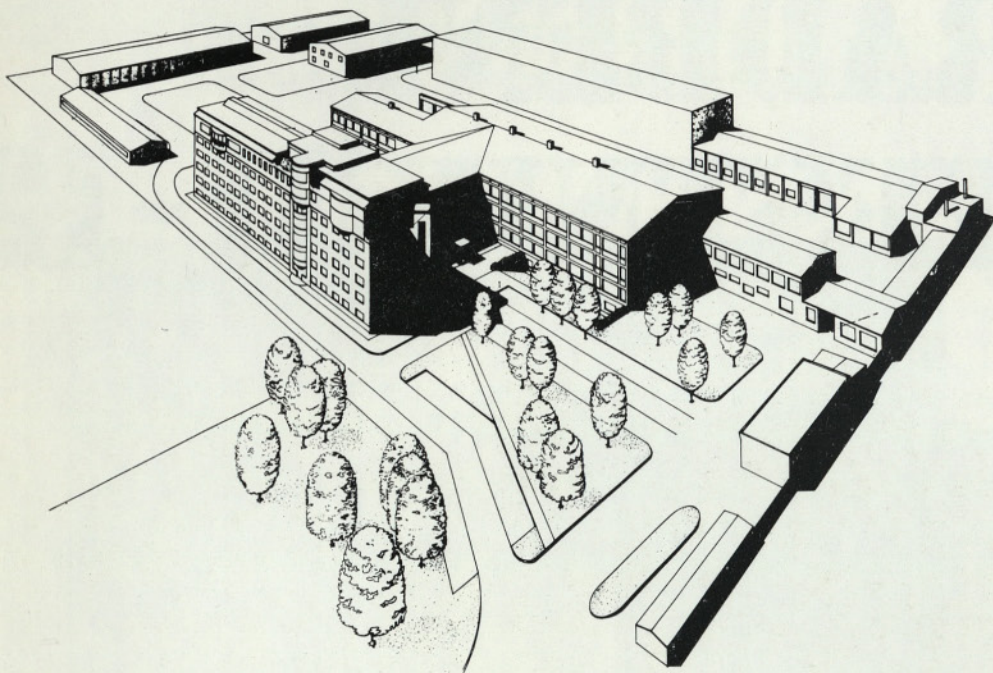
GRADBENI VESTNIK 11-12



ZMK
40
LET



ZAVOD ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA, n. sol. o.



TOZD INŠTITUT ZA GEOTEHNIKO IN CESTE LJUBLJANA, n. sub. o.
TOZD INŠTITUT ZA KONSTRUKCIJE, GRADBENO FIZIKO
IN SANACIJE LJUBLJANA, n. sub. o.
TOZD INŠTITUT ZA MATERIALE LJUBLJANA, n. sub. o.

DELOVNA SKUPNOST SKUPNE SLUŽBE

Naslov: Dimičeva 12, 61109 Ljubljana, p. p. 54, Jugoslavija
Telefon: (061) 344 061
Teleks: 31449 YU ZRMK
Telegrami: RAZMAT

ENOTA V MARIBORU

Gorkega 1, 62000 Maribor, Jugoslavija
Telefon: (062) 23 849, 32 851

POIZKUSNI CENTER GAMELJNE

Gameljne 41, 61211 Šmartno pod Šmarno goro, Jugoslavija
Telefon: (061) 59 126

DEJAVNOSTI:

Raziskave in kontrola kakovosti vseh vrst materialov, njihovih surovin ter razvoj tehnologij za proizvodnjo in uporabo.

Raziskave tehnologij za shranjevanje odpadnih materialov in za uporabo sekundarnih surovin – varstvo okolja.

Proizvodnja specialnih materialov in njihova aplikacija.

Raziskave in kontrole s področja gradbene fizike: prostorska akustika, zvočna, toplotna in požarna zaščita ter zaščita proti vlagi.

Raziskave s področja geomehanike, inženirske geologije in izvajanje specialnih geotehničnih del.

Projektiranje in izvajanje klasičnih in masovnih miniranj hribin ter specialnih miniranj objektov.

Raziskave in kontrola kakovosti na področju prometne infrastrukture.

Raziskave in kontrola kakovosti gradbenih konstrukcij.

Raziskave na področju potresnega inženirstva.

Patologija konstrukcij in sanacije.

Raziskave za povečanje trajnosti in zanesljivosti strojev, naprav in njihovih delov.

Raziskave s področja tribologije.

Raziskave na področju gradbene mehanizacije.

Tehnični nadzor žičnic.

Razvoj in izdelava laboratorijske opreme.

Umerjanje meril za silo, trdoto, gostoto in vlago.

Izdelava investicijskih programov, tehnične dokumentacije ter izvajanje svetovalnega inženiringa in inženiringa v obsegu, v katerem opravljamo študije, raziskave in razvoj.

Kontrola tehnične dokumentacije.

Nadzor gradnje gradbenih in rudarskih objektov.

Izobraževanje strokovnjakov iz prakse s področja dejavnosti.

Informacijsko-dokumentacijska služba in računalniški center.



GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

ŠT. 11-12 • LETNIK 38 • 1989 • YUISSN 0017-2774

VSEBINA - CONTENTS

Članki, študije, razprave
Articles studies,
proceedings

Borut Gostič: 40 LET RAZVOJA ZAVODA ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA	268
TEHNOLOGIJA BETONOV S POUĐARKOM NA VISOKOERIRANIH DROBNOZRNATIH BETONIH	270
Edvard Mali, Andrej Zajc, Janez Gjura st., Jakob Šušteršič, Tomo Gečev, Jadran Korla: VISOKOERIRANI DROBNOZRNATI BETONI V GRADBENIŠTVU HIGHLY AERATED SMALL-GRAINED CONCRETES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY	270
Jakob Šušteršič, Stanislav Urbančič, Edvard Mali: MIKROARMIRANI BETONI S POUĐARKOM NA VISOKOERIRANIH BETONIH MICRO-REINFORCED CONCRETES, WITH SPECIAL EMPHASIS ON HIGHLY AERATED CONCRETES	280
Janez Gjura, Andrej Flis: VISOKOERIRANI BETONI V SANACIJSKIH IN RESTAVRATORSKIH DELIH HIGHLY AERATED CONCRETES IN REPAIR AND RESTORATION WORKS	284
Damijana Dimić, Jerneja Šuput, Matjaž Pelan: TITANOVA SADRŽA IZ CINKARNE ČELJE V PROIZVODNJI CEMENTA TITANOGYPSUM FROM THE CELJE ZINC-WORKS FOR THE PRODUCTION OF CEMENT	287
Jurij Šoba, Andrej Eleršek, Mihaela Kovačević: 13 LET RAZVOJA NA PODROČJU TEMPERATURNO OBSTOJNIH IZOLACIJSKIH MATERIALOV 13 YEARS OF DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE RESISTANT INSULATING MATERIALS	294
GRADBENOFIZIKALNA PROBLEMATIKA ZGRADB PRI NAS THE PROBLEMS OF BUILDING PHYSICS IN THE BUILDINGS OF SLOVENIA	300
Jelka Lebar: TOPLOTNA ZAŠČITA ZGRADB	301
Peter Šimenko: PREVENTIVNA GRADBENA POŽARNA ZAŠČITA ZGRADB	303
Savo Volovšek: GRADBENA AKUSTIKA	305
Matjaž Zupan: PASIVNO IZKORIŠČANJE SONČNE ENERGIJE	307
Peter Žargi: HIDROZAŠČITA ZGRADB	308
Miha Tomažević, Tomaž Velečovsky, Polona Weiss: RAZISKAVE POTRESNE ODPOORNOSTI ZIDANIH ZGRADB Z MEŠANIM KONSTRUKCIJSKIM SISTEMOM INVESTIGATION OF THE SEISMIC RESISTANCE OF MASONRY BUILDINGS WITH A MIXED STRUCTURAL SYSTEM	311
Vera Apih: POLIMERI IN SANACIJE POLYMERS AND THE REPAIR OF STRUCTURES	318
Ernest Trinkaus, Boštjan Godec, David Kenda: KOROZIJA ARMATURE V BETONU THE CORROSION OF REINFORCEMENT IN CONCRETE	322
Marko Fašalek, Igor Ajdič: PREDSTAVITEV SODOBNEGA STATIČNEGA PENETROMETRA INTRODUCING THE MODERN STATIC PENETROMETER	327
Matej Fischinger, Peter Fajfar: O PÖTRESNIH SILAH V PREDPISIH ON THE SEISMIC FORCES IN ASEIMIC CODES	334
Jelena Sprčić, Mladen Houška: LEPLJENI LESENI LAMELIRANI NOSILCI V SPREMENLJIVI VLAGI GLUED LAMINATED BEAMS IN CHANGING HUMIDITY CONDITIONS	341

Poročila Fakultete za
arhitekturo, gradbeništvo
in geodezijo Univerze
E. Kardelja v Ljubljani

Proceedings of the
Department of Civil
Engineering University
E. Kardelj, Ljubljana

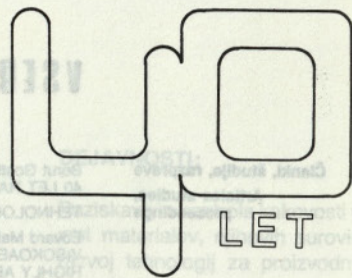
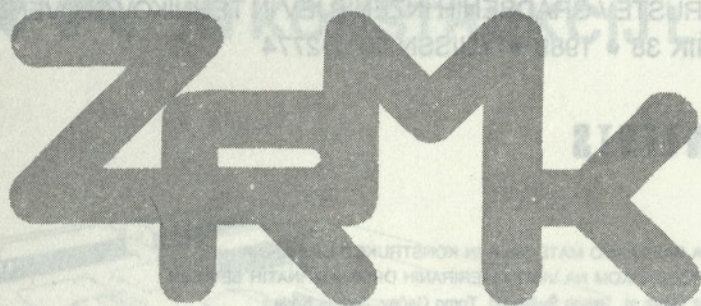
Informacije Zavoda
za raziskavo materiala
in konstrukcij Ljubljana
Institute for testing and
research in materials and
structures
Ljubljana

Glavni in odgovorni urednik: FRANC ČAČOVIČ

Lektor: IRENA PUHAR – Tehnični urednik: DANE TUDJINA

Uredniški odbor: SERGEJ BUBNOV, VLADIMIR ČADEŽ, VOJTEH VLODYGA, STANE PAVLIN, GORAZD HUMAR, IVAN JECELJ, ANDREJ KOMEL, BRANKA ZATLER-ZUPANČIČ, JOŽE ŠČAVNIČAR, DR. MIRAN SAJE

Revija izdaja Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon: 221 587. Žiro račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska Tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Celoletna naročnina, skupaj s članarino za člane društev znaša 30.000 din. Za študente in upokojece velja polovična cena. Naročnina za gospodarske naročnike za II. polletje 1989 znaša 250.000 din, za inozemske naročnike pa 50 US\$. Revija izhaja ob finančni pomoči Raziskovalne skupnosti Slovenije, Splošnega združenja gradbeništva in IGM Slovenije, Zveze vodnih skupnosti Slovenije, Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana in Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani.



40 LET ZAVODA ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA

Delavci Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana (ZRMK) praznujemo v letošnjem letu 40-letnico njegovega obstoja. Pred **40 leti** je namreč vlada Ljudske republike Slovenije ustanovila Gradbeni inštitut, temelj sedanjega Zavoda, in mu naložila naslednje naloge:

- **raziskovati tehnično kakovost gradbenega materiala, surovin za proizvodnjo gradbenega materiala, gradbenih elementov in konstrukcij;**
- **raziskovati in preizkušati nove vrste gradbenega materiala, gradbene elemente in konstrukcije;**
- **raziskovati nove vire surovin za proizvodnjo gradbenega materiala, dajati predloge za standarde gradbenega materiala in gradbenih elementov;**
- **preiskovati in dajati mnenja o kakovosti tal in načinu fundiranja za gradbene namene;**
- **preučiti nove produkcijske metode v gradbeništvu in industriji gradbenega materiala doma in v tujini;**
- **organizirati zbirke gradbenega materiala, gradbenih elementov in modelov gradbenih konstrukcij;**
- **objavljati rezultate svojega dela.**

Z današnjega vidika lahko trdimo, da je bil program dela Gradbenega inštituta vizionaren. Izdelan je bil namreč v času, ko je bila osnovna naloga gradbenikov obnoviti domovino, porušeno med drugo svetovno vojno. Kljub temu je bil program aktualen še vseh naslednjih **40 let**, ko smo sprva gradili izredno intenzivno, nato pa, podobno kot na vseh ostalih področjih, začeli stagnirati.

Gradbeni inštitut je sprva štel samo šest delavcev, kljub temu jim je uspelo do leta 1952 pridobiti novo stavbo v Dimičevi ulici 12, jo opremiti s kakovostno raziskovalno opremo in pritegniti k sodelovanju še približno 140 delavcev, med njimi tudi številne strokovnjake za posamezna področja. Istega leta je vlada Ljudske republike Slovenije razglasila Gradbeni inštitut za gospodarsko ustanovo s samostojnim financiranjem in z novim imenom – Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij LRS.

Vodstvo Zavoda se je glede na omenjeni način financiranja zavedalo, da mora biti delo Zavoda pomembno za vso gradbeno dejavnost. Delavci Zavoda so s projektanti, z izvajalci, s strokovnim nadzorstvom in z inšpekcijskimi službami tesno sodelovali pri reševanju zahtevnih problemov, ki so se pojavili v praksi, svetovali kakovostnejše in bolj ekonomične rešitve ter sodelovali pri oblikovanju zakonodaje. Tak način je utrdil mesto Zavoda v slovenskem in jugoslovanskem gradbeništvu, še več, terjal je stalno širjenje njegovih zmogljivosti. Tako se je sčasoma povečalo število delavcev, pri čemer smo posebej pazili, da se je nenehno izboljševala kvalifikacijska struktura zaposlenih. V letu 1984 smo zgradili še prizidek s 4600 m² novih delovnih prostorov in s tem rešili prostorsko stisko. Večje težave smo imeli z raziskovalno opremo, saj so bile potrebe ves čas večje od možnosti za nabavo. Kljub temu lahko ugotovimo, da smo tudi tu sledili razvoju in da imamo solidno raziskovalno opremo, posebej glede na razmere pri nas.

Po 40 letih od ustanovitve ima Zavod status znanstveno-raziskovalne organizacije. Čeprav smo zadržali osnovne smeri delovanja Gradbenega inštituta iz leta 1949, smo poslovni predmet močno razširili in tako postali največja znanstveno-raziskovalna organizacija, ki deluje na področju graditeljstva v naši republiki.

Na Zavodu je sedaj zaposlenih približno 470 delavcev, od katerih jih ima 119 visokošolsko izobrazbo, magisterij ali doktorat znanosti, 16 višješolsko in 148 srednješolsko izobrazbo. Delo poteka v treh organizacijskih enotah: Inštitutu za materiale, Inštitutu za konstrukcije, gradbeno fiziko in sanacije ter v Inštitutu za geotehniko in ceste.

Pri našem delu se prepletajo raziskovalna, svetovalna, razvojno-aplikativna in kontrolna dejavnost, kar nam hkrati omogoča razvoj in prenos rezultatov tega razvoja v prakso. Posebno pozornost posvečamo raziskovalnemu delu, ki je naša osnovna dejavnost in podlaga za vse ostale aktivnosti. Temu cilju prilagajamo tudi sistem kadrovanja in dodatnega izpopolnjevanja.

Podatek, da 93 % dohodka ustvarimo z nalogami, ki jih neposredno naroči gospodarstvo, preostalih 7 % pa financira Raziskovalna skupnost Slovenije (spet posredno iz gospodarstva), kaže na tesno povezavo Zavoda z gradbeništvom in industrijo. Čeprav sta trenutno oba v krizi, pa le pričakujemo, da bo zmanjševanje obsega gradnje še povečalo interes graditeljev za iskanje racionalnejših rešitev in s tem tudi za sodelovanje z Zavodom.

Razumljivo je, da po **40 letih** uspešnega delovanja precej razmišljamo o usmeritvi Zavoda v prihodnje. Menimo, da moramo predvsem izpopolnjevati znanje na vseh področjih naše dejavnosti.

Nadalje se bo treba preusmeriti na vsa tista področja, kjer bo mogoče z boljšo organizacijo in kakovostnejšimi načini gradnje doseči ob minimalnih vlaganjih velike učinke racionalizacije. (Rezerve so po našem mnenju ogromne!) Med njimi je izredno pomembno področje stanovanjske gradnje, kjer so kljub stagnaciji vložena ogromna sredstva, ki niso vedno optimalno izkoriščena. Zato nameravamo našo raziskovalno dejavnost še dopolniti, tako da bi v celoti zajeli področje stanovanjske gradnje, zagotavljali varnost, trajnost in ekonomičnost zgradb, v katerih bodo ugodni ter zdravi bivalni in delovni pogoji. Intenzivneje se bomo vključili tudi na področje prometne infrastrukture, kjer lahko s svojimi raziskovalnimi kapacitetami precej pripomoremo h gradnji kakovostnih in ekonomičnih prometnih objektov. Čeprav si že več kot deset let prizadevamo, da bi družba spoznala velik pomen toplotne zaščite zgradb in pasivnega izkoriščanja sončne energije, še vedno nismo dosegli želenih rezultatov. Kljub temu bomo vztrajali še naprej, da bi tako pripomogli k zmanjševanju porabe energije za ogrevanje zgradb. Intenzivno bomo razvijali nove materiale ter tehnologije in jih prek pilotne proizvodnje v lastnih obratih razvijali do take mere, da bodo primerni za predajo v proizvodnjo drugim delovnim organizacijam.

Reševanje ekološke problematike je bilo doslej omejeno le na nekatera področja, kot so zaščita tal pod deponijami, zmanjševanje emisije snovi v okolico, zmanjševanje hrupa itd. Odločili smo se, da bomo to dejavnost razširili in tako s svojim delom pripomogli k čistejšemu okolju. Predvsem si bomo prizadevali poiskati možnosti za učinkovito uporabo sekundarnih surovin.

Svojo dejavnost bomo razširili tudi na področje dopolnilnega izobraževanja delavcev v gradbeništvu, ki bo zajemalo II. do VII. stopnjo. Splošna ugotovitev zaposlenih v gradbeništvu je namreč taka, da brez izpopolnjevanja znanja na vseh ravneh ne bo mogoče slediti svetovnim usmeritvam in zagotavljati sodobne, kakovostne in ekonomične gradnje. Hkrati z navedeno akcijo se nameravamo na Zavodu pripraviti za opravljanje svetovalne, razstavne in informacijske dejavnosti. Realizacija vseh teh pobud pa ni odvisna samo od nas, temveč tudi od pomoči samega gradbeništva, ki te dejavnosti potrebuje.

S Fakulteto za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo se pripravljamo na akcijo **Evropa 92**. Pri tem mislimo na uvajanje in usklajevanje evropskih standardov, normativov in tehničnih predpisov s področja gradbeništva. Potrebovali bomo predvsem ustrezne kadre in opremo, da bomo sposobni izvajati preiskave za domače in tuje interesente po kriterijih navedene regulative.

Avtor:

direktor ZRMK; Borut Gostič, dipl. inž. gradb.

TEHNOLOGIJA BETONOV S POUDARKOM NA VISOKOAERIRANIH DROBNOZRNATIH BETONIH

VISOKOAERIRANI DROBNOZRNATI BETONI V GRADBENIŠTVU

UDK: 691.322

EDVARD MALI, ANDREJ ZAJC, JANEZ GJURA st., JAKOB ŠUSTERŠIČ, TOMO GEČEV, JADRAN KORLA

POVZETEK

V zadnjih petnajstih letih smo za potrebe našega gradbeništva in industrije gradbenih polizdelkov razvijali posebno vrsto pornih betonov z zelo velikim možnim razponom prostorninskih mas, od 300 do 2300 kg/m³. Ti betoni imajo specifično mikrocelično porno strukturo z večjo ali manjšo stopnjo tehnične neprepustnosti za tekočine in pline. Pore uvajamo v vezivo kot komponento betonov pri samem pripravljanju le-teh, in sicer ali po postopkih klasičnega aeriranja ali pa z vmešavanjem pene kot posebej pripravljene komponente. Tako pripravljene betone imenujemo visokoaerirane betone ali penobetone. Ti betoni so enostavni za pripravljanje ter imajo v svežem stanju zelo ugodne reološke karakteristike. V strjenem stanju uspešno združujejo ugodne sanitarno tehnične lastnosti opečnih izdelkov z dobrimi gradbenotehnološkimi in konstrukcijskimi sposobnostmi navadnih težkih betonov. Razširitev uporabe visokoaeriranih drobnozrnatih betonov je zato vsekakor utemeljena.

HIGHLY AERATED SMALL-GRAINED CONCRETES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

SUMMARY

Over the last fifteen years aerated concretes with a very wide range of weights from 300 to 2300 kg/m³ have been developed at ZRMK Ljubljana for the needs of Slovenia's construction industry and industry of prefabricated building products. These concretes have a specific micro-cellular pore structure, which is to a greater or lesser degree permeable to liquids and gases. The pores are introduced into the binder component of the concretes during their actual preparation using either the usual methods of aeration, or else by the mixing in of foam as a separately prepared component. Concretes prepared in this way are called highly aerated concretes, or foam concretes. They are easy to prepare, and in the freshly-mixed state they have very good rheological properties. When hardened they successfully combine the favourable internal-environmental properties of brick products with the excellent building-technological and structural properties of ordinary-weight concretes. The greater use of highly aerated small-grained concretes is thus well justified.

1.0. VISOKOAERIRANI BETONI KOT POSEBNA TEHNOLOŠKA ZVRST

Visokoaerirani betoni so vrsta betonov z določenimi skupnimi specifičnimi osnovami in značilnostmi. Sestave in tehnološko-tehnične lastnosti ter namenska uporabnost so zelo različne.

Avtorji:

Edvard Mali, dipl. inž. gradb., razisk. svetnik – mag.
Andrej Zajc, dipl. inž. fiz., razisk. svetnik – Janez Gjura,
dipl. inž. gradb., razisk. svetnik – Jakob Šusteršič, dipl.
inž. gradb., razisk. sodelavec – Tomo Gečev, dipl. inž.
gradb., razisk. svetnik – Jadran Korla, dipl. inž. gradb.,
višji razisk. sodelavec

Betone lahko nazivno razvrščamo po različnih vidikih. Privzemamo le najbolj splošno razvrstitev uporabljenih vrst betonov glede na prostorninsko maso in na nekatere strukturne značilnosti. Na tej osnovi bomo razvrstili obravnavane visokoaerirane betone.

1.1. SPLOŠNA SHEMATSKA DELITEV BETONOV GLEDE NA PROSTORNINSKO MASO IN NEKATERE ZNAČILNOSTI STRUKTURE

Delitev glavnih vrst betonov iz zrnatih agregatov glede na prostorninsko maso je podana v shemi 1.

Delitev različnih vrst betonov glede na njihovo prostorninsko maso	
Vrsta betonov	Prostorninska masa betona kg/m ³
A Lahki betoni Starejša opredelitev (1) Pogosta današnja opredelitev (7) Opomba k A: Delitve znotraj podanih razponov prostorninskih mas so zelo različne in jih ne navajamo; najbolj pogoste, vendar tudi zelo različne so delitve po prostorninskih masah in strukturnih značilnostih, ki hkrati opredeljujejo konstrukcijske in toplotnoizolacijske, eventualno še zvočnoizolacijske značilnosti oziroma uporabnosti.	300 do 1600 400 do 1800
B Lažji betoni (3) Po masi oziroma teži so to »olajšani« navadni težki betoni v modifikacijah z določeno količino lahkih agregatov ali z zvišano stopnjo aeriranja ali z obojem hkrati. Obravnavamo jih bolj ali manj kot izjemno kategorijo.	1800 do 2300
C Težki betoni (1) C-1 Navadni težki betoni C-2 Težki betoni z večjimi količinami peskov oziroma drobneje zrnati betoni C-3 Težki betoni za masivne konstrukcije To so bolj ali manj posebne sestave betonov z izjemno grobimi ali s težjimi (eruptivnimi) agregati ali betoni s številnimi vključki kamenih kosov, lahko pa so tudi zelo grobozrnati prepaktni betoni.	2100 do 2500 1800 do 2100 2500 do 2800
D Zelo težki betoni (1) Betoni za posebne namene iz težkih agregatov (npr. baritni, magnetitni, železni agregati).	3000 do 5000

Shema 1:

Lažji, težki in zelo težki betoni

so po sestavi in vgrajenosti praviloma kompaktni in tehnično vodotesni. Glede agregatov so vezani na razmeroma zelo stroge in enotne kriterije za kakovost materiala in na granulometrijske kriterije. Dopustne količine por nezgoščenosti so strogo omejene (0,5 do 3,0 vol. %). Ti betoni so lahko nearmirani ali armirani na več načinov.

Za nekatere potrebe, npr. reološko tehnološke in/ali tehnično kakovostne so ti betoni neobvezno ali tudi obvezno aerirani v nižjih stopnjah (2 do 10 vol. %).

Poroznost aeriranja je zaprtega tipa in je vgrajena v betonu v cementni glen (cement + voda + kemični dodatki v svežem stanju) oziroma v cementni kamen (hidratacijsko strjeni cementni glen – vezivna komponenta betona).

Lažji betoni so po masi »olajšani« navadni težki betoni, ki so lahko tudi aerirani v višjih stopnjah. Če je v teh aeriranih betonih delež lahkih agregatov, so njihova zrna delni nosilec poroznosti betona, v primerih brez aeracije pa njen glavni nosilec. To poroznost betona imenujemo zrnata poroznost in je v teh izvedbah vedno zaprtega tipa.

Lahki betoni

so vsi porozni in jih zato imenujemo tudi porni betoni, navadno še s predoznačbo vrste por oziroma poroznosti.

Armiranje teh betonov je omejeno oziroma odvisno od možnosti. Za te betone je močno aktualno mikroarmiranje, posebej še s sintetičnimi in z drugimi korozijsko neobčutljivimi vlakni.

Pore in porni sistemi so po strukturi in načinih tvorjenja zelo različni in imajo večjo ali manjšo stopnjo neprepustnosti za tekočine in pline. Za te betone je značilna tudi raznovrstnost uporabljenih agregatov, ki pa niso obravnavani niti po enotnih kriterijih granulometrije niti kakovosti materiala.

Za omenjene različne pore oziroma porne sisteme je značilno, da so ti lahko odprtega ali zaprtega tipa. V glavnem imamo opravka z medzrnsko in zrnsko poroznostjo obeh tipov in z umetno uvajano »celično« poroznostjo večinoma zaprtega tipa. Predvsem ta je značilna za obravnavane betone. Prednostno izbiramo čim bolj fino strukturo te poroznosti. V sveže betone oziroma v njihovo vezivno komponento jo vgrajujemo na različne načine, ki so tipični in navadno zajeti tudi v nazivih betonov.

2.0. OSNOVNE ZNAČILNOSTI SVEŽIH VISOKOAERIRANIH BETONOV (SESTAVA, PRIPRAVA, VGRAJEVANJE, REOLOŠKE LASTNOSTI)

2.1. MATERIALNA SESTAVA SVEŽIH VISOKOAERIRANIH BETONOV

Osnovna skupna značilnost teh betonov je njihova poroznost z določeno strukturo, večinoma zaprtega tipa, in je vgrajena v vezivno komponento cementni glen oziroma cementni kamen. Dosegamo jo s postopki aeriranja, tj. uvajanja zračnih mikropor v sveži beton v določenih, pretežno višjih stopnjah. Redi velikosti teh stopenj so razvrščeni v območju od okrog 10 do 80 vol. %

O zvišanih stopnjah aeracije govorimo zato, ker je v tehnologiji in tehniki navadnih težkih betonov aeriranje v nižjih stopnjah (2–10 vol. %) že splošno poznana in uporabljana modifikacija.

Tipična postopka za uvajanje in vgrajevanje mikropornih sistemov v betone sta klasična tehnologija aeriranja betonov z aeranti in tehnologija penobetonov oziroma penopornih betonov. Za obe tehnologiji je značilno, da uvajani porni sistemi temeljijo na fizikalnem penjenju tekočinskih kemičnih sredstev (ali aerantov ali penil) in da so porni sistemi obeh zvrsti strukturno oziroma funkcijsko medsebojno podobni in usklajeni.

Obravnavani betoni so glede na pore in porne sisteme označeni kot aerirani betoni oziroma penobetoni.

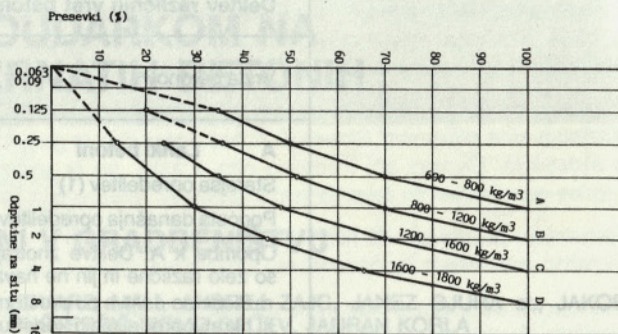
Prostorninske mase obravnavanih betonov se v programsko obvladljivih graduacijah razvrščajo v izredno velikem razponu, med 400 in 2200 kg/m³ ali tudi nekaj več. Glede na shemo 1 obsega ta razpon celotno območje lahkih betonov, skoraj celotno območje lažjih betonov in še razmeroma velik del območja tistih težkih betonov, ki jih v gradbeništvu, posebej še v visoki gradnji, največ uporabljamo.

Prostorninska masa, nazivna in dejanska, te betone pravzaprav definira in je zato element za njihovo nazivno enotno opredeljevanje.

Nadaljnja bistvena in tipična značilnost obravnavane zvrsti betonov je ta, da za njihovo pripravljanje uporabljamo pretežno fino- in drobnazrnate agregate, ki so sicer lahko zelo različni po izvori, vrstah in skupnih sestavah zrnivosti. Največ se uporablja skupna sestava z največjimi zrni (D_{maks}) med 0,5 in 4 ali 8 mm. Za določene rešitve pa je premer največjega zrna tudi do 16 mm ali več.

Praviloma velja, da se za betone z manjšimi prostorninskimi masami uporabljajo bolj fino- oziroma drobnazrnati agregati, za betone z večjimi prostorninskimi masami pa tudi bolj grobnazrnati agregati (sl. 8).

Uporabljajo se nedrobljeni agregati, manj pa drobljeni agregati in mešani peski oziroma kameni agregati. Za določene rešitve se uporabljajo tudi drugi naravni in/ali umetni agregati (ekspandirana glina, opečni drobirji, lahki naravni materiali, ekspandirani polistiren in drugo). Po-



Slika 1. Diagram območja skupne zrnivosti agregata (orienta- cijsko $D_{maks} = 1$ do 8 mm)

sešno primerna je uporaba lažjih agregatov s čvrstimi (trdnimi) zrni, ki omogoča, da pri sicer enakih prostornin- skih masah betonov dosežemo boljše mehanske in druge fizikalne lastnosti (npr. zvečana trdnost, vodotesnost). Organski materiali, razen navedenega polistirena, se do sedaj še niso uporabljali.

Visokoaerirani betoni so tudi specifična zvrst za zelo različne arhitektonske namene, kajti z njimi pogosto dose- gamo zelene teksturne in barvne učinke na vidnih površi- nah. V določenih izvedbah so porni betoni lahko tudi malte za ročno ali strojno ometavanje, zidanje, estrie in podob- no. V takih primerih izbiramo agregat glede na določen namen uporabe.

Za cemente ter kemične in druge dodatke za te betone veljajo enaki vidiki kot za navadne težke in druge lahke betone.

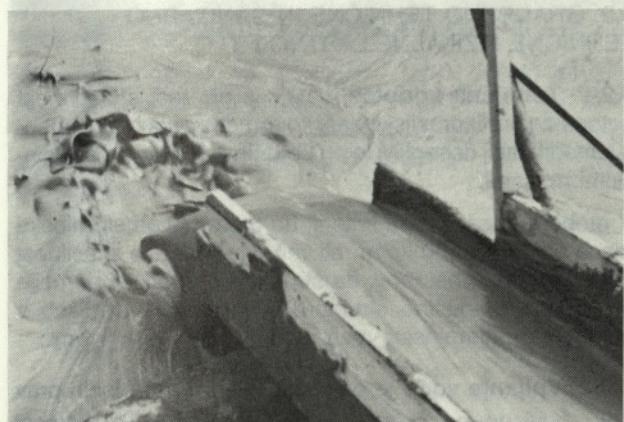
Prednostno uporabljamo hitreje strjujoče se cemente z večjimi začetnimi trdnostmi. V primerjavi z navadnimi betoni je količina cementov v pornih betonih na splošno nekoliko večja, v širšem območju je od 150 do 700 kg/m³, najbolj pogosto pa med 300 in 500 kg/m³.

Izmed kemičnih dodatkov se največkrat uporabljajo plasti- fikatorji (navadni ali super), za določene potrebe tudi pospeševala ali zavlačevala hidratacije.

Lahko pa dodajamo amorfn SiO_2 (mikrosiliko) kakor tudi sintetična ali kovinska vlakna za mikroarmiranje. Mikrosi- lika in vlakna imajo dobre indikacije in so delno že preizkušena, hkrati pa jih še intenzivno raziskujemo. Za določene rešitve je primerna tudi uporaba polimernih dodatkov.

2.2. PRIPRAVLJANJE TER VGRAJEVANJE VISOKOAERIRANIH BETONOV IN NJIHOVE REOLOŠKE LASTNOSTI

Sveže visokoaerirane betone lahko pripravljamo v različ- nih stopnjah plastičnosti, od tekoče oziroma livne konsi-



Slika 2. Finozrnati visoko aerirani betoni z živno konsistenco in manjšo prostorninsko maso



Slika 3. Drobnazrnati visoko aerirani betoni z mehko plastično konsistenco in večjo prostorninsko maso

stence (sl. 2), ki se največ uporablja, do plastične in trdoplastične oziroma glineno gnetne konsistence (sl. 3). Stopnje trdoplastične konsistence je mogoče dosegati predvsem pri betonih z večjimi prostorninskimi masami.

Tehnologija in tehnika pripravljavanja visoko aeriranih betonov in ravnanje (manipuliranje) z njimi pred vgrajevanjem in med njim sta podobni tehnologiji in tehniki za navadne betone.

Črpana sposobnost pornih betonov tudi pri sicer numerično ustreznih konsistenčnih stopnjah ni vnaprej dana in mora biti za posamezne sestave določena s preizkusi, za določene sestave pa sploh ni dosegljiva. Na splošno so najbolj primerne rotacijske in polžne črpalke.

Visoko aerirani betoni v glavnem sploh niso nagnjeni k mikro- ali makrorazmešanju in so dobro vododržni (nizek „bleeding“), lahko zgostljivi ter obdelavni na več načinov.

Ti betoni se enostavno vgrajujejo bodisi neposredno na objektih, torej na mestu grajenja, bodisi na mestu predizdelave (prefabrikacije). Za vgrajevanje v opaže in kalupe je odločilna solidnost njihove izdelave, posebej še glede zanesljive vodotesnosti.

Pogosto lahko te betone vgrajujemo neposredno samo z litjem brez vibriranja, v določenih primerih pa z lažjimi vibracijami s šokom ali z razprostiranjem in zaglajevalno obdelavo. Visoko aerirane betone lahko enostavno polagamo na vodoravne in tudi na precej nagnjene površine (estrihi, obloge, naklonski betoni). Ročno ali strojno se dobro nametavajo na podlago, tudi navpično, in se z njo dobro sprijemajo (ometi).

Ocenimo lahko, da se stroški pri visoko aeriranih betonih glede na materialno sestavo in deloma tudi glede na pripravljavanje v primerjavi z navadnimi težkimi betoni le malo zvečajo.

Te stroške povrnemo in presežemo že z izboljšavami reoloških lastnosti svežih betonov in s poenostavitvami pri betonarskih delih.

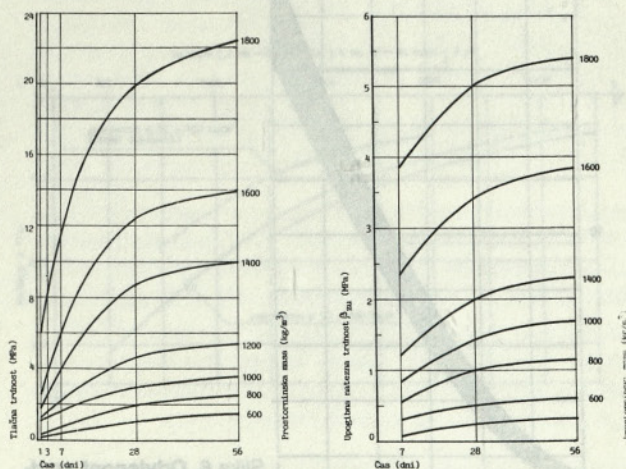
3.0. TEHNIČNE LASTNOSTI STRJUJOČIH SE OZIROMA STRJENIH VISOKO AERIRANIH BETONOV IN NJIHOVA VEČNAMEMBOST

Strjujoči se in strjeni visoko aerirani betoni so glede tehničnih lastnosti zelo različni. Njihove lastnosti so odvisne:

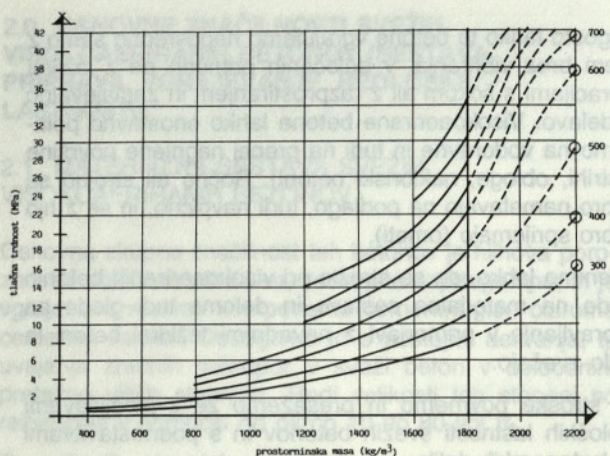
- predvsem od prostorninske mase betona, ki je odvisna od količine mikropor aeracije,
- pri enakih prostorninskih masah še od kakovosti ter količine agregata in cementnega kamna.

3.1. MEHANSKO-FIZIKALNE LASTNOSTI

3.1.1. **Tlačne trdnosti** visoko aeriranih betonov, ki jih lahko razvrščamo v korelaciji s prostorninsko maso (γ), realno dosegajo vrednosti med 1 in 35 MPa ($\gamma = 600$ do 2200 kg/m³). Večje vrednosti so dosegljive s posebnimi in z dražjimi modifikacijami (sl. 4 in 5).



Slika 4. Odvisnost mehanske (tlačne in upogibno-natezne) trdnosti visoko aeriranih betonov od prostorninske mase in starosti



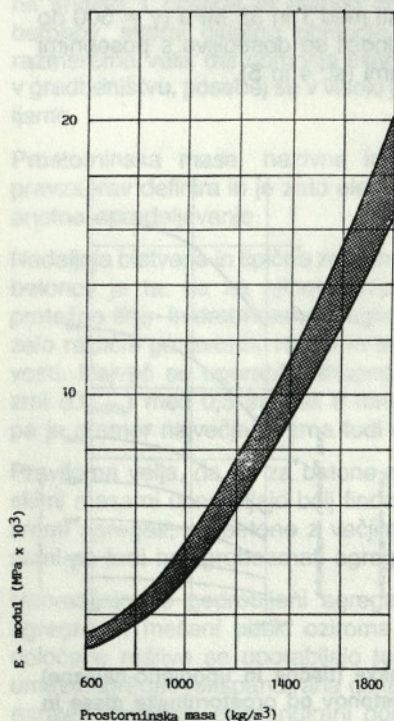
Slika 5. Rezultati alternativnih preiskav litih visokoaeriranih betonov tekoče konsistence v korelaciji: prostorninska masa – količina cementa – tlačna trdnost

3.1.2. **Upogibno-natezne trdnosti** znašajo pri visokoaeriranih betonih okoli 10 do 25 % vrednosti njihovih tlačnih trdnosti, če so betoni mikroarmirani pa bistveno več.

3.1.3. **Vrednosti modula elastičnosti (E)** pornih betonov se gibljejo za visokoaerirane betone v odvisnosti od prostorninske mase (γ) in tlačne trdnosti (β_p) v območju med 1500 in 20.000 MPa. Okvirno velja relacija:

$$E = 0,05 \cdot \gamma^{1,5} \cdot \beta_p^{0,5} \text{ MPa.}$$

Ocenjujemo, da so v primerjavi z navadnimi težkimi betoni pri enakih tlačnih trdnostih vrednosti modulov elastičnosti visokoaeriranih betonov precej manjše, in sicer za okrog 30 do 50 %.



Slika 6. Odvisnost vrednosti modula elastičnosti visokoaeriranih betonov od prostorninske mase

3.2. GRADBENO TEHNIČNE IN SANITARNO TEHNIČNE FIZIKALNE LASTNOSTI

3.2.1. **Tehnična vodotesnost** in z njo tudi sposobnost betona za protikorozijsko zaščito armature sta brez posebnih modifikacij dosegljivi le pri betonih z večjimi prostorninskimi masami.

V grobem upoštevamo kriterij, da mora biti prostorninska masa najmanj 1400 kg/m^3 ali več. Indicirana je značilnost visokoaeriranih betonov, da struktura poroznosti aeracije prehaja iz prepustne strukture v vodotesno približno v območju prostorninskih mas med 1200 in 1500 kg/m^3 .

3.2.2. **Vpijanje vode** je pri visoko aeriranih betonih prav tako odvisno od prostorninske mase (γ). To lastnost vrednotimo v gradbeno tehničem in sanitarno tehničnem pogledu.

Za betone, izpostavljene vpijanju vode po predhodni osušitvi pri 105°C , so značilni rezultati: pri γ med 900 in 600 kg/m^3 je vpijanje od okrog 30 do 40 m-% in pri γ med 1800 in 1200 kg/m^3 od okrog 10 do 20 m-%.

3.2.3. **Dobra zmrzljinska obstojnost** visokoaeriranih betonov je odvisna že od njihove mikroporoznosti in je njihova tipična lastnost.

Betoni s prostorninskimi masami nad 1000 kg/m^3 , preiskani po standardu ASTM C 666, tudi pri zelo velikem številu obremenilnih ciklov zmrzovanja in odtaljevanja (prek 200, tudi do 600) niso pokazali zmrzljinskih poškodb.

3.2.4. **Difuzijska prepustnost** v sicer različnih, vendar na splošno zvišanih stopnjah, je prav tako značilna lastnost visokoaeriranih betonov. Glede na meritve se vrednosti koeficienta difuzijskega upora v določeni korelaciji s prostorninsko maso betona gibljejo med $\mu = 5$ do 25 (za zid iz polne opeke znaša vrednost $\mu =$ okrog 10).

Difuzijsko prepustnost na splošno vrednotimo kot ugodno sanitarno tehnično lastnost določenih gradbenih materialov. To velja tudi za visokoaerirane betone.

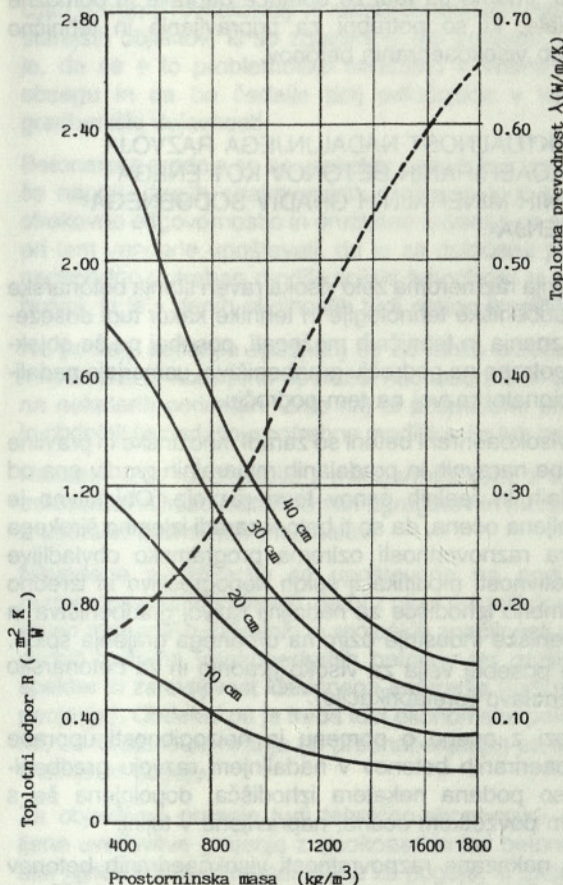
V določenih primerih je treba difuzijsko prepustnost preverjati in vrednotiti tudi v obratnem smislu, namreč z vidika morebitnih negativnih vplivov, kot so: pospeševanje ali povečevanje stopnje karbonatizacije cementnega kamna, prevajanje eventualnih – za beton ali armaturo – agresivnih oziroma destruktivnih par in plinov itd. Če so taki vplivi mogoči, potem doseganje ustrezne tehnične vodotesnosti visokoaeriranih betonov še ne zagotavlja ustrezne protikorozijske zaščite armature.

3.2.5. **Dinamika emisije vlage**, tj. osuševanja, je pri visokoaeriranih betonih na splošno dobra, kar je pomembno tako v gradbenem kakor tudi sanitarno tehničnem pogledu. Je pa izrazito odvisna tudi od lastnosti zrn agregata v betonu.

3.2.6. **Vrednosti koeficientov toplotne prevodnosti λ** , ki so tipičen sanitarno tehničen pokazalnik, se prav tako primarno razvrščajo v odvisnosti od prostorninske mase

betonov (γ). Za območje $\gamma = 400$ do 1800 kg/m^3 so te vrednosti v območju $0,15$ do $0,65 \text{ W/mK}$ (sl. 7).

Velja pripomniti, da se vrednosti λ lahko precej spremenijo pri sicer enakih prostorninskih masah (γ). Te spremembe so odvisne predvsem od strukture poroznosti oziroma finosti zračnih por in tudi od mineraloške zgradbe zrn agregatov.



Slika 7. Splošno označena odvisnost vrednosti koeficienta toplotne prevodnosti λ visokoaeriranih betonov od prostorninske mase β in na krivulje toplotnega odpora R za različne debeline betonskih elementov

3.3. DEFORMACIJSKE ZNAČILNOSTI

Glede deformacijskega obnašanja so visokoaerirani betoni v primerjavi z drugimi značilnostmi deloma manj primerni za uporabo na nekaterih področjih in so bolj zahtevni za ustrezne tehnične rešitve. Mišljene so tehnološke in napetostne deformacije. To so krčenje v fazah strjevanja in osuševanja (sl. 8), hipne deformacije ob obremenitvah in lezenje (tečenje) pri trajnih obremenitvah v strjenem stanju.

Navedene deformacije so glede na red velikosti odvisne od prostorninske mase (γ) betona, s povečevanjem γ se zmanjšujejo, in tudi od razmerij količin in lastnosti uporabljenih osnovnih materialov. V primerjavi z navadnimi

težkimi betoni so te deformacije precej večje in se lahko povečajo tudi do dvakrat.

Povečana »deformabilnost« visokoaeriranih betonov z vidika tehnične obvladljivosti sicer ni kritična, je pa vendar lahko problematična. Za posamezne vrste visokoaeriranih betonov in njihove tehnične rešitve mora biti morebitna problematičnost pravilno opredeljena s preiskavami ter strokovnimi presojami in upoštevana pri tehničnih rešitvah.

Zmanjšanje »deformabilnosti« visokoaeriranih betonov, posebno še tehnološkega krčenja, intenzivno preiskujemo pri nas in tudi drugod. Indikacije kažejo, da bo mikroarmiranje, ki je sicer aktualno predvsem z vidika izboljšanja mehanskih lastnosti visokoaeriranih betonov, morebiti tudi ena od učinkovitih modifikacij za izboljšanje deformacijskih lastnosti teh betonov. Posebej za tehnološke deformacije (krčenje) so aktualne druge modifikacije.

3.4. VEČNAMEMBNOST VISOKOAERIRANIH BETONOV

Visokoaerirani betoni so tipično in hkrati specifično večnamensko gradivo, ki močno spreminja in olajšuje tudi tehnologijo dela.

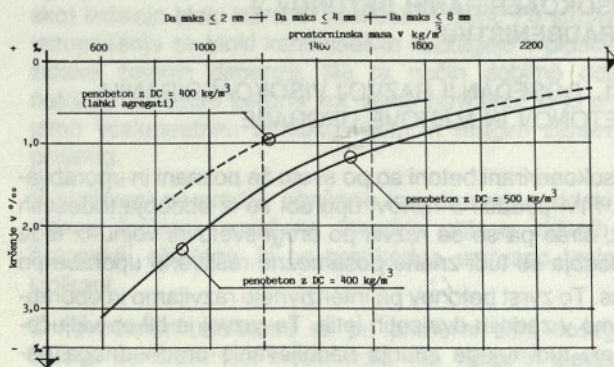
3.4.1. Splošna delitev namembnosti visokoaeriranih betonov

Tudi ta delitev se nanaša na prostorninske mase (γ).

Visokoaerirani betoni so nearmirani in armirani.

Visokoaerirani betoni so:

- nekonstrukcijski betoni, ki so predvsem toplotnoizolacij-



Slika 8. Rezultati preiskav krčenja litih visokoaeriranih betonov tekoče konsistence v odvisnosti od prostorninske mase, količine cementa in vrste agregata (navadni in lahki agregati) do starosti 90 dni

ski, uporabljeni pa so tudi kot polnilni, izravnalni, obložni, naklonski betoni (γ pretežno med 400 in 1000 kg/m³);

- toplotnoizolacijski ter izolacijsko-konstrukcijski in obložni betoni (γ pretežno med 800 in 1600 kg/m³);
- konstrukcijski betoni z izboljšanimi reološkimi lastnostmi v svežem stanju in z izboljšanimi toplotnoizolacijskimi lastnostmi v strjenem stanju (γ nad 1500 kg/m³);
- kot nametavane ali brizgane malte za ometavanje in tudi kot malte za zidanje – za izboljšanje reoloških lastnosti v svežem, strjujočem se in strjenem stanju ter za izboljšanje sanitarnih in obstojnostno tehničnih lastnosti v strjenem stanju (γ pretežno 800 do 2000 kg/m³).

3.4.2. Področja uporabe visokoaeriranih betonov

Visokoaerirane betone lahko uporabljamo na vseh področjih gradbeništva: za visoko in nizko gradnjo ter za hidrotehnične gradnje. Posebej so uporabni v obrtniški, polindustrijski in industrijski predizdelavi.

Visokoaerirani betoni se v posebnih modifikacijah uporabljajo kot specifični arhitektonski, restavratorski, reprodukcijski in sanacijski material. Posebej značilna je njihova uporaba za dekorativne učinke, če npr. prirejeno in naravno barvano notranjo strukturo odpiramo z rezanjem, brušenjem, s peskanjem, z retardiranjem, s pranjem in z lomljenjem.

Visokoaerirani betoni v določenih območjih prostorninskih mas bolj ali manj optimalno združujejo:

- ugodne sanitarno tehnične lastnosti, ki so sicer značilne za zidane opečne izvedbe oziroma za kakovostno žgane glinene izdelke (teža, toplotna izolativnost, ugodje ob dotiku, difuzijska sposobnost) in pa
- odlične tehnološke in tehnične lastnosti oziroma sposobnosti, ki so sicer značilne za navadne težke betone (tehnologija pripravljanja in vgrajevanja, dobre mehanske lastnosti, dobra odpornost, nearmirane in armirane izvedbe).

4.0. NAMEN IN POMEN UPORABE VISOKOAERIRANIH BETONOV V GRADBENIŠTVU

4.1. DOSEDANJI RAZVOJ VISOKOAERIRANIH BETONOV IN NJIHOVE UPORABE

Visokoaerirani betoni so po svetu že poznani in uporabljani. Prvi podatki o njihovi uporabi so iz obdobja tridesetih let, širše pa so se razvili po drugi svetovni vojni. Iz tega obdobja so tudi znane posamezne rešitve in uporabe pri nas. To zvrst betonov pa intenzivneje razvijamo in uporabljamo v zadnjih dvajsetih letih. Ta razvoj je bil ob vključevanju tudi tujega znanja nadaljevanje predhodnega našega razvoja lahkoagregatnih betonov.

Razvoj in uporaba visokoaeriranih betonov sta pri nas prerasla razvoj in uporabo lahkoagregatnih betonov in se uveljavila na širšem področju betonarske tehnologije in tehnike. Dejansko pa je še vedno aktualna in zelena že

omenjena uporaba kakovostnih lahkih agregatov tudi za visokoaerirane betone. Pri uporabi visokoaeriranih betonov je tudi večja možnost uporabe cenenih fino- in drobnozrnatih peskov, ki jih imamo na voljo v velikih količinah.

Na podlagi dosedanjega razvojnega dela že imamo ustrezne lastne inženirske izkušnje in tehnološko-tehnične rešitve. Imamo pa tudi že domače naprave in pomožne materiale, ki so potrebni za pripravljanje in tehnično uporabo visokoaeriranih betonov.

4.2. AKTUALNOST NADALJNEGA RAZVOJA VISOKOAERIRANIH BETONOV KOT ENEGA GLAVNIH MINERALNIH GRADIV SODOBNEGA GRAJENJA

Današnja razmeroma zelo visoka raven stanja betonarske ter gradbeniške tehnologije in tehnike kakor tudi doseženega znanja in tehničnih možnosti, posebej pa še objektivne potrebe na področju gradbeništva, usmerjajo nadaljnji racionalni razvoj na tem področju.

Prav visokoaerirani betoni so zaradi množinske in pravilne uporabe naravnih in predelanih mineralnih gradiv ena od aktualnih in realnih osnov tega razvoja. Objektivno je utemeljena ocena, da so ti betoni zaradi izjemno širokega spektra raznovrstnosti oziroma programsko obvladljive alternativnosti modifikacij sploh nepogrešljivo in izredno pomembno izhodišče za nadaljnji razvoj gradbeništva in gradbeniške industrije oziroma urbanega grajenja sploh. To še posebej velja za visoko gradnjo in za betonarsko predizdelavo (prefabrikacijo).

V zvezi z oceno o pomenu in neizogibnosti uporabe visokoaeriranih betonov v nadaljnjem razvoju gradbeništva so podana nekatera izhodišča, dopolnjena še s kratkim povzetkom ocene, napravljene v tujini.

Poleg nakazane raznovrstnosti visokoaeriranih betonov je temeljnega pomena že navedena skupna značilnost teh betonov, to je, da optimalno združujejo ugodne in za bivalno klimo bistvene značilnosti opečnih izdelkov in izvedb ter odlične konstrukcijske kakor tudi gradbenotehnološke in tehnične značilnosti navadnih težkih betonov.

Za opečne izdelke in izvedbe vemo, da so z vidika tehnologije in tehnike grajenja manj primerni in zato tudi razvojno manj spodbudni. Vendar pa so to najstarejše tehnološke rešitve, ki jih človek uporablja že nekaj tisočletij. Njihova sanitarno tehnična primernost je gotovo odločujoči vzrok, da se ti materiali in izvedbe kljub hitremu in drugače usmerjenemu razvoju gradbene tehnologije in tehnike uporabljajo še danes.

Po drugi strani imamo navadne težke betone, ki so v določenih sanitarno tehničnih pogledih neprimerni in za mnoge namene kar težko sprejemljivi. Vendar so ti materiali in izvedbe pri še ne sto petdesetih letih uporabe danes najbolj razširjeno gradivo. Vse kaže, da bodo to tudi ostali. Prej navedene dobre značilnosti so prevladujoče in enostavno še niso nadomestljive.

Kljub tolikšnemu pomenu in tako velikemu obsegu grajenja z navadnimi težkimi betoni vendarle ugotavljamo prevelik obseg usodne zgrešenosti ne vedno dovolj premišljene množinske uporabe teh materialov. Taka zgrešenost se največkrat kaže prav v njihovi sanitarno tehnični neustreznosti, zelo pogosto pa tudi v nepotrebnosti in neracionalno visoki stopnji mehanskih trdnosti in armiranja. Prav slednje je zelo moteče pri rekonstrukcijah in adaptacijah oziroma revitalizaciji in namembnosti prerazporejanju starejših objektov, ki so zgrajeni iz teh betonov. Dejstvo je, da se s to problematiko soočamo v vedno večjem obsegu in da bo čedalje bolj odločujoča v vsakdanji gradbeniški dejavnosti.

Betonarska gradnja se bo vsekakor nezadržno uporabljala še naprej, drugih enakovrednih možnosti tudi ni. Z vsi strokovno odgovornostjo in družbeno zavestjo pa moramo pri tem vendarle upoštevati, da je za določena področja neobhodno potreben modifikacijski tehnološki in tehnični razvoj, ki je v danih okoliščinah tudi realno izvedljiv.

Na podlagi sedanjih spoznanj se že lahko odločamo za množinsko in razširjeno uporabo visokoaeriranih betonov na nekaterih področjih. Zato naj bi pospešeno preverjali in obdelali še nadaljnje potrebne modifikacije teh betonov.

Nakazali smo modifikacije z mikroarmiranjem, z uporabo mikrosilike in kakovostnih lahkih agregatov in morebiti tudi z uporabo polimernih materialov.

Navedene modifikacije so upoštevane na podlagi že razmeroma trdnih indikacij, da bi z njimi dvignili dosegljivo raven mehansko-fizikalnih in reoloških značilnosti strjenih pornih oziroma visokoaeriranih betonov ter razširili tudi spekter in zanesljivost klasičnega armiranja (tudi prednapenjanja). Obdelati pa je treba tudi ekonomske pokazalnike, za klasično armiranje (in prednapenjanje) pa tudi vse kriterije in pogoje.

Za objektivno presojo tudi tehnično-ekonomsko utemeljene uveljavitve grajenja z visokoaeriranimi betoni naj bi bila njihova uporaba vrednotena za pogoje, ki izključujejo obremenjenosti, izhajajoče iz izjemnosti, ko visokoaerirane betone pripravljamo oz. uporabljamo v pogojih, ki so v primarnem smislu prirejeni za navadne težke betone. Dejstvo je, da sta v razmerah današnje popolne miselne in interesne preokupacije prevladujoči klasična tehnologija in tehnika navadnih težkih betonov, tehnologija in tehnika visokoaeriranih betonov pa se le težko uveljavljata.

Množinska sistemska izvedba in uporaba pornih betonov na določenih področjih gradbeništva pomenita odločno prestrukturiranje širokega tehnološkega, tehničnega in ekonomskega kompleksa. Gre za precejšnje spreminjanje tehnologije dela in postopkov ter različnih rešitev na relaciji »surovine – osnovni materiali – betonarske proizvodnje in predizdelave – grajenje« in vzporedno še na relaciji »projektiranje – grajenje«. Projektiranje je mišljeno kot kompleksna aktivnost urejanja urbanega grajenja.

Za konec posebej navajamo publikacijo (4) (naslov v prevodu: Tehnologija betona – stanje in bodoče naloge), katere avtor je prof. dr. inž. A. Meyer, takratni direktor

Centra za raziskovanje in svetovanje družbe Heidelberger Zement AG, ene največjih proizvajalk cementa v ZRN Nemčiji. Publikacijo citiramo zato, ker jo je v ZRN mogoče vrednotiti kot odločujočo oceno stanja in bodočega razvoja tehnologije betona.

Avtor med drugim navaja sedem, po njegovi oceni glavnih usmeritev bodočega razvoja tehnologije betonov:

1. izboljšanje tehnologije trdoplastičnih betonov,
2. razvoj livne tehnologije,
3. izkoristek možnosti z uporabo dodatkov za betone,
4. uvajanje drobljenih kamenih in umetnih agregatov,
5. izboljšanje obstojnosti oziroma trajnosti betonov,
6. razširitev uporabe lahkih betonov*,
7. poenostavitev zagotavljanja kakovosti.

Pri razširitvi uporabe lahkih betonov* so mišljeni izrecno drobnozrnati penoporni betoni, to so visokoaerirani betoni. Avtor pri tem nadalje navaja kot aktualne modifikacije z mikroarmiranjem oziroma domneva primernost uporabe penopornih betonov v kombinacijah z nosilnimi plastmi oziroma vložki in oblogami iz mikroarmiranih betonov, sintetičnih materialov in kovin.

5.0. NEKATERI PRIMERI RAZVOJNE OBDELAVE IN TEHNIČNE UPORABE VISOKOAERIRANIH BETONOV

5.1. FASADNE OBLOGE (PLOŠČE IN ZIDAKI) IZ LITEGA VISOKOAERIRANEGA BETONA

(že na tržišču, lasten razvoj Inštituta za materiale ZRMK, proizvodnja v sodelovanju z DO Marmor, Hotavlje)

Fasadne obloge so razvite z namenom, da se kamnite in tudi druge uporabljane arhitektonske fasadne obloge nadomestijo z oblogo iz lahkega visokoaeriranega betona. Obloga je lepa na pogled ter funkcionalna in obstojna na objektu.

Iz visokoaeriranega lahkega betona (prostorninska masa od 1600 do 1700 kg/m³), ki je v livni konsistenci s prirejeno kombinacijo izbranih osnovnih materialov, posebej še agregatov, se po posebnem livnem postopku (nevibracijsko) izdelajo bloki izbranih velikosti in oblik. Po strditvi in razopaženju se bloki kamnoseško razžagajo v plošče ali zidake želenih dimenzij. Na ta način dobimo odprto notranjo strukturo betona kot vidno površino, ki jo prirejamo vsakokratnim arhitektonskim in drugim zahtevam projekta.

S ploščami se gradijo obešene (montirane), z zidaki pa zidane fugirane ozračene fasadne obloge zidanih ali betonskih objektov, ki so predhodno ustrezno toplotno izolirani.

Z navedenimi rešitvami se pri primerni ceni dosega želena dekorativnost in barvitost, lep videz in eleganca fasade ter njena potrebna funkcionalnost in odpornost.

Različni materiali, to so predvsem agregati, ki so v posameznih ožjih ali širših regijah vedno in skoraj povsod na voljo, dajejo možnosti za alternativne rešitve izdelave in grajenja fasad.

5.2. STREŠNIKI IZ LITEGA VISOKOAERIRANEGA BETONA

Strešniki so inovacija glede materialne sestave in tehnične kakovosti ter glede tehnologije proizvodnje in uporabe. Poskusna tržna proizvodnja se že uvaža.

Po tehnologiji izdelave je možna proizvodnja kakovostnih in zelo preciznih strešnikov, ki imajo lahko zelo različne programske izbrane geometrične oblike, težo in barvo.

Vse to je mogoče doseči v istem tehnološkem procesu, le z menjavo kalupov in osnovnih materialov oziroma sestave betona. Za tehnologijo izdelave strešnikov je značilno vgrajevanje betona v kalupe po prirejenem kontraktorskem postopku litja brez vibracijske obdelave zaradi kompaktiranja (16).

Liti visokoaerirani beton je po sestavi prirejen tako, da z zaprto mikroporozno strukturo uspešno združuje dobre tehnične lastnosti navadnega betona in kakovostne opečno žgane gline. Z optimizacijo kombinacije prostorninske mase betona in geometrične oblike strešnika je mogoče dosegati majhne mase (teže) kritine iz strešnikov za enoto površine (m^2), ki je enaka ali tudi manjša od mase opečnih strešnikov oziroma kritine iz takih strešnikov.

Tehnične karakteristike in kakovost strešnikov omogočajo hitro, lahko in kakovostno pokrivanje, glede na obliko strešnika tudi v naklonih strešin do 18° , za kar se sicer uporabljajo druge vrste kritin.

Z ustrezno urejenostjo strjevanja vgrajenega betona in razkalupljanja ter paletiranja strjenih strešnikov in z vsem prej povedanim je podan specifični proizvodni sistem z določeno kakovostno in količinsko zmogljivostjo, ki pa se sicer bistveno razlikuje od doslej uporabljenih sistemov. Sistem je tehnološko fleksibilen in tudi gospodarno uporaben za proizvodnjo. Povečevanje proizvodnih zmogljivosti je lahko postopno. V sedANJI razvojni fazi je za sistem značilen še razmeroma velik delež ročnega dela.

5.3. NEKATERI PRIMERI IZDELKOV IZ VISOKOAERIRANIH BETONOV V BETONARSKIH PREFABRIKACIJAH

Navedene izdelke za tržne potrebe razvijajo in tekoče proizvajajo v nekaterih podjetjih oziroma njihovih betonarskih obratih, s katerimi Inštitut za materiale oziroma ZRMK poslovno in strokovno sodelujeta. To so v glavnem izdelki, ki so jih prvotno izdelovali iz navadnega težkega betona ali druge vrste lahkih betonov (npr. betoni iz ekspandirane gline), kasneje pa iz visokoaeriranega oziroma lahkega penobetona.

5.3.1. Program »Etažni sanitarni bloki«, »SIGMA«, Zabukovica/Žalec

Ločeno sanitarne in kuhinjske stene ter kombinirane sanitarne-kuhinjske stene različnih izvedb iz armiranega litega visokoaeriranega betona s prostorninsko maso okoli 1700 kg/m^3 (z vgrajenimi instalacijami za različne namene).

5.3.2. Program »Finalizirane sanitarne kabine za vgrajevanje«, GORENJE IMO, Lendava

Kompletno (na ključ) finalizirane sanitarne kabine za vgrajevanje različnih izvedb in tipov. Večfazno lite konstrukcije iz armiranega visokoaeriranega betona s prostorninsko maso okoli 1700 kg/m^3 (debelina stenskih, stropnih in talnih plošč 5 cm). Kabine so originalni in izredno kakovostni izdelki z dobro funkcionalno izvedbo. Proizvajalec se z njimi uveljavlja tudi na zahtevnem zahodnoevropskem tržišču, zanje pa je dobil že tudi več priznanj.

5.3.3. Program »Notranja in zunanja oprema«, IGM GRADNJA, Žalec

– Oprema za kampe, parke in vrtove iz nearmiranega in delno armiranega litega visokoaeriranega betona s prostorninsko maso od 1600 do 1700 kg/m^3 .

– Notranji kamini – pretežni del sestavnih elementov je iz litega visokoaeriranega betona s prostorninsko maso od 1600 do 1700 kg/m^3 .

– Schiedel – etažni dimnik; izvedba z visokoaeriranim betonom posebne sestave s prostorninsko maso 1600 kg/m^3 (agregati: opečni zdrob + naravni drobni pesek).

5.3.4. Program »Montažne hišice in lope za različne namene«, STANDARD OPERATIVA, Ljubljana

Montažne hišice za različne namene s fleksibilno tlorsko velikostjo (fleksibilnost v vzdolžni smeri). Montažni elementi iz klasično armiranega litega visokoaeriranega betona s prostorninsko maso 1650 kg/m^3 . Elementi po pravilu ne presegajo teže 50 kg in nimajo večje dimenzije od $2,50 \text{ m}$.

5.4. OBLOGA AKUMULACIJSKEGA BAZENA HE LOMŠČICA

Investitor ELEKTRO GORENJSKA, Kranj; projektantska dela IB ELEKTROPROJEKT, Ljubljana; izvajanje gradbenih del SGP GRADBINEC, Kranj; soprojektiranje, raziskave, preizkusi in preiskave, tehnologija betona, geomehanika in soizvajanje gradbenih del ZRMK Ljubljana, za geomehaniko tudi FAGG Ljubljana

Pri izgradnji navedenega objekta je pri nas prvič uvedena in tudi uspešno realizirana uporaba visokoaeriranega drobnozrnatega betona (penobetona) v tehnično-sistemski rešitvi za gradnjo dilatirane vodotesne in zmrzlinško izredno odporne obloge akumulacijskega bazena v zahtevni hidrotehnični gradnji. Beton je uporabljen v modifikaciji ojačitve s polipropilenskimi vlakni.

Po naših izkušnjah in ocenah uporabe visokoaeriranih drobnozrnatih betonov na različnih mestih, še posebej pri gradnji zaščitnih protierozijskih oblog večjega obsega v Iraku (ZRMK–SCT–GRADIS), smo v Inštitutu za materiale na ZRMK razvili temeljne tehnično-tehnološke in sistemske zasnove. Dela so bila nato izvedena po vsestranskih predhodnih pripravah, ki so obsegale tudi izgradnjo poskusnega polja zaradi preizkusa tehnologije grajenja in sistemskih rešitev izvedbe obloge.

Z gradnjo samo ter z vsemi predhodnimi in poznejšimi preiskavami ter ocenami smo potrdili ustreznost uporabe navedene vrste betona tudi v zahtevnih hidrotehničnih gradnjah. To se nanaša predvsem na gradnje tehnično vodotesnih in v visokih stopnjah zmrzlinško odpornih hidrotehničnih oblog za kanale, bazene, če obloge niso izpostavljene močnejšim mehanskim učinkom hidrodinamične abrazije – erozije.

Pri izboru navedene vrste in sestave betona smo izhajali predvsem iz vrednotenja njegovih izrazito ugodnih reoloških lastnosti v svežem stanju, na podlagi česar so bile dosežene olajšave in poenostavitve v transportu ter pri njegovem vgrajevanju in obdelovanju (14 in 15 ter 17, 18, 19 in 20).

5.5. RAZLIČNA PODROČJA SPECIALNIH APLIKACIJ VISOKOERIRANEGA BETONA OZIROMA PENOBETONA

– Rekonstrukcije in preнове (zalivanje obokov, litje različnih elementov, posebej še reprodukcije različnih arhitektonskih in drugih figuralnih elementov, malte za polnjenje in za različne omete).

– Naklonski betoni na ravnih strehah.

– Zaščitne (protierozijske) obloge za različne namene v nizki gradnji in hidrotehničnih gradnjah.

Navedene specialne aplikacije izvajamo samostojno za investitorje ali za izvajalce določenih gradbenih del (novih gradenj, rekonstrukcij ali prenov) ali kot kooperanti strokovnih uslug in specialnih del.

5.6. POMOŽNA OPREMA IN MATERIALI ZA TEHNOLOGIJO VISOKOERIRANIH BETONOV OZIROMA PENOBETONOV

Na podlagi lastnega razvoja izdelujemo za lastne in tržne potrebe pnevmatične aparature za pripravljavanje pene in penila, ki ga tudi proizvajamo v polindustrijskem obsegu in pripravljamo za prenos v industrijsko proizvodnjo.

Sami in v sodelovanju z industrijo razvijamo ter uvajamo proizvodnjo in uporabo kovinskih in sintetičnih vlaken za mikroarmiranje visokoeriranih betonov ter drugih betonov in malt (12, 14 in 15 ter 17, 18, 19 in 20).

LITERATURA

1. A. Hummel: Das Beton-ABC, 12. izdaja 1959, Verlag von Wilhelm u. Sohn, Berlin 1959.
2. E. Mali, T. Gečev: Mikroaeriranje kot element zgradbe in oblikovanja lastnosti lahkih betonov iz ekspandiranih glin, Gradbeni vestnik, 24 (april 1975) 4, Informacije ZRMK 175.
3. E. Mali, J. Korla, T. Gečev, A. Štefančič, A. Flis: Informacija o razvojnim ispitivanjima lakih betona na bazi ekspandiranih agregata (keramzit), sitnih pesaka, plastifikatorja, aeranata i penušavca u ZRMK, Savetovanje aktuelni problemi savremene tehnologije betona i primena novih materijala u građevinarstvu, SDGIT Beograda, Beograd 14.–16. 11. 1979, Zbornik referatov, knjiga II, S. 37–63.
4. A. Meyer: Betontechnologie – Stand und Zukunftsaufgabe, Heidelberger Zement AG, Zement + Betonberichte, Heft 7 (Sonderdruck iz »HOCH und TIEFBAU«, Heft 6/1982), Kluwer Verlagsgruppe GmbH, München.
5. P. Nischer: Schaumbeton, Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 3/1983, S. 148–154.
6. V. Ukrainčik, Z. Rak: Laki betoni od ekspandiranog polistirena, Građevinar 38 (1986) 8, 307–317, Zagreb.
7. B. Katič: Prefabricirani elementi od plinobetona za graditeljske konstrukcije, Izolacioni termo blok – novi prefabricirani elementi u graditeljstvu, Stručno savjetovanje Prefabrikati u zgradarstvu, Pula 18. i 19. 9. 1986, Založba »Porobeton« Pula, Zbornik, S. 190–214.
8. D. J. Hannant: Fibre Cements and Fibre Concretes, John Wiley Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1987.
9. H. Krenchel: Mix Design and Testing Method of Fibre Reinforced Concrete, Proceedings of the International Symposium of Fibre Reinforced (ISFRC), Vol. 2, Madras, December 1987.
10. Y. Ohama: Durability and Long-term Performance of FRC Proceedings of ISFRC, Vol. 1, Madras, December 1987.
11. V. Ramakrishman: Materials and Properties of Fibre Reinforced Concrete, Proceedings of ISFRC, Vol. 1, Madras, December 1987.
12. J. Šušteršič in sodelavci: Razvoj in uporaba mikroarmiranih betonov, 2. del: Razvoj in uporaba polipropilenskih vlaken; Raziskovalna skupnost Slovenije, Sektor 6, Elaborat 06-1686-227-87 (ZRMK), Ljubljana 1987.
13. T. Gečev, J. Gjura, A. Flis, F. Ceklin: Razvoj in uporaba drobnozrnatih in v povečani stopnji mikroaeriranih betonov; Raziskovalna skupnost Slovenije, Sektor 6, Elaborat 06-1686-227 ZRMK Ljubljana; I. del 1986, II. del 1987 in III. del 1988.
- 14 in 15 – Diskusijska poročila na kolokviju »Raziskave in razvoj na področju betonov« v Inštitutu za raziskovanje Društva avstrijskih proizvajalcev cementa na Dunaju, novembra 1988, objavljeno v časopisu imenovanega društva in Avstrijskega društva za beton »Zement und Beton« 34 (1989) 2:
14. E. Mali, J. Šušteršič, A. Zajc: Anwendung von feinkörnigem und in erhöhtem Mass mikrobelüftetem Beton (Schaumporenleichtbeton) im Wasserbau, S. 63–65.
15. V. Ukrainčik, K. Mavar, J. Šušteršič, E. Mali, M. Rebič: Faserbeton – Beziehung zwischen Qualität und Menge von Fasern und Betonfestigkeit, S. 67–70.
- 16, 17 in 18 – Posvetovanje o inovativnih dejavnostih v gradbeništvu ter predstavitev razvojnih dosežkov in novih tehnologij v nekaterih gradbenih organizacijah na Jugoslovanskem sejmu gradbeništva in gradbenih materialov z mednarodno udeležbo v Gornji Radgoni aprila 1989, Zbornik referatov 1989:

16. J. Gjura st., E. Mali in drugi sodelavci: Tehnologija proizvodnje strešnikov iz litega finožrnatega in v zvišani stopnji mikroaeriranega betonskega kompozita, Zbornik, S. 71–80.
17. J. Šušteršič, E. Mali, J. Gjura st., S. Urbančič, F. Ceklin: Razvoj in uporaba jeklenih in polipropilenskih vlaken domače izdelave in z njimi mikroarmiranih betonskih kompozitov, Zbornik, S. 81–88.)
18. E. Mali, J. Šušteršič, T. Gečev, J. Gjura st. in drugi sodelavci: Obloga akumulacijskega bazena za HE Lomščica in penobetona, ojačenega s polipropilenskimi vlakni, Zbornik, S. 89–103.
19. D. Batistič, J. Durini: Izgradnja HE Lomščica in uporaba visokoaeriranega betona, Gradbeni vestnik 34 (1989) 5–6, 103–108.
20. T. Gečev, E. Mali, J. Šušteršič, J. Gjura st. in ostali sodelavci: Primena sitno zrnatih i u povečanim stopenima mikro aerisanih betona u hidrotehničkom građenju (obloga bazena za HE Lomščica), prijavljen referat za 14. kongres jugoslovanskega društva za velike pregrade v Strugi, Makedonija, oktobra 1989.

ZAHVALA

Avtorji članka se zahvaljujemo Marjanu Ferjanu, dipl. inž., nekdanjemu tehničnemu direktorju ZRMK, in Gvidu Hraševcu, dipl. inž., nekdanjemu tehničnemu direktorju GP »Ratko Mitrović«, Beograd, ki sta bila pred 15 leti najbolj odločna pobudnika za začetek raziskav visokoaeriranih betonov in sta zagotovila tudi potrebna sredstva ter opremo.

MIKROARMIRANI BETONI S Poudarkom NA VISOKOAERIRANIH BETONIH

UDK 691.322

JAKOB ŠUŠTERŠIČ, STANISLAV URBANČIČ, EDVARD MALI

POVZETEK

Podane so splošne značilnosti mikroarmiranih betonov z jeklenimi in s polipropilenskimi vlakni iz lastne proizvodnje. Visokoaerirani mikroarmirani betoni so se v naši gradbeniški praksi do sedaj največkrat uporabljali s polipropilenskimi vlakni. Zato podajamo nekatere najbolj značilne ugotovitve preiskav mehanskih in reoloških lastnosti teh betonov. S polipropilenskimi vlakni izboljšujemo predvsem reološke lastnosti, z jeklenimi vlakni pa tudi mehanske (upogibne) lastnosti visokoaeriranih betonov.

MICRO-REINFORCED CONCRETES, WITH SPECIAL EMPHASIS ON HIGHLY AERATED CONCRETES

SUMMARY

The general characteristics of micro-reinforced concretes are described, the concretes having been reinforced with steel and polypropylene fibres produced at ZRMK Ljubljana. In the Yugoslav construction industry, so far micro-reinforced concretes with polypropylene fibres have been used most frequently. For this reason the most interesting findings from tests concerning the mechanical and rheological properties of these concretes have been presented. Polypropylene fibres are used mainly to improve the rheological properties of highly aerated concretes, whereas steel fibres are used to improve not only their rheological but also their mechanical properties (e.g. flexural strength).

UVOD

V tem članku, ki se navezuje na članek Visokoaerirani drobnozrnati betoni v gradbeništvu, se bomo omejili na prikaz uporabe vlaken v lahkih in lažjih betonih. Tako

bomo podali nekatere splošne ugotovitve, ki veljajo za mikroarmirane betone, rezultate preiskav nekaterih lastnosti mikroarmiranega visokoaeriranega betona s polipropilenskimi vlakni za gradnjo obloge akumulacijskega bazena HE Lomščica ter nekatere ugotovitve skupnih raziskav z Građevinskim institutom Zagreb.

Avtorji:

Jakob Šušteršič, dipl. inž. gradb., razisk. sodelavec –
Stanislav Urbančič, dipl. inž. gradb., razisk. sodelavec –
Edvard Mali, dipl. inž. gradb., razisk. svetnik

Uporabljena jeklena in polipropilenska vlakna so iz lastne proizvodnje, ki smo jo vpeljali z zunanjimi sodelavci in z drugimi delovnimi organizacijami na podlagi dolgoletnega raziskovalnega dela (1, 2, 3).

OSNOVNI MATERIALI

Jeklena vlakna TRIAS

Značilna oblika jeklenih vlaken TRIAS zagotavlja dobro sprejemljivost s cementnim kamnom. Vlakna imajo debelino (d) od 0,2 do 0,5 mm in dolžino (l) od 16 do 32 mm. Pri tem lahko znašajo razmerja l/d od 50 do 100.

Jeklena žica, iz katere izdelujemo vlakna, je lahko različnih kakovosti in je odvisna od zahtevanih lastnosti mikroarmiranega kompozita. Za pripravo običajnih vrst konstrukcijskih betonov so najprimernejša vlakna iz poltrde žice, katere lastnosti so v skladu s standardnimi določili.

Polipropilenska vlakna REOS

Polipropilenska vlakna REOS so izdelana v obliki fibriliranih folijskih trakov. Dolžina vlaken je poljubna, in sicer med 5 in 50 mm. Povprečne vrednosti rezultatov preiskav do sedaj proizvedenih in uporabljenih vlaken so:

– titer (dolžinska masa)	4006,27 tex
– pretržna sila	851,21 N
– specifična pretržna napetost	0,212 N/tex
– pretržni raztezek	5,83 %
– modul elastičnosti	3310 MPa

Ostali vhodni materiali pri proizvodnji mikroarmiranih betonskih kompozitov

Cementi. Za pripravo mikroarmiranih betonskih kompozitov z vlakni TRIAS in REOS lahko uporabljamo vse vrste cementov. V praksi prevladujejo portlandski cementi, tako kakor pri normalnih betonih.

Kameni agregati. Na splošno uporabljamo kameni agregat z največjim zrnom agregata 4, 8 in 16 mm. Premer največjega zrna agregata je manjši od 1/2 do 1/3 dolžine vlaken. Primerne so kontinuirne krivulje skupne sestave agregata.

Kemični in ostali dodatki. Kemične in ostale dodatke v mikroarmiranih betonskih kompozitih uporabljamo tako kakor pri normalnih betonih. Za boljšo razporeditev vlaken v betonski masi priporočamo uporabo aerantov. Zaprte zračne pore delujejo v tem primeru podobno kot zrna agregata. Zaradi večje količine zaprtih zračnih por v visokoaeriranih betonih se v teh betonih doseže dobra razporeditev vlaken.

ORIENTACIJSKE SESTAVE MIKROARMIRANIH BETONSKIH KOMPOZITOV

Osnova kakovostnega mikroarmiranega betonskega kompozita je kakovosten cementni kamen, s katerim zagotovimo dobro sprejemljivost z vlakni. Na splošno se njihove sestave ne razlikujejo od normalnih betonov. Pri betonih z večjimi količinami vlaken je zaradi izboljšanja obdelavnosti svežega betona in potrebe po ovitosti velike površine vlaken s cementnim glenom oziroma kamnom potrebna nekoliko večja količina cementa.

Jeklena vlakna TRIAS se najpogosteje dodajajo v količinah od 0,25 do 0,75 vol. %. Pri zahtevnejših kompozitih pa se glede na nekatere fizikalne lastnosti količina vlaken lahko poveča tudi do 2 vol. %.

Polipropilenska vlakna REOS dodajamo betonu približno v količinah od 0,1 do 0,4 vol. %.

PRIPRAVA MEŠANIC, OBDELOVALNOST IN VGRADLJIVOST SVEŽIH MIKROARMIRANIH BETONSKIH KOMPOZITOV

Pravilno in dobro mešanje vseh komponent mikroarmiranih kompozitov, predvsem zaradi vlaken, ki morajo biti čim enakomerneje razporejena v masi, je eden od osnovnih pogojev za izdelavo elementov iz teh kompozitov.

Pri pripravi gradbišnih mikroarmiranih betonov v betonarnah uporabljamo tudi posebej za to prirejene in izdelane dozirne naprave.

Za tanjša jeklena vlakna ($d \leq 0,4$ mm) je to vibracijska stresalna naprava, ki razbija nastale kepe iz vlaken ter preprečuje njihov nastanek in hkrati vnaša vlakna neposredno ali posredno po drči in cevi v mešalnik. Debelejša vlakna ($d \geq 0,5$ mm) ročno vnašamo neposredno v mešalnik ali posodo za agregat.

Polipropilenska vlakna lahko vnašamo neposredno v mešalnik ročno ali pa jih predhodno razvlaknimo na posebej za to pripravljenih napravah.

Kdaj bomo dodali vlakna v mešalnik, je odvisno predvsem od vrste vlaken, kompozita in mešalnika.

Podana so priporočila ACI Committeeja (4), da je »suho« mešanje najprimernejši način mešanja mikroarmiranih kompozitov oziroma da vlakna dodajamo skupaj z agregatom ali po doziranju in mešanju agregata, nato dodamo še vse ostale komponente.

Predvsem za jeklena vlakna z razmerjem $l/d = 100$ in pri večjih količinah vlaken pa velja, da jih dodajamo po pripravi matrice (po zamešanju agregata, cementa, vode in dodatkov).

V visokoaeriranih betonih dosežemo dobro razmešanje in porazdelitev vlaken, s tem pa tudi zelo ugodne reološke lastnosti, predvsem vgradljivost. Kot zelo primerna metoda za merjenje konsistence teh betonov se je pokazala metoda razleza stožca.

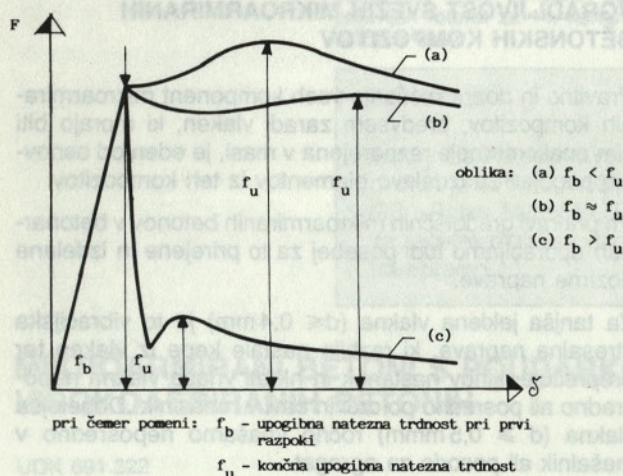
Čas mešanja mikroarmiranih betonov je nekoliko daljši od časa mešanja betonov brez vlaken. Odvisen je od količine in vrste vlaken, vrste kompozita in od vrste mešalnika ter njegove intenzitete mešanja.

OCENA MEHANSKIH LASTNOSTI STRJENEGA BETONA

Vrednotili bomo rezultate preiskav tlačnih trdnosti, upogibno-natezne trdnosti (upogibno-natežno trdnost pri prvi razpoki (f_b), končno upogibno-natežno trdnost (f_u)) in indekse žilavosti.

Preiskave na upogib izvajamo na kalupnih preizkušancih – prizmah z dimenzijami $10 \times 10 \times 40$ cm pri obremenitvi z dvema koncentriranima silama na srednji tretjini razpona podpor, ki znaša 30 cm.

Rezultati preiskav se zapisujejo v obliki diagramov obtežba-upogib ($F-\delta$). Pri tem dobimo tri značilne oblike diagramov, kakor je to razvidno s slike 1 (11, 12).



Slika 1. Tri značilne oblike diagramov obtežba-upogib ($F-\delta$) pri obremenitvi mikroarmiranih betonskih prizem

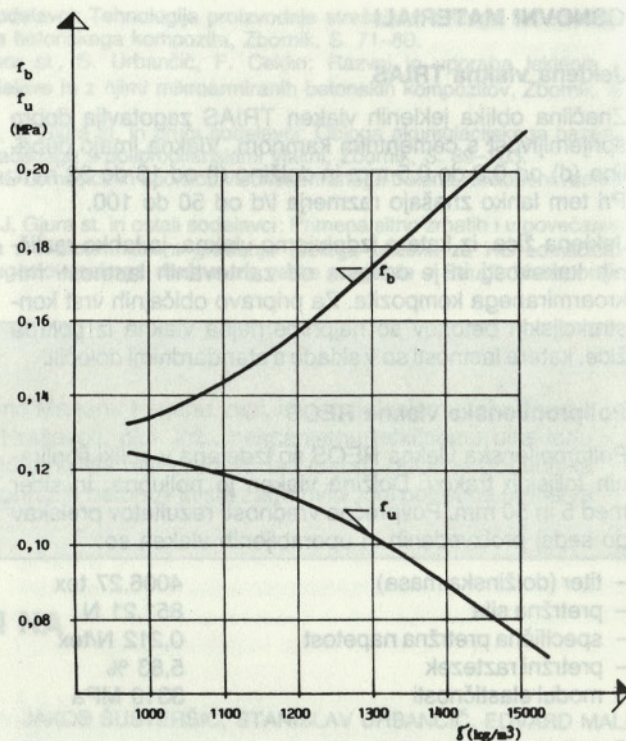
Diagram $F-\delta$ betonov brez vlaken poteka samo v elastičnem območju in pri pojavu prve razpoke pride do krhkega loma, kar je sicer zelo groba ocena, vendar za našo diskusijo zadovoljiva. Iz diagramov $F-\delta$ ugotavljamo tudi žilavost pri upogibu oziroma indeks žilavosti (razmerje med določeno oziroma izbrano površino pod diagramom in površino elastičnega območja – do pojava prve razpoke). Obstaja več priporočil in standardov, ki podajajo velikost izbrane površine oziroma metodo za določanje vrednosti indeksa žilavosti (I_{Barr} (5), I_5 , I_{10} , I_{30} (6, 7, 8, 9), DTI_{20} (10)).

Barrova metoda ugotavljanja indeksa žilavosti visokoairiranih betonov s polipropilenskimi vlakni (I_{Barr}) se je pokazala kot najprimernejša. Indeks žilavosti teh betonov je približno enak indeksu žilavosti normalno težkih betonov, ki so prav tako mikroarmirani s polipropilenskimi vlakni.

S povečevanjem količine vlaken se nekoliko povečuje tlačna trdnost kompozita. Pri upogibni obremenitvi visokoairiranih betonov s polipropilenskimi vlakni smo dobili vse diagrame $F-\delta$ oblike (c) s slike 1.

S povečevanjem prostorninske mase naraščata upogibna trdnost pri prvi razpoki (f_b) in tlačna trdnost.

Končna trdnost (f_u) se zmanjšuje s povečevanjem f_b zaradi povečanja akumulirane energije v elastičnem območju in s tem se povečuje udarno delovanje. To je razvidno z diagrama na sliki 2, ki je značilen zalahke betone s polipropilenskimi vlakni (11).



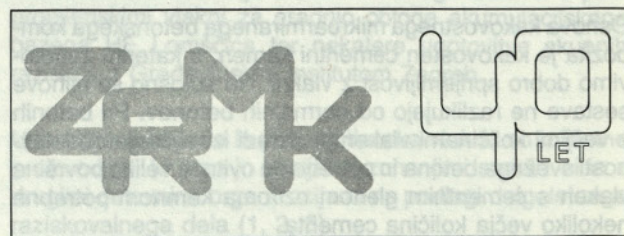
Slika 2. Vpliv prostorninske mase lahkega betona na f_b in f_u

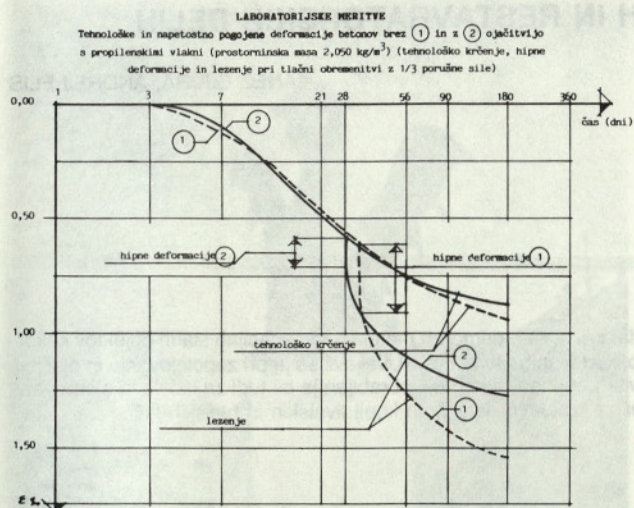
Tako dobimo pri visokoairiranih betonih z manjšimi prostorninskimi masami in mikroarmiranimi s polipropilenskimi vlakni diagram $F-\delta$ oblike (b) s slike 1. Diagram oblike (a) dobimo z uporabo jeklenih vlaken.

REOLOŠKE ZNAČILNOSTI SVEŽEGA, STRJUJOČEGA SE IN STRJENEGA VISOKOAERIRANEGA BETONA

Dodana polipropilenska vlakna zelo ugodno vplivajo na reološke lastnosti visokoairiranih betonov. V svežem stanju se izboljšujeta vgrajevanje in obdelovanje. V strjujočem se in strjenem stanju pa kažejo ugotovljeni rezultati meritev predvsem zmanjšanje tečenja pri dolgotrajni obremenitvi zaradi vlaken.

Rezultate, ki so podani na sliki 3, smo dobili pri meritvah tehnoloških in napetostnih deformacij mikroarmiranega betona s prostorninsko maso 2050 kg/m^3 (13, 14).





Slika 3. Tehnološke in napetostne deformacije betona s prostorninsko maso 2050 kg/m^3 s polipropilenskimi vlakni in brez njih

S slike 3 je razvidno, da je krčenje betona z vlakni in brez njih do starosti 50 dni približno enako, kasneje pa se pri betonu z vlakni nekoliko hitreje zmanjšuje. Pri tlačni obremenitvi z $1/3$ porušne sile pri starosti betona 28 dni se pojavijo hipne deformacije, ki so pri betonu s polipropilenskimi vlakni približno za 50 % manjše od deformacij betona brez vlaken. Tečenje betona z vlakni je nato precej manjše v primerjavi s tečenjem betona brez vlaken.

SKLEP

Iz doslej ugotovljenih rezultatov preiskav lahko zaključimo, da so uporabljena, doma proizvedena jeklena in polipropilenska vlakna primerna za mikroarmiranje visokoariranih betonov. Tekstura teh betonov omogoča dobro razporeditev vlaken po celotni masi. Dobro sprejemljivost vlaken s cementnim kamnom dosežemo z večjo kakovostjo cementnega kamna. Polipropilenska vlakna imajo največji vpliv na izboljšanje mehanskih lastnosti pri betonih s čim manjšo prostorninsko maso.

LITERATURA

1. Šušteršič J. s sodelavci: Razvoj in uporaba mikroarmiranih betonov, 1. del – Raziskave lastnosti brizganih mikroarmiranih betonov, RSS – PORS 06 – Graditeljstvo, Ljubljana 1986.
2. Šušteršič J. s sodelavci: Razvoj in uporaba mikroarmiranih betonov, 2. del – Razvoj in uporaba polipropilenskih vlaken, RSS – PORS 06 – Graditeljstvo, Ljubljana 1987.
3. Šušteršič J., Urbančič S. in sodelavci: Razvoj in uporaba mikroarmiranih betonov, 3. del – Optimizacija sestav mikroarmiranih betonov z jeklenimi in polipropilenskimi vlakni iz lastne proizvodnje, RSS – PORS 06 – Graditeljstvo, Ljubljana 1988.
4. ACI Committee 544: State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice 1986, Part 5, ACI Publication, Detroit, Michigan, 1986.
5. Barr, B. I. G. and Hasso, E. B. D.: A Study of Toughness Indices, Magazine of Concrete Research, vol. 37, No. 132, pp. 162–174, September 1985.
6. Johnston, C. D.: Definition and measurement of flexural toughness parameters for fibre reinforced concrete. Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 4, No. 2, Winter 1982, pp. 53–60.
7. Johnston, C. D.: Precision of flexural strength and toughness parameters for steel fibre reinforced concrete. Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 4, No. 2, Winter 1982, pp. 61–67.
8. ACI Committee 544. Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, ACI 544. 2R–78, ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, American Concrete Institute, Detroit, 1986.
9. ASTM Standard C 1018: Test method for flexural toughness of fibre reinforced concrete (Using beam with third-point loading), ASTM, Philadelphia, 1986.
10. Wang, Y. and Backer, S.: Toughness determination for fibre reinforced concrete. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 11, No. 1, Feb. 1989, pp. 11–19.
11. Ukrainčik V., Mavar K., Šušteršič J., Mali E. in Rebič M.: Faserbeton – Beziehung zwischen Qualität und Menge von Fasern und Betonfestigkeit, Zement und Beton, Heft 2, 1989, S. 67–70.
12. Šušteršič J., Mali E., Gjura J. st., Urbančič S., Ceklin F.: Razvoj in uporaba jeklenih in polipropilenskih vlaken domače izdelave in z njimi mikroarmirani betonski kompoziti, Zbornik referatov posvetovanja o inovativni dejavnosti v gradbeništvu, Gornja Radgona, 4. 4. 1989, str. 81–88.
13. Mali E., Šušteršič J., Zajc A.: Anwendung von feinkörnigem und in erhöhtem Maß mikrobefestigten Beton (Schaumporenleichtbeton) im Wasserbau, Zement und Beton, Heft 2, 1989, S. 63–65.
14. Mali E., Šušteršič J., Gečev T., Gjura J. st.: Obloga akumulacijskega bazena za HE Lomštica iz penobetona, ojačanega s polipropilenskimi vlakni, Zbornik referatov posvetovanja o inovativni dejavnosti v gradbeništvu, Gornja Radgona, 4. 4. 1989, str. 89–103.

VISOKOAERIRANI BETONI V SANACIJSKIH IN RESTAVRATORSKIH DELIH

UDK 691.322:69.059

JANEZ GJURA, ANDREJ FLIS

POVZETEK

Visokoaerirani beton je zaradi svojih lastnosti zelo primeren material pri sanacijah starih objektov kakor tudi za nadomestitev dotrajanih in poškodovanih elementov. Uveljavil se je pri zapolnjevanju in ojačitvi obokov, za kar je bila na ZRMK razvita posebna metoda. Uporabljen je bil tudi za izdelavo elementov Zmajskega mostu in Tromostovja ter za izdelavo natančnih kopij tivolskih in blejskih luči.

HIGHLY AERATED CONCRETES IN REPAIR AND RESTORATION WORKS

SUMMARY

Due to its properties, highly aerated concrete is a very suitable material for the repair of old buildings, as well as for replacement of damaged or worn-out elements of buildings and other structures. In particular, it has been used for the filling and strengthening of vaulted floor structures, for which a special method was developed at ZRMK. It has also been used for the construction of replacement elements for the Zmajski most and Tromostovje bridges in Ljubljana, as well as for exact copies of original lamp-pillars in the Tivoli Park, Ljubljana and at Bled.

UVOD

Zaskrbnjuječe je dejstvo, da v zadnjem času naša arhitekturna dediščina nezadržno propada; to propadanje je še posebej očitno pri betonih. Zaradi onesnaženega okolja in s tem kislega dežja že razpada večji del arhitekturne dediščine iz zgodnjega obdobja uporabe betona na naših tleh.

V slovenskem prostoru se je beton začel uporabljati po potresu v Ljubljani. Leta 1886 se pojavi nova obrt – izdelovanje umetnega kamna in betonskih predmetov. Obrtniki so izdelovali stopnice, ploščice, balkonske ograje in drugo okrasje iz betona. Ker so bili betonski izdelki občutno cenejši od naravnega kamna, je ta obrt začela resno ogrožati kamnoseke in stavbne kiparje. Poleg izdelovalcev umetnega kamna se pojavi še ena nova panoga obrtnikov – teracerji, ki polagajo teraco ali beton v prostore, ki niso namenjeni za bivanje, predvsem v veže, hodnike in kuhinje. Iz zgodnjega obdobja uporabe betona na naših tleh velja omeniti Zmajski most, ki s svojo secesijsko fasado – in za tiste čase drzno, prvič praktično preizkušeno statično rešitvijo z uporabo betona ne samo

kot gradiva ampak tudi za izdelavo fasade – sodi, če že ne med naše arhitekturne spomenike, pa prav gotovo v sam vrh naše tehnične dediščine.

Uporaba betona kot reprezentativnega materiala se je k nam razširila neposredno z Dunaja, vendar se praviloma uporablja kot skriti element konstrukcije oziroma pri mostovih, na primer most Jesenice pri Reki z razponom 19,27 m in most prek reke Idrije z razponom 55 m. Tu zasledimo razčlenjeno oblikovanje v obliki stebrov in rebrastih nosilcev, ki je prvi tak poizkus pri nas. Od vodnih zgradb velja omeniti tudi objekt hidroelektrarne Fala, zgrajene za potrebe tovarne karbida v Rušah. Od visokih gradenj pa velja omeniti reprezentativni objekt sedanje tiskarne Ljubljanskega dnevnika, katere stropi so že izdelani iz jeklenih profilov, med katerimi so betonski svodi z izenačevalnimi loki. V ljubljanskem prostoru se je beton kot enakovredno gradivo uveljavil šele med obema vojnoma, predvsem pri mostovih, ki jih je načrtoval prof. Plečnik. Tako lahko zasledimo dosledno uporabo betona pri prenovi Tromostovja, Čevljarskega mostu in pri posameznih mostovih na Gradaščici.

Ne glede na to, da beton ne sodi v kategorijo tradicionalnih gradiv, moramo zaščititi tudi tovrstno arhitekturo. Pri takšnih posegih pa naj bi tam, kjer je to dopustno, uporabljali sodobne načine in materiale, in to predvsem takrat, ko bi ti postopki in gradiva izboljšali obstojnost in tako tudi racionalizacijo prenove. Eden izmed takšnih materialov je tudi visokoaerirani beton (penobeton).

Avtorja:

Janez Gjura, dipl. inž. arh., višji razisk. sodel.,
Andrej Flis, dipl. inž. kem. tehnol., razisk. sodel.



Slika 1. Detajl podstavka na Zmajskem mostu

MOŽNOST UPORABE PENOBETONA PRI PRENOVI

Penobeton lahko uporabljamo kot vidni ali skriti element konstrukcije.

Kot skriti element konstrukcije se je penobeton uporabil predvsem pri zapolnjevanju obokov po metodi, ki smo jo razvili na ZRMK skupaj s TOZD Inštitut za konstrukcije, gradbeno fiziko in sanacije (mag. Roko Žarnič: Razvoj metod za protipotresno sanacijo in ojačitev zidanih zgradb – ojačitev zidanih obokov PR: 06–5688–227–87). Pri nas in v svetu so znani postopki ojačitve s povezovanjem obokov z robnimi armiranobetonskimi venci in z diagonalnimi jeklenimi vezmi ali armiranobetonskimi ploščami nad oboki. Pogosto uporabljeni način ojačitve je tudi obbetoniranje zgornje površine obokov s tanko armiranobetonsko lupino. S takimi ojačitvami se povečujejo obremenitve konstrukcije, saj je pri medetažnih konstrukcijah treba dodati tudi nasutje ali izravnavo z dodatnimi konstrukcijami, ki pa ne povečajo same ojačitve. Postopek, razvit na ZRMK, temelji na uporabi penobetona, ki tvori dodatno obočno nosilno konstrukcijo nad zidanim obokom in nadomešča nasutje obokov. Armatura, ki se vgrajuje v penobe-

ton vodoravno, povezuje okolne zidove z obokom. Mehanske lastnosti penobetona so bistveno drugačne kot lastnosti običajnega betona in bližje lastnostim opečnih obokov, kar omogoča boljše sodelovanje obstoječe opečne in novograjene konstrukcije pri prevzemanju obremenitev. Poskusno smo izvedli zapolnjevanje obokov na treh objektih v Sloveniji, med njimi tudi na Tavčarjevi domačiji na Visokem. Sámó delo in rezultati so pokazali, da pri zapolnjevanju obokov ni težav. Tekoča konsistenca penobetona omogoča dobro zapolnjevanje vseh delov obokov in odlično sprejemljivost z obstoječo konstrukcijo. S takšno metodo sanacije in ojačitve obokov lahko dosežemo večkratna povečanja nosilnosti na vertikalno in ciklično horizontalno obremenitev, v približno enakem razmerju pa se zveča tudi njena togost. Mehanizem obnašanja zalitih obokov je veliko bolj ugoden, saj za porušitev ni odločilen obok, temveč nosilnost zidov, le-ta pa se lahko na razmeroma enostaven način zveča z znanimi in s preizkušenimi metodami.

Kot vidni element konstrukcije je penobeton mogoče uporabiti povsod tam, kjer je kot nadomestilo betona



Slika 2. Del prenovljene balustrade na Tromostovju



konservatorsko upravičen. Takih primerov je bilo v dose-
danji praksi več; prvi pa je bil popolna prenova Zmajskega
mostu, kjer smo s penobetonom nadomestili vse dotrajane
elemente mostne ograje in fasade. Penobeton smo vgra-
jevali v kalupe iz sintetičnega kavčuka in poliestra; to je
še ena izmed prednosti uporabe penobetona pri prenovi,
kajti za izdelavo odlitkov niso več potrebni dragi železni
kalupi. Kalup iz poliestra je neprimerno cenejši, in to ne
samo zaradi materiala, ampak tudi zaradi enostavnosti
izdelave, saj tak kalup izdelamo z neposrednim odvzema-
njem forme originalnega elementa. Vgrajevanje je brez
vibracij in kontraktorsko, tako da je površina surovega
izdelka gladka in brez por. Odlitek je mogoče obdelovati
z vsemi znanimi tehnikami obdelave betona oziroma
kamna, od krtačenja prek štokanja do peskanja. Podobno
kot smo izdelali odlitke za Zmajski most, smo odlili tudi
del porušene balustrade na Tromostovju.

Sodelovali smo tudi pri parkovnih ureditvah; tako smo za
razširitev parka v Tivoliju izdelali pet kopij »Plečnikovih
luči«, na novo postavili luči ob Blejskem jezeru in sodelo-
vali pri prenovitvenih delih parka ob Vegovi ulici, kjer smo
izdelali nove stopnice in krovnne plošče.

Penobeton kot material se je tako že uveljavil pri prenovi-
tvenih delih. Možnosti njegove uporabe so vsestranske,
predvsem zaradi enostavnega vgrajevanja in odlične
obstojnosti.

Slika 3. Nova luč v parku Tivoli



ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE
LJUBLJANA, ERJAVČEVA ULICA 15 ; TEL.: 061/221 587

ROKI PRIPRAVLJALNIH SEMINARJEV ZA STROKOVNE IZPITE V GRADBENIŠTVU ZA LETO 1989

8. seminar: od 20. do 24. novembra 1989

9. seminar: od 18. do 22. decembra 1989

Prijavo v obliki dopisa, z navedbo podatkov o udeležencih seminarja (ime in priimek, z izobrazbo pridobljena strokovnost, naslov) in roka udeležbe, je potrebno pravočasno poslati na naslov **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Erjavčeva 15, Ljubljana**. Na vsak seminar sprejmemo 40 slušateljev

TITANOVA SADRA IZ CINKARNE CELJE V PROIZVODNJI CEMENTA

UDK 691.311:666.9

DAMIJANA DIMIC, JERNEJA ŠUPUT, MATJAŽ PELAN

POVZETEK

Raziskovali smo možnost uporabe odpadne titanove sadre iz Cinkarne Celje za proizvodnjo portlandskega cementa. Pokazalo se je, da je kot regulator vezanja cementa enakovredna naravni sadri. V članku so podane karakteristike titanove sadre (kemična sestava, radioaktivnost, finost, mikroskopski videz kristalov, rentgenska analiza), obravnavana pa je tudi priprava filtrnega kolača titanove sadre v kosovno obliko. Opisane so lastnosti portlandskega cementa, pripravljenega s titanovo sadro, v primerjavi s cementom, pripravljenim z naravno sadro.

TITANOGYPSUM FROM THE CELJE ZINC-WORKS FOR THE PRODUCTION OF CEMENT

SUMMARY

An investigation was carried out into the possibilities of use of titanogypsum from the Cinkarna Celje (Celje Zinc-Works) for the production of Portland Cement. It was found that, as a setting retarder for cement, titanogypsum is just as good as natural gypsum. In the paper, the characteristics of titanogypsum are described (chemical composition, radioactivity, fineness, appearance of the crystals under the microscope, X-ray analysis), and methods for processing the titanogypsum filter cake into lumpy form are discussed. The properties of portland cement made with those of cement made with natural gypsum.

1. UVOD

V številnih kemičnih industrijah, v zadnjem času pa tudi pri razžveplanju dimnih plinov, nastajajo kot odpadni produkt velike količine kalcijevega sulfata, ki ga imenujemo tudi kemična sadra. Običajno jo poimenujemo po procesu, v katerem nastaja, npr. titanova sadra, fosforjeva sadra, citrosadra, desulfosadra ipd. Zaradi razlike v izvoru in nastanku je vsaka zase do neke mere specifična, predvsem zaradi primesi, ki jih vsebuje.

Svetovna letna proizvodnja kemičnih sader je znašala v letu 1981 okoli 120 milijonov ton, od tega je bilo največ fosforjeve sadre, in to 90 %, in le 10 % ostalih sader. Podobno razmerje je bilo takrat tudi v Zahodni Evropi. Od skupnih 23 milijonov ton letno je bilo 19,5 milijona ton fosforjeve sadre in le 3,5 milijona ton ostalih sader. Usmeritev proizvodnje in uporaba sadre v Zahodni Evropi sta prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1. Proizvodnja in uporaba sadre v državah Zahodne Evrope v milijonih ton

	1974	1976	1981	1985
Proizvodnja kemičnih sader	20	21	23	25
Koristna uporaba kemičnih sader	2	2,6	3	4
Skupna poraba sadre (naravna + kemična)	23	24	25	27
Delež porabljene kemične sadre	8,7	10,8	12	14,8

Količina kemičnih sader v zadnjih letih po svetu zelo hitro narašča zaradi vse hitrejši izgradnje čistilnih naprav za razžveplanje dimnih plinov v termoeenergetskih objektih, ki so kurjeni s premogom. Nastajajo ogromne količine t. i. desulfosadre. Večina kemičnih sader se danes še spušča v reke in morja ali odlaga v bližnjo okolico obrata, pogosto na plodno obdelovalno zemljo. Tak način odlaganja se pri vse večji skrbi za človekovo okolje gotovo ne bo več dopuščal in to je tudi osnovni razlog za vse intenzivnejše iskanje možnosti uporabe kemičnih sader. Tudi slovenska kemična industrija ima podobne probleme. V Sloveniji nastane na leto okoli 210.000 ton kemične sadre. Po količini sta pomembni titanova sadra, ki nastaja pri proizvodnji titanovega dioksida v Cinkarni Celje (95.000 ton na leto), ter fosforjeva sadra, ki nastaja pri proizvodnji

Avtorji:

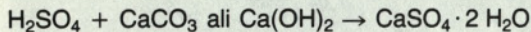
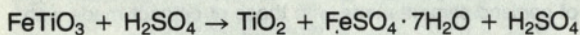
mag. Damijana Dimic, dipl. inž. kem., razisk. svetnik –
Jerneja Šuput, dipl. inž. kem., razisk. sodel. Matjaž Pelan,
inž. kem.

fosforjeve kisline v Kemični tovarni Hrastnik (80.000 ton na leto).

Na ZRMK smo se s problematiko predelave odpadne sadre v sekundarne surovine začeli ukvarjati že na začetku sedemdesetih let, ko smo izdelali prvo študijo v Jugoslaviji o možnosti uporabe kemične sadre v proizvodnji gradbenih materialov (1). V letu 1986 je bila sklenjena prva faza raziskav o možnosti uporabe kemične sadre, ki nastaja pri proizvodnji titanovega dioksida v Cinkarni Celje. Ta je v svojem dolgoročnem programu za reševanje problematike odpadnih materialov (2, 3) predvidela za predelavo 80.000 ton titanove sadre na leto, toliko je namreč nastaja po prvi stopnji nevtralizacije, od tega 70.000 ton v obliki dihidrata za potrebe cementne industrije, 10.000 ton, predelane s praženjem v polhidrat, pa kot vezivo za gradbeništvo in industrijo gradbenih elementov.

2. POSTOPEK NASTANKA IN SEDANJEGA ODLAGANJA TITANOVE SADRE

Titanov dioksid v Cinkarni Celje pridobivajo po sulfatnem postopku iz rude ilmenit in titanove žlindre. Pri tem nastajajo odpadna žveplova kislina in odpadne kisle odplake. Kisline in odplake nevtralizirajo v dveh stopnjah z apnencem ali apnom, pri čemer nastaja odpadna sadra v obliki dihidrata.



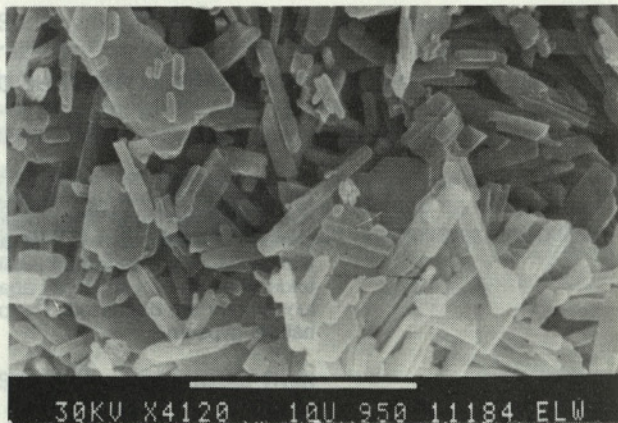
Iz vsake tone TiO_2 dobijo okoli 3,6 tone titanove sadre. Trenutno nevtralizirano suspenzijo sadre odlagajo na odlagališče v Bukovžlaku (slika 1).

Cinkarna Celje si zelo prizadeva, da bi zmanjšala količine sadre za odlaganje; zato je tudi naročila študijo, s katero naj bi preučili možnosti koristne uporabe titanove sadre (4, 5).

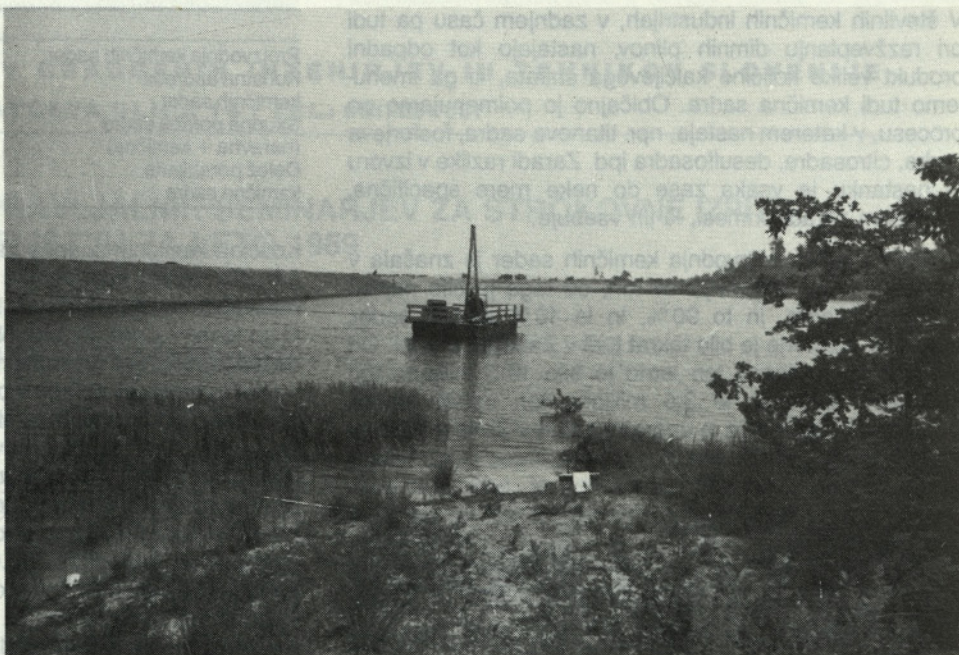
Prednostno naj bi se uporabljala sadra iz prve stopnje nevtralizacije. Ta je razmeroma čista, svetle krem barve, medtem ko je odpadki po drugi stopnji nevtralizacije onesnažen z železovimi spojinami. Vsebuje 10 pa tudi do 30% železovih spojin, ki ga obarvajo intenzivno rdeče rjavo, in je manj primeren za uporabo.

V študiji o možnosti predelave titanove sadre iz Cinkarne Celje za uporabo v gradbeništvo oz. industriji gradbenih materialov je bila izhodišče titanova sadra iz prve stopnje nevtralizacije.

3. LASTNOSTI TITANOVE SADRE



Slika 2. Kristali titanove sadre Celje – SEM (scanning elektronski mikroskop)



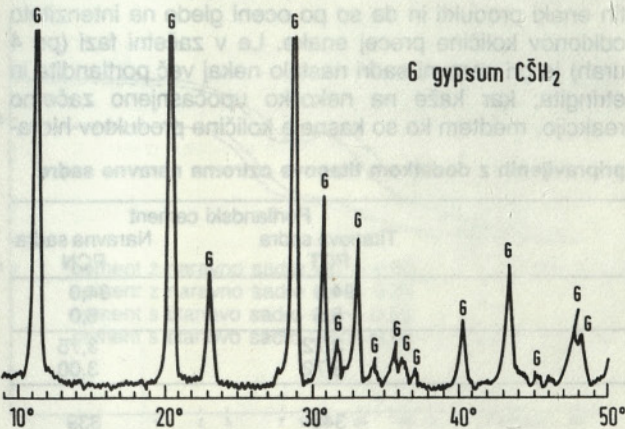
Slika 1. Odlagališče sadre v Bukovžlaku

Titanova sadra nastaja v obliki finih, drobnozrnatih, igličastih kristalov, velikih nekaj mikrometrov. Oblika in velikost kristalov sta prikazani na sliki 2. Približno 90 % zrn je velikih od 5 do 30 mikrometrov, 50 % pa jih je manjših od 10 mikrometrov.

Kemična sestava titanove sadre je podana v preglednici 2. Vsebuje prek 90 % kalcijevega sulfata dihidrata, preostali del pa so nečistote. Mineraloška sestava je prikazana na rentgenskem difraktogramu, posnetem na aparaturi Philips z žarkovjem CuK α (slika 3); z njega je razvidno, da sadra vsebuje izključno dihidrat, medtem ko primesi zaradi majhnih količin ni bilo mogoče identificirati.

Preglednica 2. Kemična sestava titanove sadre

	Titanova sadra TG
CaO	31,54 %
SO ₃	43,99 %
Kristalna voda	20,79 %
TiO ₂	0,37 %
Skupni P ₂ O ₅	0,13 %
V vodi topljiv P ₂ O ₅	0,004 %
Skupni F	0,02 %
SiO ₂	0,83 %
Al ₂ O ₃	0,07 %
Fe ₂ O ₃	0,57 %
MgO	0,12 %
CaSO ₄ · 2H ₂ O	94,58 %
Primesi	5,42 %



Slika 3. Rentgenski difraktogram titanove sadre

Preglednica 3. Količina radioaktivnih izotopov v različnih materialih (Bq/kg)

	U-238	Ra-226	Ra-228	Th-232	K-40	Ekv. radija*
Titanova sadra Celje	96	30	56	86	15	164
Naravna sadra	14,8	22,2	—	7,4	74	37
Fosforjeva sadra						
— obmorski fosfati	148	814	—	18,5	222	851
— magmatski fosfati	3,7	118	—	22,2	259	185
Običajni gradbeni materiali	—	52	—	52	518	185

* Ekviv. radija naj bi bil 370 Bq/kg.

Z visokoločljivostno spektroskopijo gama so nam v Inštitutu Jožef Stefan izmerili količino radioaktivnih izotopov, prikazano v preglednici 3 skupaj s podatki iz literature za nekaj drugih materialov (6).

Po naši zakonodaji (7) skupna dovoljena količina umetnih radionuklidov za visoko gradnjo ne sme presegati vrednosti 1 Bq/kg, za nizko gradnjo pa 2 Bq/kg. Za titanovo sadro znaša ta vrednost 0,44 Bq/kg, torej vsebuje dvakrat manj radionuklidov od dovoljene količine.

4. MOŽNOSTI UPORABE TITANOVE SADRE

Glede na karakteristike titanove sadre, razvidne iz rezultatov, bi jo bilo mogoče uporabiti praktično na vseh področjih, kjer ni potrebna velika čistota. V gradbeništvu je možna naslednja uporaba:

- kot regulator vezanja portlandskih cementov,
- kot surovina za proizvodnjo specialnih cementnih klinkerjev in cementov (ekspanzivni klinker, supersulfatni cement),
- kot mineralizator za žganje portlandskocementnega klinkerja,
- kot surovina pri proizvodnji elementov iz siporeksa,
- za proizvodnjo mavca ali anhidrita in izdelavo gradbenih mavčnih elementov.

Po svetu se največ kemične sadre porabi za proizvodnjo mavca in za regulacijo vezanja portlandskega cementa. V preglednici 4 so prikazani področja in delež uporabe kemičnih sader v Zahodni Evropi, ZDA in Japonski (6).

Preglednica 4: Področja in delež uporabe kemičnih sader (%)

	Zahodna Evropa	ZDA	Japonska
Mavec, mavčni elementi	57	80	44
Regulator vezanja portlandskega cementa	23	14	44
Za H ₂ SO ₄ in cement	8		
Amonijev sulfat	8	6	12
Agrikultura in drugo	4		
Skupaj porabljeno (milijonov ton na leto)	3	—	6

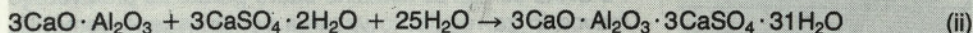
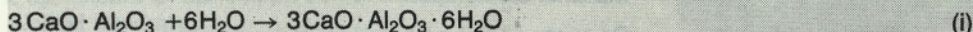
V Jugoslaviji bi bilo največ kemične sadre mogoče uporabiti za regulacijo vezanja portlandskega cementa. V letu 1985 je 18 jugoslovanskih cementarn proizvedlo 9,5 milijona ton cementa, za kar so porabili 450.000 ton

sadre, in to samo naravne. To bi bilo mogoče zamenjati s kemično sadro. Kot potencialne uporabnike titanove sadre iz Cinkarne Celje lahko štejemo obe slovenski cementarni (Anhovo, Trbovlje) in istrske (Koromačno, Umag), ki so v letu 1987 porabile skupaj okoli 115.000 ton naravne sadre, uvožene iz Bosne. Ta količina, upoštevajoč primese v naravni in titanovi sadri, ustreza okoli 90.000 tonam titanove sadre.

Za Cinkarno Celje je po količini torej najzanimivejša uporaba titanove sadre v cementni industriji, njena priprava pa bi hkrati bila tudi že prva faza predelave sadre v gradbeni mavec, za katerega bi po ocenah porabili 10.000 do 15.000 ton sadre na leto.

5. TITANOVA SADRA KOT REGULATOR VEZANJA PORTLANDSKEGA CEMENTA

Pri mletju portlandskocementnega klinkerja v cement se kot dodatek za regulacijo časa vezanja dodaja sadra, ki upočasni sicer zelo hitre reakcije cementnih aluminatov. Ti namesto v kalcijev aluminat-hidrat (i) v prisotnosti sadre hidratirajo v kalcijev aluminat-sulfat-hidrat, tj. etringit (ii), kar je počasnejša reakcija in omogoča normalno uporabo cementa v betonu.



Vpliv sadre na vezanje cementa ni vedno proporcionalen količini sadre, temveč je odvisen od številnih faktorjev, kot so sestava klinkerja, aktivnost, oblika in velikost klinkerjevih mineralov, finost mletja, hitrost toplotnosti sadre v vodi in še več drugih. Za vsak klinker posebej definiramo optimalno količino sadre. Zgornja meja količine SO_3 je

Preglednica 5: Sestava in lastnosti dveh portlandskih cementov, pripravljenih z dodatkom titanove oziroma naravne sadre

	Portlandski cement	
	Titanova sadra PCT	Naravna sadra PCN
Sestava: PC-klinker (%)	94,5	94,0
Sadra (%)	5,5	6,0
Delež SO_3 : računski (%)	3,72	3,75
dejanski (%)	3,72	3,00
Fizikalno-mehanske lastnosti		
– specifična površina (m^2/kg)	343	339
– prostorninska obstojnost		
• kolač po kuhanju	obstojen	obstojen
• kolač 28 dni v vodi	obstojen	obstojen
• kolač 28 dni na zraku	obstojen	obstojen
• po Le Chatelieru (mm)	0,8	0,6
– voda, potrebna za standardno konsistenco (%)	23,0	23,0
– čas vezanja (min)		
• začetek	155	125
• konec	190	165
– upogibna trdnost (MPa)		
• 3 dni	5,9	5,5
• 7 dni	6,4	6,7
• 28 dni	7,7	7,8
– tlačna trdnost (MPa)		
• 3 dni	31,5	28,8
• 7 dni	35,9	36,1
• 28 dni	44,6	45,2

definirana v standardih, kajti čezmerne količine sadre v cementu povzročajo negativne posledice, ki se po daljšem času pokažejo kot neobstojnost betonov.

Primerjalno smo raziskovali vpliv titanove sadre in naravne sadre z različnimi portlandskocementnimi klinkerji na lastnosti portlandskega cementa in na procese hidratacije. Cemente smo pripravili tako, da smo titanovo sadro dodajali v različnih količinah in na različne načine. V preglednici 5 so prikazane osnovne lastnosti dveh cementov, pripravljenih v laboratoriju s titanovo oziroma z naravno sadro in s povprečnim portlandskocementnim klinkerjem. Delež sadre smo definirali na enak delež komponente SO_3 v gotovem cementu. Preiskave smo izvedli po veljavnih metodah jugoslovanskih standardov.

Rezultati so pokazali, da ni pomembnih razlik v lastnostih cementov, pripravljenih z odpadno in naravno sadro. Z optimiranjem količine SO_3 za konkretni portlandskocementni klinker in vrsto sadre je mogoče pripraviti cemente izrednih kakovosti z optimalnimi lastnostmi glede na vrsto in marko.

Procese hidratacije smo spremljali z rentgensko difrakcijo, nuklearno magnetno resonanco in s scanning elektronskim mikroskopom pri različnih starostih cementnih past, od 30 minut do 60 dni. Rentgenska analiza hidratiranih

produktov kaže, da pri hidrataciji nastajajo v obeh cementih enaki produkti in da so po oceni glede na intenziteto odklonov količine precej enake. Le v začetni fazi (po 4 urah) je pri naravni sadri nastalo nekaj več portlandita in etringita, kar kaže na nekoliko upočasnjeno začetno reakcijo, medtem ko so kasneje količine produktov hidra-

V kosovno obliko je titanov filtrni kolač mogoče predelati na več načinov; preizkusili smo tri:

- z granuliranjem,
- z briketiranjem,
- z ekstrudiranjem.

6.1. GRANULIRANJE

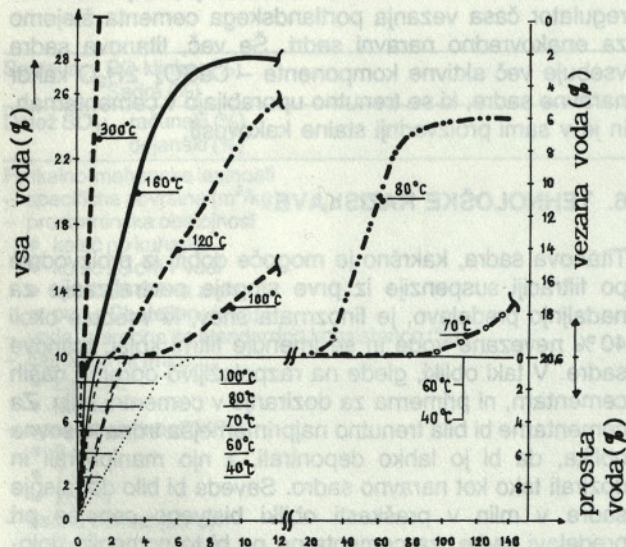
Titanov filtrni kolač je po eni strani premoker za granuliranje, po drugi strani pa sadra sama z granuliranjem ne more dati zadostne trdnosti granul. Treba ji je dodajati suho vezno komponento. Ta mora biti izbrana tako, da – dodana skupaj s sadro – ne škoduje kakovosti cementa. Pri raziskavah smo uporabljali cement, elektrofiltrski pepel, hidrirano apno in titanovo sadro, predhodno praženo v polhidrat. Z granuliranjem v polindustrijskem granulirnem krožniku smo dobili različno kakovost granul, najboljše rezultate pa je dalo granuliranje z mavcem. Karakteristike granulirane sadre so podane v preglednici 6. Gostota granul je $1,3\text{--}1,6\text{ g/cm}^3$, so primerno trdne za normalno manipuliranje in transport, niso pa odporne na odprti deponiji proti vplivu atmosferilij (dež, zmrzal).

Preglednica 6. Karakteristike kosovne titanove sadre

Postopek	Oblika	Gostota g/cm^3	Obstojnost
Granuliranje	granule	1,3–1,6	slabša
Briketiranje	briketi	2,1	dobra
Ekstrudiranje	valjčki	1,8	slabša
Naravna sadra	kosi	2,3	dobra

6.2. BRIKETIRANJE

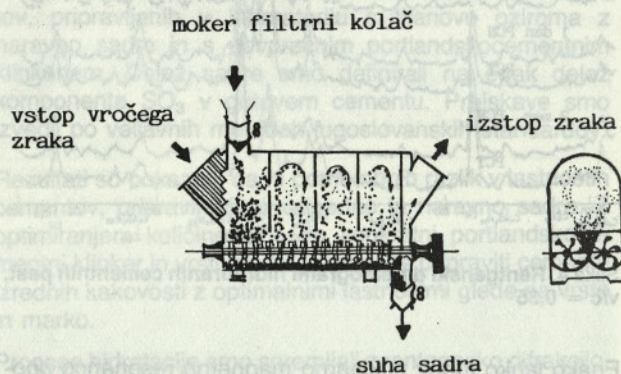
Briketirajo se suhi ali le malo vlažni materiali; taka predelava zato terja predhodno sušenje filtrnega kolača.



Slika 8. Krivulje sušenja kemične sadre v odvisnosti od temperature in časa

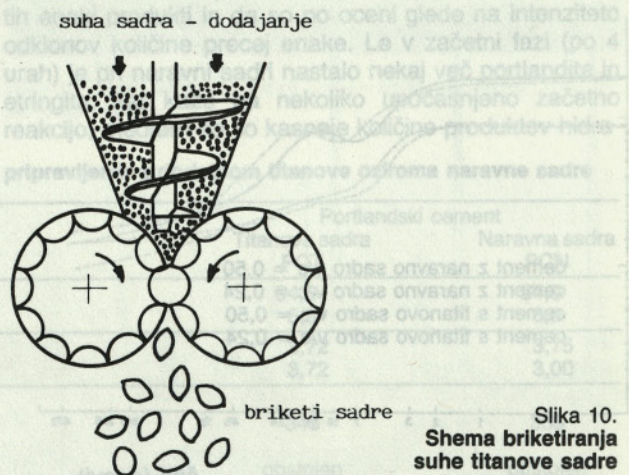
Pri tem pa je izjemno pomembna pravilna izbira procesa sušenja, saj moramo s sušenjem pri razmeroma visokih temperaturah, potrebnih za določeno količino sadre, ki bi jo bilo treba predelati, preprečiti dehidracijo kristalne vode. Ta se namreč začne že pri temperaturi 45°C . Krivulje sušenja kemične sadre so prikazane na sliki 8.

Za tako sušenje bi bil najprimernejši hitri sušilnik z razmetavanjem delcev sadre, kakor je prikazano na sliki 9.



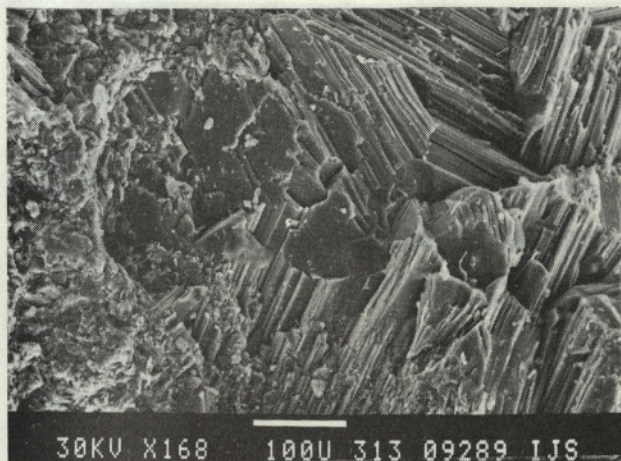
Slika 9. Sušilnik za sušenje filtrnega kolača kemične sadre

Shema briketiranja je prikazana na sliki 10.



Slika 10. Shema briketiranja suhe titanove sadre

Na osnovi ugodnih laboratorijskih rezultatov briketiranja je bil napravljen polindustrijski preizkus pri firmi Knauf v Iphofnu v Zahodni Nemčiji. Briketi imajo gostoto $2,1\text{ g/cm}^3$, kar je zelo blizu gostoti raščene naravne sadre; so čvrsti in odporni proti atmosferilijam. Zaradi velikih pritiskov pri briketiranju pride celo do preorientiranja kristalov sadre, tako da dobi kemična sadra obliko raščene naravne sadre, kar je prikazano na slikah 11 in 12.



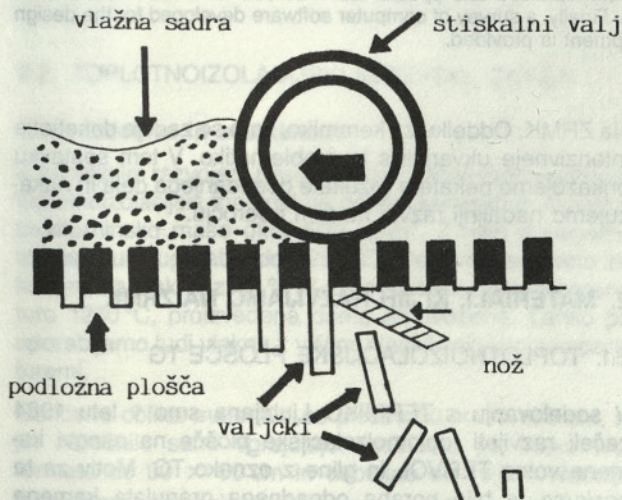
Slika 11. Prerez briketa titanove sadre – SEM



Slika 12. Prerez kosovne naravne sadre – SEM

6.3. EKSTRUDIRANJE

Princip delovanja ekstrudiranja je prikazan na sliki 13.



Slika 13. Shema ekstrudiranja kemične sadre

Ekstrudiranje poteka optimalno pri vlagi med 8 in 15%, zato je treba titanov filterni kolač pred ekstrudiranjem osušiti za okrog 30%, nato pa po potrebi sušiti tudi ekstrudirane valjčke. Osušeni kosi so še dokaj trdni, dosežena gostota je okoli $1,8 \text{ g/cm}^3$, vendar prav tako kot granule niso dolgo odporni proti atmosferilijam. Pri sušenju že ekstrudirane sadre je – tako kakor je bilo že omenjeno – pomembno, da ne pride do dehidracije kemično vezane vode; ta namreč terja posebej eksaktno tehnologijo sušenja.

7. SKLEP

S študijo o možnosti uporabe odpadne titanove sadre iz Cinkarne Celje smo ugotovili, da je le-ta enakovredno nadomestilo naravne sadre za regulacijo vezanja portlandskega cementa. Je celo stalnejše kakovosti od naravne sadre, kakršno dobivajo naše cementarne. Zato ne terja tako pogoste korekcije doziranja, da bi bila zagotovljena enakomerna količina SO_3 v cementu.

S primerno predelavo jo je mogoče pripraviti v kosovno obliko, tako da je najugodnejša za proizvajalce cementa. Poizkusi so pokazali, da je za titanovo sadro verjetno najboljši postopek briketiranje, saj dobimo tako po kemični sestavi, trdoti kakor tudi po obstojnosti proti atmosferilijam najboljšo kakovost.



Slika 14. Briketi titanove sadre, proizvedeni v firmi Knauf, Iphofen

Poleg tega smo z informativnimi preiskavami ugotovili, da je taka oblika titanove sadre, ki je v nekem smislu prekristalizirana, zelo primerna za nadaljnjo predelavo v α in β -mavec ter anhidrit. Mavec, pridobljen iz briketov, terja za enako plastičnost bistveno manj vode kakor finoizrnat mavec, pridobljen neposredno s praženjem osušenega filternega kolača, kar bistveno izboljša kakovost obeh, mavca in anhidrita.

LITERATURA

1. S. Droljc: Fosfor gips kao regulator vezivanja pri hidrataciji portland cementa, VI. strokovno posvetovanje proizvajalcev cementa, Portorož 1974, objavljeno v Zborniku del ZRMK, str. 16–20.
2. Cinkarna Celje: Ekološka sanacija Cinkarne Celje, jan. 1986.
3. Cinkarna Celje: Povzetek dolgoročnega plana Cinkarne Celje, febr. 1986.
4. D. Dimic, S. Droljc, J. Šuput, M. Pelan, D. Podpečan, S. Ojdanić, V. Ružić: Študija o uporabi odpadne titanove sadre iz Cinkarne Celje v proizvodnji cementa. Raziskovalna naloga št. 03110008, 1986, 68 str.
5. D. Dimic, M. Orel, M. Gspan: Pridobivanje gipsa iz procesa dvofazne nevtralizacije, ZRMK, Ljubljana 1984, 45 str.
6. K. Weterings: The utilisation of Phosphogypsum, The Fert. Soc. Proc. 208, 1982.
7. Uradni list SFRJ, št. 32/79, Pravilnik 10, 12. člen.

13 LET RAZVOJA NA PODROČJU TEMPERATURNOSTOJNOSTI IZOLACIJSKIH MATERIALOV

UDK 699.82:65.012.12

JURIJ ŠOBA, ANDREJ ELERŠEK, MIHAELA KOVAČEVIĆ

POVZETEK

Članek obravnava materiale za toplotno izoliranje industrijskih naprav, ki smo jih na ZRMK razvijali v zadnjih 13 letih. Predstavljene so plošče na osnovi mineralnih vlaken za uporabo pri temperaturah 1000° in 1250°C ter izolacijski mulitni oblikovanci za uporabo pri temperaturah do 1400°C. Na kratko so prikazane preiskave teh materialov za naročnike. Predstavljeni so tudi računalniški programi za konstruiranje toplotnih naprav.

13 YEARS OF DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE RESISTANT INSULATING MATERIALS

SUMMARY

The paper deals with the development, at ZRMK, over the past 13 years, of materials for the thermal insulation of industrial equipment. Mineral-fiber insulating boards for use at temperatures of 1000 and 1250°C are described. Lightweight mullite mouldings for use at temperatures of up to 1400°C, too, are presented. A brief discussion of standardised and special test methods for these materials, for the needs of customers, is also given. Finally, a survey of computer software developed for the design of thermally insulating industrial equipment is provided.

1. UVOD

Materiali za toplotno izoliranje industrijskih toplotnih naprav, predvsem peči, doživljajo podobno kakor drugi materiali v zadnjih letih pospešen razvoj. Razlog za to je razumljiv: varčevanje z energijo. Posebno pri visokih temperaturah lahko prihranimo veliko energije z izbiro ustreznih materialov, z njihovo pravilno vgraditvijo in z energetskega napravo, ki je v celoti pravilno zasnovana.

Na ZRMK, Oddelku za keramiko, smo se zadnje desetletje intenzivneje ukvarjali s to problematiko. V tem sestavku prikazujemo nekatere rezultate dosedanjega dela in nakužujemo nadaljnji razvoj na tem področju.

2. MATERIALI, KI JIH RAZVIJAMO NA ZRMK

2.1. TOPLLOTNOIZOLACIJSKE PLOŠČE TG

V sodelovanju s TERMIKO Ljubljana smo v letu 1984 začeli razvijati toplotnoizolacijske plošče na osnovi kamene volne Tervol in gline z oznako TG. Motiv za te poskuse je bila poraba odpadnega granulata kamene volne pri razrezu izolacij iz Tervola. Plošče izdelujemo

Avtorji:

mag. Jurij Šoba, dipl. inž. kem., višji razisk. sodel. – Andrej Eleršek, dipl. inž. stroj., razisk. svetnik – mag. Mihaela Kovačević, dipl. inž. kem., razisk. svetnik

po mokrem postopku vakuumskega oblikovanja. Po sušenju in žganju surovcev nastane lahek in trden material. Osnovni proizvod so plošče formata $50 \times 50 \times 5$ cm s prostorninsko maso okoli 500 kg/m^3 . Uporabne so do temperature največ 980°C pri blagih hitrostih segrevanja in ohlajanja.

Lastnosti materiala TG so prikazane v preglednici 1.

Preglednica 1. Osnovne lastnosti izolacijskega materiala TG

poroznost (vol. %)	75
prostorninska masa (kg/m^3)	500
upogibna trdnost (MPa)	1,5
tlačna trdnost (MPa)	3,0
toplotna prevodnost (W/mK) pri:	
20°C	0,12
200°C	0,17
400°C	0,22
600°C	0,26
900°C	0,31
naknadni skrček 12 h/980°C (%)	0,0
zmehčišče ($^\circ\text{C}$)	1060

Plošče priporočamo za specialne aplikacije, kot je npr. zaščita bolj občutljivih slojev pred korozijo agresivnih atmosfer (npr. SO_2).

Za proizvodnjo materiala TG je bila izdelana tudi preliminarna tehnološka študija za količino 1000 m^3 na leto, ki jo lahko ponudimo kot nov program.

Nekatere aplikacije plošč TG:

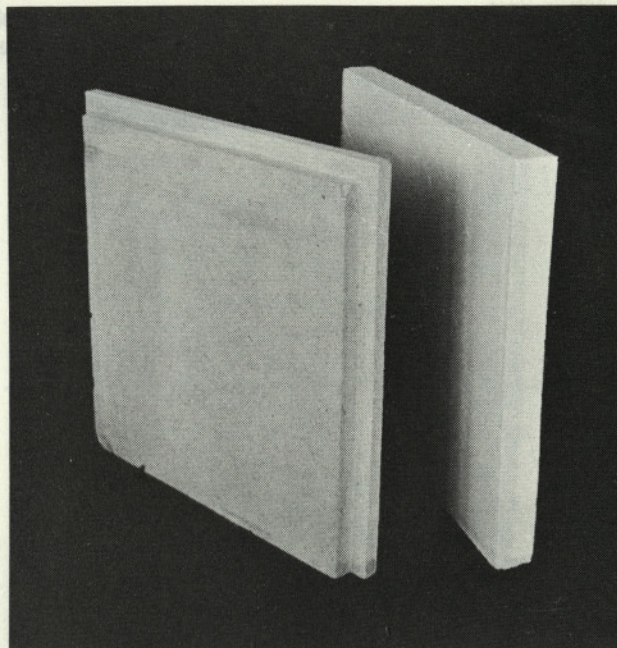
- izolacijski sloji v vagončkih tunelnih peči za žganje sanitarne keramike in keramičnih ploščic. Vgrajena sta bila dva vagončka v Jugokeramiki Zagreb in en vagonček v Keramiki Gorenje;
- izolacije vzdrževalnih peči za talno aluminija s kapaciteto 1 do 3 t, ki jih izdeluje tovarna Stroj, Radlje ob Dravi. Plošče TG ščitijo sloje kalcijeve silikatne izolacije pred korozijo agresivnih plinov;
- podložni sloj v dviznem dnu komorne peči za žganje kremenčevih izljevov v tovarni Exoterm Kranj.

2.2. TOPLOTNOIZOLACIJSKI MATERIAL IZOKER

2.2.1. Izdelava in asortiment

Z nadaljnjim razvojem postopka smo začeli proizvajati tudi toplotnoizolacijski material na osnovi keramičnih vlaken s prostorninsko maso okoli 500 kg/m^3 . Z njim dosegamo temperaturo uporabe do 1250°C . Osnovna surovina so keramična vlakna z 42 % Al_2O_3 s klasifikacijsko temperaturo 1260°C , proizvedena doma ali uvožena. Lahko pa uporabljamo tudi vlakna z višjimi klasifikacijskimi temperaturami.

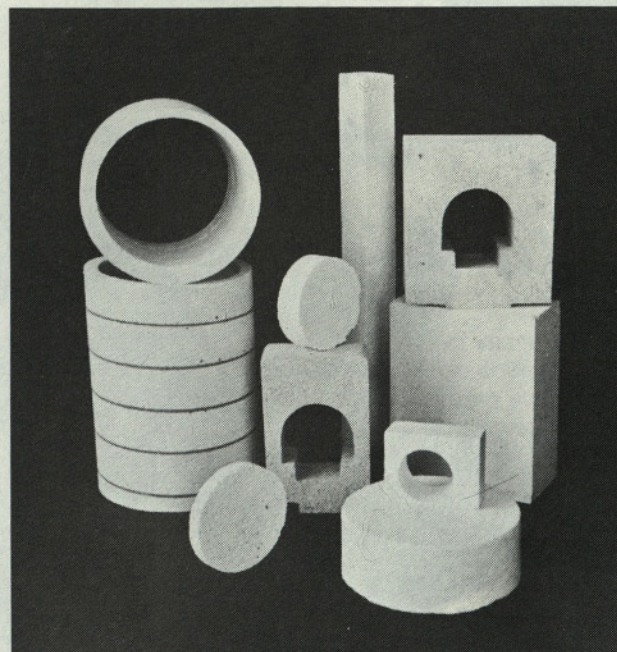
Osnovna oblika materiala so plošče $50 \times 50 \times 5$ cm, ki jih naročniki sami vgrajujejo. Izdelamo pa lahko tudi formate do 90×50 cm in debeline do 10 cm. Nadalje izdelujemo specialne oblikovance zahtevnejših oblik, za katere pa je treba pripraviti posebne kalupe.



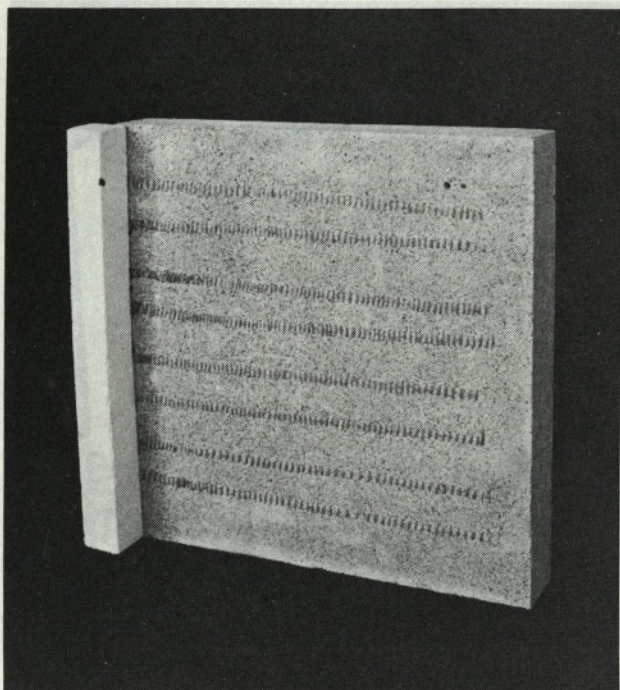
Slika 1. Izolacijske plošče IZOKER KVG

Posebna vrsta izdelka so grelni moduli IZOKER. V plošče iz keramičnih vlaken so tik pod površino vgrajene spiralne grelné žice. Moduli se vgradijo v stene peči, grelné spirale pa se priključijo na električno napetost. Temperatura uporabe teh modulov je do 1200°C .

Na slikah 1, 2 in 3 je prikazan asortiment izdelkov iz materiala IZOKER.



Slika 2. Izolacijski oblikovanci, dobljeni v posebnih kalupih ter z rezanjem in lepljenjem



Slika 3. Grelni modul IZOKER

Z modifikacijo postopka vakuumskega oblikovanja smo v novjšem času dobili posebno homogen in bolj izolativen tip materiala IZOKER. Njegove lastnosti so v primerjavi s prvotno težjo izvedbo podane v preglednici 2.

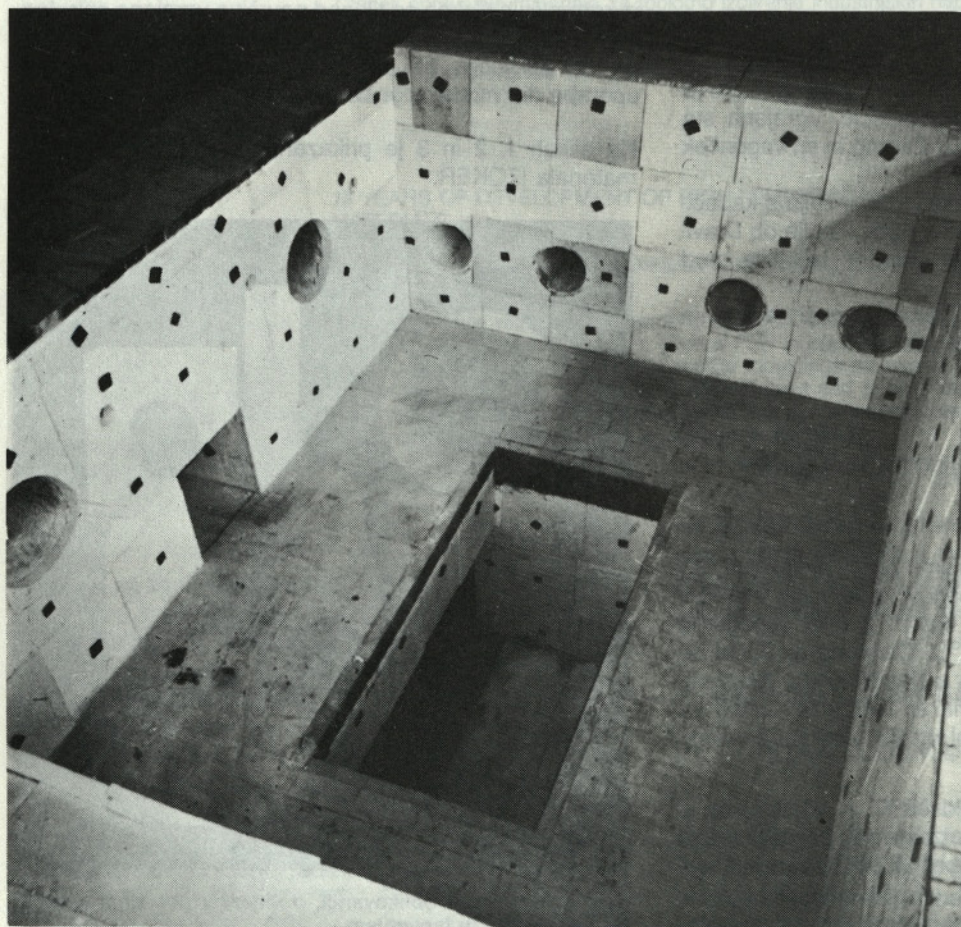
2.2.2. Lastnosti in aplikacije materiala IZOKER

Preglednica 2. Osnovne lastnosti materiala IZOKER v težji in lažji izvedbi

poroznost (vol. %)	75	80
prostorninska masa (kg/m ³)	500	350
upogibna trdnost (MPa)	1,5	0,7
tlačna trdnost (MPa)	2,5	1,3
toplotna prevodnost (W/mK) pri:		
20 °C	0,12	0,08
200 °C	0,17	0,10
400 °C	0,22	0,12
600 °C	0,26	0,17
800 °C	/	0,20
900 °C	0,31	/
naknadni skrček (%) pri:		
12 h/1260 °C	/	0,5
4 h/1340 °C	0,8	/

Material proizvajamo v pilotnem merilu že več kot tri leta. Njegove aplikacije so zelo raznolike in jih najbolje ponazarjajo nekateri primeri.

– Obloga peči za preiskave požarne odpornosti konstrukcij na ZRMK.



Slika 4. Komora peči za požarne preiskave na ZRMK

Gre za obzidavo komore $4 \times 3 \times 1,8$ m s ploščami IZOKER KVG s stopničastimi stranskimi ploskvami, da se med seboj tesno prilegajo. Sidrane so s prokron sidri. Temperatura se med preiskavo dviguje po standardni požarni krivulji do 1200°C oziroma dokler se preizkušana konstrukcija ne poruši. To je primer obloge, ki obratuje v najtežjih pogojih; ob koncu preiskave se strop podre in peč je izpostavljena nagli ohladitvi. Pokazalo se je, da so homogene, kakovostno izdelane in pravilno vgrajene plošče zdržale prek 25 preiskav.

– Obloga pokrova za predgrevanje ponovc v Železarni Ravne. To je primer stropne montaže plošč $50 \times 50 \times 5$ cm s prokron sidri. Temperatura dosega do 1300°C , zato jih je treba menjavati na pol leta. S tako izvedbo obloge smo nadomestili dosednji način oblaganja s keramičnim filcem, ki je imel mnogo krajši rok trajanja.

– Vrhnja plošča pomičnega dna komorne peči v tovarni Exoterm Kranj. Aplikacija je zanimiva zato, ker je bila plošča izdelana iz dveh kosov formata $90 \times 90 \times 8$ cm, naloženih drug na drugega. Material je vzdržal 270 odpiranj peči pri 1150°C , kar pomeni temperaturni padec na temperaturo okolice. Na plošče nalagajo surovce za žganje, zato morajo biti še posebno odporne proti obrabi.

– Električno ogrevane peči za toplotno obdelavo kovin do 1100°C .

Tovarna Rade Končar – Elektrotermija, Sesevski Kraljevec, vgrajuje plošče IZOKER KVG na vroči strani stene med šamotnimi stebrički, ki so hkrati nosilci grelnih špiral. Izolacijske plošče so za špiralami pasovno toplotno obremenjene s temperaturo, ki je za 50 do 100°C višja od temperature v notranjosti. Za svoje potrebe so razvili še več načinov vgrajevanja, npr. v strop ali pa v vrata periodično obratujočih peči, kjer so bolj izpostavljene hitrim temperaturnim spremembam.

– Obloga grelnega dela avtomata za ulivanje cinkovih odlitkov.

Gre za oblogo manjšega formata $70 \times 40 \times 50$ cm, ki je izpostavljena močnemu kratkotrajnemu segrevanju z močjo 31,5 kW ob zagonu ter relativno nizki obratovalni temperaturi – okoli 650°C . Te pečice izdeluje Kovinoplastika Lož.

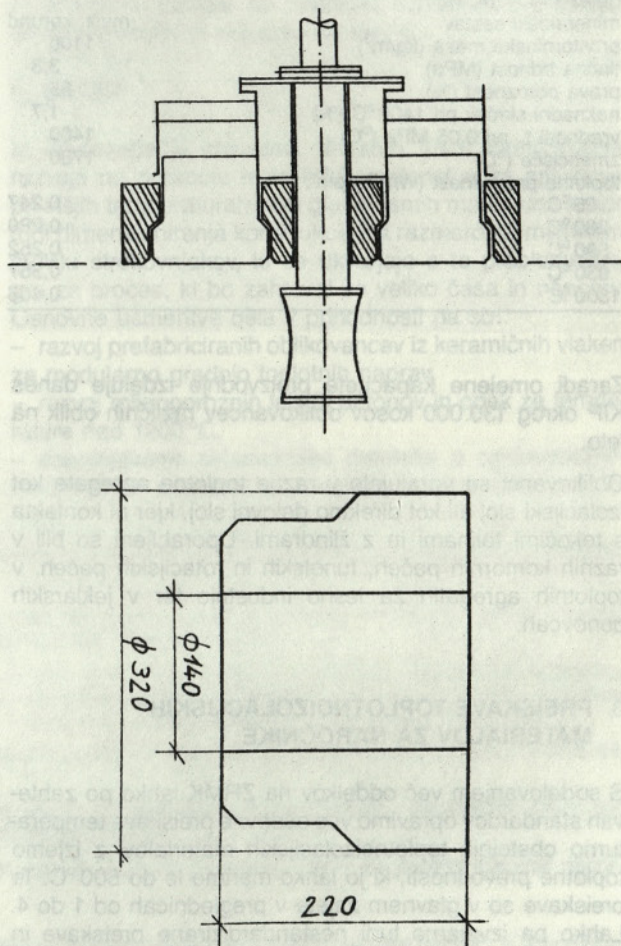
– Obroči za tesnjenje ležajev potisne ogrevne peči Allino v Železarni Ravne.

Najvišja temperatura v peči je 1250°C . Za te oblikovance je bilo treba izdelati specialne kalupe za vakuumsko oblikovanje. Izdelek je nadomestilo za uvožene oblikovance Plibrico. Prerez valjastega oblikovanca in detajl vgraditve v steni peči sta prikazana na sliki 5.

– Obloga tunnelske pečice za predgrevanje izkovka, sestavljena iz natančno nalegajočih segmentov, ki tvorijo zahtevani profil tunela.

Zaradi velike hitrosti ogrevnih plinov pri temperaturah do največ 1200°C je notranjost izpostavljena močni eroziji pa tudi hitremu porastu temperature ob zagonu peči. Do sedaj smo izdelali tri nize segmentov za tri peči, od katerih so zadnji prevlečeni z dobro oprijemajočim se zaščitnim premazom. Dve peči obratujeta pri naročniku več kot eno

leto. Na sliki 2 je v desnem zgornjem kotu prikazan segment tunnelske obloge.



Slika 5. Prerez oblikovanca za zaščito ležajev valjev potisne peči in detajl vgradnje teh oblikovancev

2.3. OGNJEVZDRŽNI IZOLACIJSKI MULTNI OBLIKOVANCI

Tehnološki postopek za izdelavo surove mase in za izdelavo ognjevzdržnih izolacijskih multnih oblikovancev smo razvili v letih 1976 in 1977. Po zahtevah standarda JUS B.D6.210 spadajo med izdelke z visoko vsebnostjo Al_2O_3 . Danes jih po našem postopku izdeluje KIP Ljubljana.

Oblikovance različnih oblik in dimenzij oblikujejo po polsuhem postopku na hidravličnih stiskalnicah, nato pa jih sušijo in žgejo pri določeni temperaturi. Kakovost oblikovancev in njihova temperatura uporabe sta odvisni od temperature prvega žganja.

Lastnosti oblikovancev, ki jih izdeluje KIP, so podane v preglednici 3.

Preglednica 3. Lastnosti lahkih ognjevdzdržnih oblikovancev »LMO«

delež Al_2O_3 (m. %)	73
mineraloški sestav	mulit, korund
prostorninska masa (kg/m^3)	1100
tlačna trdnost (MPa)	3,8
prava poroznost (%)	65
naknadni skrčec pri 1400 °C (%)	1,7
vrednost t_a pri 0,05 MPa (°C)	1400
zmehčišče (°C)	1780
toplotna prevodnost (W/mK) pri:	
25 °C	0,247
260 °C	0,280
590 °C	0,252
930 °C	0,357
1300 °C	0,406

Zaradi omejene kapacitete proizvodnje izdeluje danes KIP okrog 130.000 kosov oblikovancev različnih oblik na leto.

Oblikovanci se vgrajujejo v razne toplotne agregate kot izolacijski sloj ali kot direktno delovni sloj, kjer ni kontakta s tekočimi talinami in z žilindrami. Uporabljeni so bili v raznih komornih pečeh, tunelskih in rotacijskih pečeh, v toplotnih agregatih za lesno industrijo ter v jeklarskih ponovcah.

3. PREISKAVE TOPLOTNOIZOLACIJSKIH MATERIALOV ZA NAROČNIKE

S sodelovanjem več oddelkov na ZRMK lahko po zahtevah standardov opravimo vse osnovne preiskave temperaturno obstojnih toplotnoizolacijskih materialov, z izjemo toplotne prevodnosti, ki jo lahko merimo le do 600 °C. Te preiskave so v glavnem zajete v preglednicah od 1 do 4. Lahko pa izvajamo tudi nestandardizirane preiskave in raziskave, ki jih razvijamo s sodelovanjem naročnikov bodisi ob uvajanju novih proizvodov bodisi ob težavah pri aplikacijah.

Tako, na primer, pri lahki izolacijski opeki namesto določanja vrednosti t_a , ki so bile izmerjene v Železarni Jesenice, danes uporabljamo metodo določanja ognjevdzdržnosti pod tlakom 0,05 MPa na aparaturi NETZSCH. Določamo temperature, pri katerih se vzorec skrči za 0,5, 1,0, 2,0 in 5,0 %. Na isti aparaturi merimo tudi deformacije lezenja vzorcev pri konstantni temperaturi in tlaku. Pogoste so tudi dilatometrične preiskave v območju 20 do 1000 °C. Poleg tega opravljamo še nekatere specialne preiskave, npr. obnašanje ognjevdzdržnih materialov v stiku z žilindrami itd.

Drugi primer razširjenih preiskav so bila preizkušanja materiala APLAM za naročnika SALONIT Anhovo v letu 1988 v okviru raziskav pri PORS 06 – Graditeljstvo. APLAM je mikroporozni in brezazbestno mikroarmirani kalcijev silikat z velikim deležem ksonotilita. S predhodnimi preiskavami smo določili njegove lastnosti za tržno deklariranje, ki jih navajamo v preglednici 4.

Preglednica 4. Lastnosti toplotnoizolacijskega materiala APLAM

prostorninska masa (kg/m^3)	240
upogibna trdnost (MPa)	0,8
klasifikacijska temperatura (to je temperatura, pri kateri je skrčec v 24 urah manjši ali enak 2 %) (°C)	930
toplotna prevodnost (W/mK) pri:	
20 °C	0,052
100 °C	0,062
300 °C	0,088
600 °C	0,151

S posebnimi preiskavami smo dodatno pojasnili obnašanje tega materiala pri povišanih temperaturah. Tako so dilatometrične preiskave pokazale, da je pri temperaturi 720 do 780 °C skrčenje od 0,5 do 0,7 % in je povezano z oddajanjem kristalno vezane vode. S preiskavo ognjevdzdržnosti pod tlakom 0,05 MPa smo potrdili pojav skrčenja, opazili pa smo tudi, da se med 800 in 900 °C krčenje ustavi, od 950 °C dalje pa material začne naglo popuščati zaradi mehčanja. Določali smo tudi upogibno deformacijo v vročem pri blagi dodatni obremenitvi k lastni teži. Ugotovili smo, da se kritični povese pojavi šele pri 950 °C.

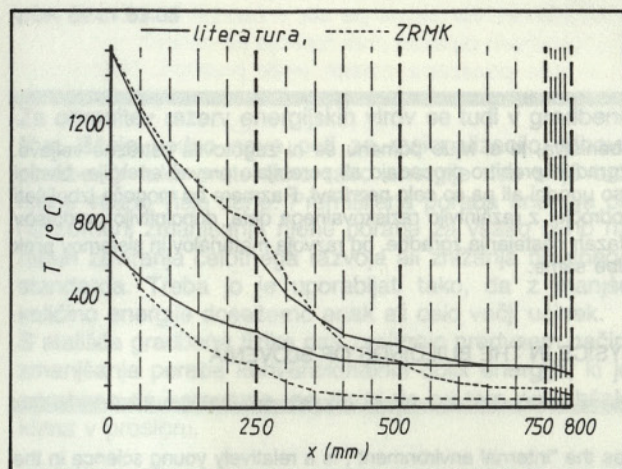
4. RAZVOJ PROGRAMSKE OPREME ZA NAČRTOVANJE KONSTRUKCIJ STEN TOPLOTNIH NAPRAV

S pohodom računalništva je postalo načrtovanje konstrukcij sten toplotnih naprav nepogrešljivo za vsakogar, ki se ukvarja z aplikacijami toplotnoizolacijskih materialov. Strokovna literatura navaja, da bi sodobni konstrukterji toplotnih naprav potrebovali naslednje vrste programske opreme: datoteko ognjevdzdržnih materialov po vrstah in lastnostih (predvsem prostorninska masa, specifična teža, toplotna prevodnost v odvisnosti od temperature, specifična toplota, klasifikacijska in uporabna temperatura), podprograme z obratovalnimi pogoji toplotnih naprav (npr. poteki temperature pri obratovanju) ter programe za toplotne izračune konstrukcij, npr. za prehod toplote pri stacionarnem stanju v zraku in v plinih za ravne in krožne sestavljene stene, za prehod toplote pri nestacionarnem stanju v zraku, za računanje napetosti in deformacij materialov zaradi segrevanja itd.

Na Oddelku za keramiko smo do sedaj razvili naslednje programe:

- program za izračunavanje poteka temperature in toplotnega toka v večslojni ravni steni pri stacionarnem stanju v zraku. Program vsebuje datoteko s funkcijami odvisnosti toplotne prevodnosti od temperature za razne materiale;
- program za izračunavanje poteka temperature in toplotnega toka v sestavljeni ravni ali krožni steni za največ pet slojev pri stacionarnem stanju v zraku. Odvisnost toplotne prevodnosti od temperature je linearna in se vzpostavi z vnosom dveh parov vrednosti – toplotna prevodnost, temperatura – za dani material;
- program za izračunavanje poteka temperature v odvisnosti od časa in debeline stene iz enega samega materiala

ter akumulacije toplote v njej v odvisnosti od časa. Toplotna prevodnost je neodvisna od temperature;



Slika 6. Primerjava potokev temperature v 4-slojni steni, izračunanih s programom »nptsss«, s poteki iz literature. Na vroči strani temperatura narašča za 1500 °C v 24 urah

– program za izračunavanje nestacionarnega prehoda toplote skozi sestavljeno steno (nptsss), ki je enak prejšnjemu, le za 5-slojno steno. Temperatura na vroči strani poteka po obratovni krivulji peči. Toplotne prevodnosti in specifične toplote so zaenkrat konstantne. Rezultat takega izračuna je prikazan na sliki 6.

5. SKLEP

Iz opisanega je razvidno, da smo sredi intenzivnega razvoja na področju izolacijskih materialov za aplikacije pri višjih temperaturah tako glede samih materialov kakor tudi dimenzioniranja konstrukcij. Pri razmeroma majhnem številu strokovnjakov, ki se ukvarjajo s to problematiko, gre za proces, ki bo zahteval še veliko časa in naporov. Osnovne usmeritve dela v prihodnosti pa so:

- razvoj prefabriciranih oblikovancev iz keramičnih vlaken za modularno gradnjo toplotnih naprav,
- razvoj mikroporoznih lahkih betonov in opek za temperature nad 1200 °C,
- dopolnjevanje računalniške datoteke o ognjevarnih materialih in priprava zahtevnejših računalniških programov.

LITERATURA

Elaborati pri RSS in PORS:

J. Šoba, S. Droljc, A. Eleršek, E. Mali: Tehnološki proces proizvodnje izolacijskih plošč na osnovi mineralne volne. Po pogodbi PORS-03/2586 z dne 18. 7. 1985.

A. Eleršek, J. Šoba, J. Požun, M. Žaucer, E. Kladnik, Z. Stadler: Določanje tehnoloških parametrov, osnove za projektiranje proizvodnje toplotnoizolacijskih izdelkov. Program za pospeševanje priprave in prenosa raziskovalnih dosežkov v družbeno prakso, pogodba A1-0201 z dne 28. 5. 1985.

J. Šoba, A. Eleršek, H. Mikuž: Izolacijski izdelki na osnovi temperaturno obstojnih vlaken. PORS-06, DN 258/86 (1986).

J. Šoba, A. Eleršek, M. Golobič, H. Mikuž: Problematika krčenja izdelkov iz keramičnih vlaken pod vplivom temperature. PORS-06, DN 309/87 (1987).

J. Šoba, A. Eleršek, M. Golobič, H. Mikuž: Večslojni izolacijski sistemi za gradnjo toplotnih naprav. PORS-06, DN 563/88 (1988).

Referati:

Z. Stadler, A. Eleršek, J. Šoba, M. Žaucer: Toplotno izolacioni keramični material (poster). V. simpozijum keramičara Jugoslavije, Kupari, april 1986.

J. Šoba, Z. Stadler, A. Eleršek, M. Žaucer: Neues Material auf der Basis von Steinwollefasern. 6. Internationale Mineralwolltagung Magdeburg, DDR, januar 1987.

J. Šoba: Linear Shrinkage of Thermal Insulating Composites Ceramic Fibres – Refractory Fillers after Heating. III. konferenca o toplotnoizolacijskih ognjevarnih materialih, Usti nad Labem, ČSSR, september 1988.

Članki:

J. Šoba, A. Eleršek, M. Žaucer, Z. Stadler: Neues Material auf der Basis von Steinwollefasern: Baustoffindustrie, 1987, Nr. 1, str. 27–28.

J. Šoba, A. Eleršek, H. Mikuž: Toplotnoizolacijski materiali na osnovi mineralnih vlaken za uporabo pri višjih temperaturah. Informacije ZRMK št. 277, maj–junij 1987.

Strokovni elaborati:

J. Šoba, J. Urbas, A. Eleršek, M. Kavčič, H. Mikuž: Ognjestalna obloga horizontalne peči za preiskave ognjeodpornosti gradbenih elementov na ZRMK. DN 1143/84.

Patenti:

Št. 524/84, M. Ferjan, D. Makarovič, E. Mali, S. Droljc, A. Eleršek, J. Šoba, E. Kladnik, Z. Stadler, M. Žaucer: Porozen keramičen material (26. 3. 1984).

Nagrade:

Zlata plaketa kakovosti za izolacijske plošče iz mineralnih vlaken, Jugoslovanski sejem gradbeništva in gradbenih materialov z mednarodno udeležbo Gornja Radgona 1985.

Nagrada Sklada Borisa Kidriča za vrhunski dosežek na področju izumov in tehničnih izboljšav v letu 1988 z naslovom Toplotnoizolacijski keramični material.

GRADBENOFIZIKALNA PROBLEMATIKA ZGRADB PRI NAS

POVZETEK

Gradbena fizika je mlada veja gradbeništva, ki si kljub pomenu še ni zagotovila ustrezne veljave. Posledica tega je, da mnoge naše zgradbe prehitro propadajo ali porabljajo preveč energije, bivalni in delovni pogoji v njih pa pogosto niso ugodni ali pa so celo nezdravi. Razmere bo mogoče izboljšati z izpopolnjevanjem znanja na tem področju, z razširitvijo raziskovalnega dela, dopolnitvijo predpisov in s sodobnejšimi načini dela v vseh fazah nastajanja zgradbe, od razvoja materialov in sistemov prek projektiranja ter nadzora pa do izvedbe same.

THE PROBLEMS OF BUILDING PHYSICS IN THE BUILDINGS OF SLOVENIA

SUMMARY

Building physics, sometimes known as the "internal environment", is a relatively young science in the building industry, upon which sufficient emphasis has not yet placed. As a result, many of our buildings deteriorate at an unexpectedly rapid rate, or else they use up too much energy. The living and working conditions inside this buildings are frequently unsatisfactory, and sometimes bad for their occupants' health. Conditions will be improved by the increase of knowledge in this field, the broadening of research work, and the improvement of existing technical regulations, as well as through better methods of work at all stages of the erection of a building, from the development of materials and systems through to design, inspection control and actual construction.

UVOD

Delavci Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij s področja gradbene fizike se vsak dan ukvarjamo z gradbenofizikalnimi problemi naših zgradb. Ljudje, ki v teh zgradbah prebivajo ali delajo, se v njih pogosto ne počutijo dobro ali pa so celo zdravstveno ogroženi. Motijo jih previsoke ali prenizke temperature zraka, nizke temperature obodnih površin, preprih, vlaga, plesen, hrup iz okolice ali hrup, ki nastaja v zgradbi, itd. Poraba energije za ogrevanje je pogosto kljub nizkim temperaturam v zgradbi prevelika. Nepravilno zasnovane ali izvedene zgradbe hitro propadajo. Vzroki za to so različni: zamakanje skozi strehe, fasade, stavbno pohištvo ter talne hidroizolacije, kondenzacija vode na mestih, kjer le-ta ni zaželen, pretirano temperaturno delovanje posameznih konstrukcijskih elementov. Vprašljiva je tudi požarna zaščita naših zgradb, saj nam je znano, da pogosto niso zgrajene po veljavnih predpisih oz. doseženem nivoju znanja na tem področju.

Gradbenofizikalni problemi naših zgradb so pogosto tako zapleteni, da se je treba lotiti sanacij, ki so praviloma tehnično zelo zahtevne in zato tudi drage. Vsako leto porabimo za tovrstne sanacije ogromna sredstva, večja kot na katerem koli drugem področju gradbeništva. Večja od teh pa je prav gotovo posredna škoda, ki se kaže v slabšem počutju, zdravstvenem stanju in delovni sposobnosti ljudi, preveliki porabi energije, hitrem propadanju zgradb, težjih poškodbah zaradi požarov, povečani ekološki onesnaženosti.

V nadaljevanju članka želimo opisati stanje, kakršno je pri nas na posameznih področjih gradbene fizike, in navesti vzroke za navedene težave. Poleg tega želimo nakazati tudi rešitve iz tega stanja.

ZAM

40
LET

TOPLITNA ZAŠČITA ZGRADB

UDK 69.01:53.05

JELKA LEBAR

Za ohranitev rezerv energijskih virov se tudi v gradbeništvu iščejo vedno nove poti za racionalizacijo njihove porabe. V tako pretehtano rabo energije nas silijo tudi njene vedno višje cene. Premišljena poraba energije pa ne pomeni zmanjšanja njene porabe za vsako ceno na račun zaviranja celotnega razvoja ali znižanja bivalnega standarda. Treba jo je uporabljati tako, da z manjšo količino energije dosežemo enak ali celo večji učinek. S stališča gradbene fizike nas zanimajo predvsem načini zmanjšanja porabe konvencionalnih oblik energije, ki jo porabimo za ogrevanje, ne da bi se pri tem poslabšala klima v prostoru.

Nekateri načini za doseganje tega cilja so:

- pridobivanje toplote hkrati z električno energijo (toplarne),
- izkoriščanje obnovljivih virov energije (energija sončnega sevanja, bioenergija, toplotne črpalke),
- uporaba čim bolj ekonomičnih sistemov ogrevanja,
- zmanjšanje porabe toplotne energije v objektih.

Dejavniki, ki vplivajo na skupno porabo energije za ogrevanje (hlajenje – klimatizacijo) nekega objekta, so:

- okolje (sončno sevanje, zunanje temperature, veter),
- konstrukcijska zasnova objekta in njegova orientacija (arhitektonska zasnova, toplotna prehodnost in akumulativnost obodnih konstrukcij, delež prosojnih elementov in njihova energijska prepustnost, izmenjava zraka),
- uporaba objekta (želena klima v objektu, način ogrevanja, vrsta ogrevanja, regulacija).

Vsi dejavniki konstrukcijske zasnove objekta so obravnavani v standardu JUS U.J5.600 – Tehnične zahteve za projektiranje in gradnjo stavb (1987). To je razširjena in dopolnjena verzija standarda iz leta 1980. Standard je bistveno izpopolnjen v poglavjih o toplotni zaščiti objektov. Zahteve po toplotni izolativnosti posameznih obodnih konstrukcij v glavnem niso bistveno drugačne. Nova pa je za širši jugoslovanski prostor omejitev specifičnih toplotnih izgub objekta (toplotne izgube, preračunane na prostornino objekta).

Predpisana sta dva kriterija:

- kriterij največjih dovoljenih toplotnih izgub zaradi prehoda toplote skozi obodne konstrukcije,
- kriterij največjih dovoljenih toplotnih izgub zaradi izmenjave zraka v objektu.

Prvi kriterij je odvisen samo od faktorja oblike, tj. razmerja med obodnimi površinami in prostornino objekta. S tem je projektantom dana večja svoboda pri oblikovanju in

izbiri konstrukcij. Glede na vizualno zasnovo objekta je mogoče določiti največje dopustne toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi obodne površine zgradbe in s tem srednjo toplotno prehodnost zgradbe. Z variiranjem toplotne prehodnosti posameznih konstrukcij v mejah, ki jih dopuščajo predpisane vrednosti k , lahko projektant poišče optimalno energetska in ekonomska rešitev.

Zavedati pa se moramo, da je kriterij specifičnih toplotnih izgub zaradi prehoda toplote veliko ostrejši od doslej veljavnega kriterija maksimalnih vrednosti k . Tega kriterija ne moremo izpolniti niti pri geometrijsko enostavno oblikovanem objektu s konstrukcijami, katerih toplotna prehodnost je le na dovoljeni meji.

Hkrati s standardom JUS U.J5.600 je izšel tudi standard JUS U.J5.510 – Metode izračuna toplotne prehodnosti v zgradbah; ta uvaja novo metodologijo izračuna toplotne prehodnosti konstrukcij. Z vpeljavo linijskih toplotnih prehodnosti so pri izračunu toplotne prehodnosti posamezne gradbene konstrukcije že upoštevani vplivi geometrijskih in materialnih toplotnih mostov.

Menimo, da je prav v tem poglavju standard nedorečen. Dopustiti toplotne mostove (predvsem materialne toplotne mostove) in jih upoštevati samo pri izračunu toplotne prehodnosti konstrukcije in izračunu toplotnih izgub objekta pomeni, dopustiti na določenih mestih konstrukcije izrazito nižje površinske temperature. To so potencialna mesta za pojav rosenja, zaradi katerega pa nastaja plesen. V dolgotrajnejših hladnih obdobjih se zato na notranjih površinah pojavljajo poškodbe in slabšajo bivalne razmere.

Izračun toplotne prehodnosti konstrukcij po novi metodologiji je zelo dolgotrajen. Zamudnemu računanju se je mogoče izogniti, če bi namesto zahtev po minimalni toplotni izolaciji in preračunavanju vpliva linijskih toplotnih prehodnosti v standardu postavili nove strožje zahteve za vrednosti k posameznih konstrukcij v njihovih tipičnih presekih. Hkrati je mogoče omejiti vrednosti k za materialne toplotne mostove ter njihovo površino glede na celotno konstrukcijo. S poenostavljenim izračunom bi skrajšali računsko obdelavo in s tem zagotovili zahtevano toplotno izolativnost objekta. Na osnovi naših večletnih študij menimo, da bi bilo treba zmanjšati dovoljene vrednosti k za 40%–50%, če hočemo zadovoljiti kriterij specifičnih toplotnih izgub. Priporočilo standarda, naj se toplotne izgube zmanjšajo še za nadaljnjih 30%, pa je možno izpolniti le s konstrukcijami, katerih toplotna prehodnost je okrog 60% manjša od sedaj dovoljenih vrednosti.

Standard omejuje tudi toplotne izgube zaradi izmenjave zraka v objektu. Pri danih temperaturnih razmerah dopušča 0,7-kratno izmenjavo zraka na uro, preračunano na bruto prostornino objekta. Dovoljena intenziteta izmenjave zraka ravno še zagotavlja zadovoljive higienske

Avtor:

Jelka Lebar, dipl. inž. fiz., višji razisk. sodel.

razmere pri normalni uporabi objekta brez večjih virov onesnaževanja in vodnih par. Iz higienskih in tudi gradbenih razlogov (poškodbe konstrukcij zaradi navlaževanja) izmenjave zraka ne moremo poljubno zmanjšati. Lahko pa poskrbimo, da ne bo infiltracije hladnega zraka skozi netesne dele obodnih konstrukcij, potrebno izmenjavo zraka pa pri tem zagotovimo s kontroliranim prezračevanjem.

Pri izboljšanju toplotne izoliranosti objektov ostajajo najšibkejša mesta prosojni elementi (okna, balkonska vrata, kupole), saj se toplotna zaščita najboljših in najdražjih izvedb komaj približa minimalni toplotni zaščiti zunanjih sten. Za širšo uporabo so take rešitve ekonomsko vprašljive. Da bi zmanjšali toplotne izgube skozi okna, je njihova velikost zato omejena. Pri tem pa je zanemarljivo dejstvo, da so okna element zgradbe, ki največ prispeva k pasivnemu izkoriščanju sončne energije. Glede na ekonomiko ogrevanja pozimi in preprečevanje pregrevanja poleti je treba posvetiti posebno pozornost tako razporeditvi in orientaciji oken kakor tudi vrsti zasteklitve in tipu senčil. Toplotna zaščita objekta ni pomembna samo s stališča zmanjšanja porabe energije za ogrevanje. S pravilno dimenzionirano toplotno zaščito objektov dosežemo še:

- zagotovimo primerno bivalno ugodje. Za človekovo počutje v prostoru so v zimskem obdobju pomembne zlasti površinske temperature obodnih površin. Slabo počutje zaradi prenizkih površinskih temperatur lahko delno izravnamo z višjo temperaturo zraka. Vedeti pa moramo, da pomeni zvišanje temperature zraka za 1 K povečanje ogrevalnih stroškov za okrog 6 %;
- povečamo trajnost konstrukcij, in sicer tako, da jih ščitimo pred prevelikimi temperaturnimi vplivi in tudi vlivi vlage.

Posebno pozornost pa je treba pri projektiranju posvetiti zaščiti pred čezmernim navlaževanjem konstrukcij in materialov v njih. Toplotna izolativnost materialov je močno odvisna od stopnje navlaženosti. Povečanje vlage v konstrukcijah se lahko pojavi:

- zaradi navlaževanja skozi zunanje površine (atmosfera in talna voda),
- zaradi rosenja na notranjih površinah,
- zaradi kondenzacije vodne pare v konstrukcijah (difuzijski prehod vodne pare).

Navlaževanje skozi zunanje površine preprečimo s pravilno izbiro zaključnih ometov. Kriteriji, ki jih postavlja standard, so pomanjkljivi, saj ne upoštevajo večje ali manjše izpostavljenosti zunanjih površin objekta vetru in padavinam. Rosenje na notranjih površinah je odvisno od toplotne izolacije obodne konstrukcije in od relativne

vlažnosti v zraku. V bivalnih prostorih, kjer se vlažnost zraka giblje običajno med 50 % in 80 % in je toplotna izolacija v mejah, ki jih predpisuje standard, rosenja ne bi smelo biti. Na žalost pa sta v zadnjih letih v številnih stanovanjskih objektih prav rosenje na obodnih površinah in z njim povezana plesen velik problem. Načrtovalci pogosto pozabijo, da je v področjih, kjer je gibanje zraka oteženo (v vogalih, za pohištenimi elementi), treba izboljšati prav toplotno izolacijo.

Kondenzacijo v večslojnih konstrukcijah preprečimo s pravilno sestavo teh konstrukcij. V določenih primerih, ko se kondenzaciji v konstrukciji ne moremo izogniti, pa je treba z namestitvijo primernih parnih ovir preprečiti čezmerno navlaževanje toplotnoizolacijskih materialov (meja je določena s standardom).

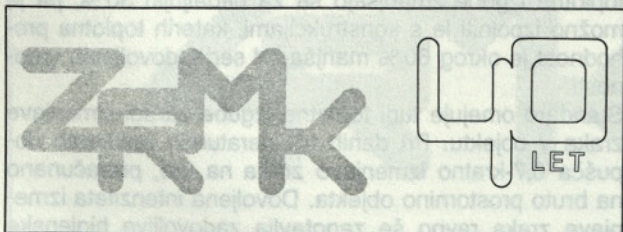
Medtem ko poudarjamo predvsem zadostno toplotno zaščito s stališča energijskega varčevanja v zimskem času, pa ostaja nekako ob strani problem primerne toplotne zaščite v poletnem obdobju. Za novejša objekta, predvsem poslovne, so značilne velike steklene površine. Te in pa poleg tega še pogosta izvedba lahkih pregradnih sten ne zagotavljajo dobre toplotne stabilnosti objekta. V vročih poletnih dneh je klima v takih prostorih podobna klimi v rastlinjakih. Za vse prizadete so take bivalne in delovne razmere neprijetne. Primerno klimo v takih objektih dosežemo le z uporabo dragih naprav oz. drage energije.

S pravilno konstrukcijsko zasnovo objektov in s primernimi tehničnimi ukrepi je mogoče zagotoviti ugodne temperaturne razmere tudi v poletnem obdobju.

Problemi toplotne zaščite poleti in pozimi, energijsko varčnega ogrevanja, zaščite objektov pred navlaževanjem so tesno povezani in jih nikakor ne smemo reševati ločeno. Stične točke pa ima toplotna zaščita objektov tudi z drugimi vejami gradbene fizike, npr. z zvočno zaščito in s požarno zaščito objektov, zato je zelo pomembno, da so ta področja medsebojno pravilno usklajena.

Novi standard o tehničnih zahtevah za projektiranje in gradnjo stavb je v primerjavi s prvo izdajo velik napredek. Zagotavlja boljše toplotno zaščito objekta in precej manjše toplotne izgube. Povzročil pa je tudi določene težave, predvsem projektantom, saj terja že v fazi izdelave projektov za pridobitev gradbenega dovoljenja izračune, ki so vezani na zelo podrobne načrte.

Čeprav je primerna toplotna zaščita novozgrajenih objektov zagotovljena s predpisi, pa ostaja toplotna izolacija pretežnega dela obstoječih objektov daleč pod nivojem današnjih zahtev. Smiselno bi bilo namreč stimulirati sanacijo toplotne zaščite obstoječih stavb. Pri tem ne smemo pozabiti, da imata manjša poraba energije za ogrevanje in vrsta uporabljene energije velik vpliv tudi na onesnaževanje okolja. Prizadevati si je treba za uporabo nekonvencionalnih virov energije in za pocenitev vseh ustreznih naprav.



PREVENTIVNA GRADBENA POŽARNA ZAŠČITA ZGRADB

PETER ŠIMENKO

Požari, ki nastajajo v gradbenih objektih, ogrožajo ljudi in inventar pa tudi zgradbe same ter njihovo okolico. Mehanični ogrožanja so večinoma znani. Če ne upoštevamo vzrokov za nastanek požarov, na katere gradbeni elementi nimajo večjega vpliva, in se posvetimo izključno nevarnostim zaradi medsebojnega delovanja požarov ter zgradb oz. njihovih sestavnih delov, lahko povzamemo:

a)
Tako po nastanku požara se pojavi (bolj ali manj močno izražena) tendenca njegovega širjenja z mesta nastanka na okolico. Požar se običajno najprej razširi po samem prostoru, kjer je nastal, in šele nato, ko dobi zadostno moč, preskoči še na druge prostore v zgradbi ali njeni okolici. Tendence širjenja požara je posledica sproščene požarne energije – toplote, ki se po znanih fizikalnih zakonih prenaša na okolico s konvekcijo, sevanjem in prevajanjem. Ta okolica je lahko pri tem aktivna ali pasivna; aktivna je tedaj, če sama neposredno dodaja svoj kalorični potencial in s tem povečuje požarno moč, pasivna pa, če s svojo lego, z dimenzijami in z drugimi geometrijsko snovnimi lastnostmi vpliva na razvoj in širjenje požara.

b)
Nastali požar spremljajo t. i. požarne veličine, kot so dim, toksični in korozivni plini ter visoke temperature. To so pravzaprav osnovni aktivni nosilci požarnih nevarnosti, ki vplivajo na okolico požara. Požarne veličine so tako po intenziteti kakor po sestavi odvisne od kemične sestave gorečih snovi in od fizikalnih pogojev gorenja.

c)
Da lahko govorimo o ogroženosti, morajo biti v okolici požara predmeti, občutljivi za požarne veličine. V zgradbah so to predvsem ljudje, živali, inventar ter zgradbe same; vsi navedeni predstavniki požarnega okolja so brez izjeme v določeni meri občutljivi za požarne veličine. Dejanska ogroženost požarnega okolja je določena s pragom požarne občutljivosti posameznih predmetov za konkretne požarne veličine. Ta prag imenujemo »požarna odpornost«.

Cilji požarne zaščite v zgradbah, ki jih določajo zakoni ali jih izberejo sami lastniki zgradb – zaradi svojih varnostnih interesov – so navadno kompromis med željo po idealni varnosti in med obstoječimi ekonomskimi ter tehničnimi možnostmi. V razvitem svetu so cilji gradbene požarne zaščite izraženi v več zahtevah, in sicer:

Zgradbe morajo biti izvedene tako,

- da omogočajo ljudem varen umik pred požarnimi nevarnostmi,
- da omogočajo varno intervencijo gasilcev in reševalcev,
- da ne ogrožajo okolice in tuje lastnine in
- da zagotavljajo razumno zaščito inventarja.

Za izpolnitev omenjenih zahtev imamo na voljo različne zaščitne ukrepe, in to:

1. požarne nevarnosti v osnovi omejimo ali odpravimo,
2. požarne nevarnosti izoliramo z odmiki ali s pregradami,
3. požarne nevarnosti nadzorujemo in jih pri povečanju odpravimo z intervencijo,
4. ogrožene objekte dimenzioniramo tako, da bo njihova požarna odpornost presegala prag intenzitete požarnih nevarnosti,
5. požarne nevarnosti zaznamo in jih s stalnim nadzorom zadržujemo v dopustnih mejah.

Predvsem pri zaščitnih ukrepih v točkah 1, 2 in 4 so pomembni zlasti gradbeni požarnozaščitni ukrepi, ki jih v glavnem predstavljata izbira ustreznih gradbenih materialov ter ustrezno dimenzioniranje gradbenih delov.

Iz danega pregleda razpoložljivih požarnozaščitnih ukrepov lahko ugotovimo, da imajo lahko gradbeni požarnopreventivni ukrepi različne namene, vendar pa sta njihovi najpomembnejši vlogi preprečevanje širjenja požara ter zagotavljanje potrebne stabilnosti zgradb oz. njihovih konstrukcij v požaru.

Ker se gradbeni požarnozaščitni ukrepi izvajajo izključno z izborom gradbenih materialov in z dimenzioniranjem oz. razporejanjem gradbenih delov, ostajajo vsi ti ukrepi integralni del gradbene celote za celotno življenjsko dobo objekta. Zaradi te lastnosti je objekt zaščiten v vsakem trenutku z veliko zanesljivostjo. V strokovni terminologiji jim zato pravimo »pasivni požarnozaščitni ukrepi«, medtem ko aktivni požarnozaščitni ukrepi sprožijo svoje zaščitno delovanje šele po odkritju požara, npr. vključitev požarnega alarma, avtomatsko gašenje, vklop ventilacije dimnih plinov itd.

S primerno uporabo gradbenih požarnopreventivnih ukrepov lahko dosežemo naslednje zaščitne učinke:

- a) **zadržanje požara in vseh njegovih škodljivih učinkov v požarnih odsekih,**
- b) **zgradbam zagotovimo potrebno stabilnost v požaru,**
- c) **s preprečitvijo širjenja požara izven požarnih odsekov lahko zavarujemo evakuacijske poti pred vdorom požarnih vplivov (dima, vročine itd.),**
- č) **z zagotovitvijo ustrezne stabilnosti konstrukcije v**

Avtor:
spec. Peter Šimenko, dipl. inž. el, višji razisk. sodel.

požaru omogočimo gasilcem in reševalcem intervencijo brez nevarnosti predčasne zrušitve,

d) s postavitvijo ustreznih požarno dimenzioniranih gradbenih delov na mejah med lastniki omogočimo zaščito sosedov lastnine in

e) z omejevanjem širjenja požara in s preprečitvijo prenapetosti zgradb dosežemo tudi primerno stopnjo zaščite inventarja.

Spekter zaščitnih delovanj, ki jih lahko dosežemo s primerno uporabo gradbenih požarnopreventivnih ukrepov, je torej širok ter omogoča izpolnitev večine postavljenih požarnovarnostnih ciljev. Iz povsem ekonomskih razlogov je te gradbene ukrepe smiselno kombinirati z aktivnimi ukrepi, vendar tako, da so temeljna zaščitna funkcija še vedno pasivni ukrepi, predvsem zaradi njihove velike zanesljivosti delovanja.

Kljub širokemu spektru požarnozaščitnih možnosti, ki jih ponujata pravilna izbira in uporaba gradbenih delov, pa sta za požarnotehnično uporabnost gradbenih delov v bistvu pomembni le dve njihovi požarni lastnosti: požarna odpornost in sposobnost površinskega širjenja požara. To je razumljivo, če vemo, da kriterij požarne odpornosti opredeljuje sposobnost širjenja požara »skozi« gradbene dele (zaradi pregretja, porušitve in pregoretega), kriterij površinskega širjenja požara pa – kakor to pove že samo ime – sposobnost širjenja požara po gradbenih površinah. Obe lastnosti označujeta potencialno požarnozaščitno moč gradbenih delov za preprečevanje širjenja požara: ena v globino, druga pa po površini. Lahko rečemo, da so gradbeni elementi glede požarne zaščite toliko močnejši, kolikor večja je njihova požarna odpornost in kolikor manjša je njihova sposobnost širjenja požara po površini.

Na prvi pogled se morda zdi izpustitev kriterija gorljivosti za opredelitev požarnotehnične uporabnosti gradbenih delov nedopustna. Vendar pa je vzrok za tako opredelitev dejstvo, da želimo s primerno izbiro in z uporabo gradbenih delov bolj vplivati na omejevanje širjenja požara kakor na zmanjšanje njegove kalorične moči. Kalorična moč površinsko dobro zaščitnih gradbenih elementov se pokaže šele v kasnejših fazah požara, ko je njen prispevek, v primerjavi s kalorično močjo primarnega požara, običajno zanemarljiv. Tako navaja B. W. Rogowska (iz britanske raziskovalne ustanove Fire Research Station v Borehamwoodu) v svojem članku o raziskavah prispevka

gorljivih kompozitnih materialov k širjenju požara v zgradbah naslednje ugotovitve:

1.

Varnost ljudi v zgradbah se lahko bistveno poslabša zaradi sicer lokalnega, a intenzivnega požara, nastalega s hitrim vžigom in z razširitvijo požara prek elementov gradbenih konstrukcij, v katerih so gorljivi materiali.

2.

Lahkota vžiga in hitrost sproščanja toplote na površinah lahko povzročita konice v intenzivnosti gorenja, katere lahko – čeprav kratkotrajne – povzročijo progresivno vključevanje drugih površinskih oblog.

3.

Hitrost sproščanja dima in dekompozicijskih produktov, še posebej CO, lahko med začetno fazo širjenja plamena ogrozi varnost ljudi v zgradbah.

4.

Stopnjo prispevka polimernih in drugih gorljivih snovi k požaru lahko omejimo ali zadržimo s skrbno izbiro pokrivnih površin.

5.

S skrbnim oblikovanjem gorljivih gradbenih delov lahko dosežemo, da je njihov prispevek k požarni ogroženosti zanemarljiv v primerjavi s prispevkom primarnega vira in verjetnega prispevka inventarja.

Postopek dimenzioniranja gradbenih požarnopreventivnih ukrepov mora zagotavljati, da bo skupni požarni riziko, ki rezultira iz požarne ogroženosti zgradbe in inventarja, čim enakomernije razporejen. Zato velja splošno pravilo:

Čim težje so možne posledice požara, toliko varnejši morajo biti gradbeni deli pred požarom.

Pri tem »varnost« oz. pravilneje »nevarnost« gradbenih delov ocenjujemo z že omenjenima kriterijema požarne odpornosti in površinskega širjenja požara.

Na koncu tega kratkega pregleda o vplivu in pomenu požarnovarnostnih lastnosti gradbenih materialov ter delov na požarno varnost zgradb lahko navedemo dve bistveni ugotovitvi:

a) gradbeni materiali in deli lahko v določenih pogojih povečujejo ali zmanjšujejo osnovno požarno ogroženost objektov in

b) gradbeni materiali in deli sami po sebi niso niti požarno slabi niti požarno dobri; njihova požarna primernost izhaja šele iz namena in načina njihove uporabe, to je od njihovega dejanskega prispevka k požarni ogroženosti v konkretnih situacijah.

GRADBENA AKUSTIKA

SAVO VOLOVŠEK

Osnovni cilj gradbene akustike je zaščita stanovanjskih in drugih zgradb, namenjenih za bivanje ljudi, pred hrupom. Raziskave, ki so jih v zadnjem času opravili v nekaterih tehnološko razvitih državah so pokazale, da je okrog 60 % prebivalcev v stanovanjskih zgradbah izpostavljenih prevelikemu hrupu. Od tega večino (70 %) moti hrup, ki prihaja v stanovanjske bivalne prostore iz okolice zgradbe, to je predvsem hrup prometa, 30 % pa moti hrup iz sosednjih stanovanj in hrup hišnih inštalacij. Čeprav takih sistematičnih raziskav pri nas še nismo opravili, pa lahko na osnovi številnih preiskav zvočne zaščite zgradb in meritev hrupa v bivalnem okolju sklepamo, da navedene ugotovitve tujih raziskav v veliki meri veljajo tudi za naše stanovanjske zgradbe. Ti podatki kažejo, da je zvočna zaščita zgradb pomanjkljiva in da se predpisi o zvočni zaščiti še premalo upoštevajo.

Gradbena akustika obravnava predvsem naslednja področja:

- zaščito zgradb pred hrupom, ki nastaja v zgradbi,
- zaščito zgradb pred hrupom okolice (pasivno protihrupno zaščito),
- prostorsko akustiko.

Poleg tega sodi v gradbeno akustiko še zaščita pred hrupom v naravnem in bivalnem okolju.

Čeprav je gradbena akustika razmeroma novo področje gradbene fizike, pa nam njen hiter razvoj v zadnjem času omogoča vse večjo zanesljivost pri načrtovanju zvočne zaščite zgradb in okolja. To pa je zaradi vedno večjega hrupa v okolju in zato tudi vse strožjih predpisov za zaščito pred njim vsekakor pomembno.

Zvočna zaščita zgradb je pri nas predpisana s standardom JUS U.J6.201 (Ur. l. SFRJ, št. 14/82) Akustika v gradbeništvu – Tehnične zahteve za projektiranje in gradnjo zgradb. Čeprav pomeni ta standard na področju predpisov o zvočni zaščiti zgradb precejšen napredek, pa je njegova uporaba v praksi pokazala več pomanjkljivosti. Zato je komisija za izdelavo standardov s področja gradbene akustike pripravila vrsto korekcij in dopolnitev tega standarda, ki bodo v kratkem začele veljati. V tem članku so navedene samo tiste, ki prinašajo bistvene novosti.

Velikost izolirnosti konstrukcij pred zvokom v zraku in pred udarnim zvokom se po novem ne bo več izražala z indeksi zvočne izolirnosti I_z in I_u , temveč z zvočno izolirnostjo R_w in nivojem udarnega zvoka L_w . Med njimi so naslednja

razmerja: $R_w = I_z + 52$ dB in $L_w = 68 - I_u$. Tako bo, npr. za ločilne konstrukcije med stanovanji, kjer je zdaj predpisana izolirnost pred zvokom v zraku z indeksom $I_z = 0$ dB, po novem predpisana zvočna izolirnost $R_w = 52$ dB.

Nov način izražanja zvočne izolirnosti konstrukcij ima v primerjavi s sedanjim več prednosti. Velikost zvočne izolirnosti bo po novem označena samo s pozitivnimi števili, kar je bolj nazorno od sedaj veljavnih indeksov, ki imajo lahko tudi negativne vrednosti. Poleg tega pa smo takega načina označevanja zvočne izolirnosti vajeni še iz preteklosti, saj so tudi stari predpisi in pravilniki opisovali velikost zvočne izolirnosti samo s pozitivnimi števili. Trdimo lahko, da je uporaba pozitivnih in negativnih indeksov zvočne izolirnosti povzročila na področju predpisov več zmede kakor pa koristi. Nov način izražanja zvočne izolirnosti je tudi usklajen z večino tujih standardov in z mednarodnim standardom ISO.

Nekatere zahteve po zvočni izolirnosti ločilnih konstrukcij zgradb, ki so v sedaj veljavnem standardu prevelike in zato tudi v praksi težko dosegljive, bodo v korigiranem standardu bolj prilagojene dejanskim potrebam. Tako bo, npr. zahteva po zvočni izolirnosti ločilnih sten med hotelskimi sobami manjša za 2 dB, enako velja tudi za stene med bolniškimi sobami v bolnišnicah. Pri ločilnih stenah med ordinacijami in ambulantami bo po novem dovoljena za 5 dB manjša zvočna izolirnost. V šolah bo za ločilne stene (z vrati) med učilnicami in hodniki dovoljena za 7 dB manjša zvočna izolirnost. Ta korekcija je bila nujna, saj sedaj predpisane zvočne izolirnosti teh sten z običajnimi konstrukcijami praktično ni mogoče doseči.

Prostori, v katerih so viri hrupa (strojnice, poslovni prostori, gostinski lokali), bodo po novem razdeljeni v dve kategoriji:

- hrupni prostori, v katerih je ekvivalentna raven hrupa od 70 dB (A) do 85 dB (A),
- zelo hrupni prostori, v katerih je ekvivalentna raven hrupa večja od 85 dB (A).

Glede na ravni hrupa v teh prostorih bo predpisana tudi stopnja njihove zvočne zaščite.

Maksimalne dovoljene ravni hrupa bodo po novem predpisane tudi v nekaterih prostorih, kjer za zdaj še niso. To so hotelske sobe hotelov kategorije A in več, ordinacije ter ambulate, operacijske sobe, študijski kabineti, knjižnice in čitalnice ter spalnice v vzgojno-varstvenih ustanovah. Poleg tega so najvišje dovoljene ravni hrupa predpisane tudi za avditorije in dvorane, kot so npr. koncertne dvorane, gledališča in kinodvorane.

Bistvena razlika med sedaj veljavnim in korigiranim standardom JUS U.J6.201 je tudi ta, da bosta po novem predvidena dva kakovostna razreda zvočne zaščite

Avtor:

Savo Volovšek, inž. fiz., razisk. svetnik

zgradb, in sicer minimalna zvočna zaščita in povečana zvočna zaščita.

Zahteve po minimalni zvočni zaščiti so enake tistim, ki so predpisane v sedaj veljavnem standardu, pri povečani zvočni zaščiti pa mora biti izolirnost pred zvokom v zraku večja najmanj za 4 dB, pred udarnim zvokom pa najmanj za 8 dB. Razred zvočne zaščite zgradbe bo treba določiti že v projektni nalogi, projektna dokumentacija pa bo morala vsebovati dokazila, da projektirana zvočna zaščita ustreza zahtevam iz projektne naloge. Poleg tega bo v korigiranem standardu tudi jasno določeno, da je treba za vsako novozgrajeno ali rekonstruirano zgradbo ustreznost zvočne zaščite dokazati z meritvami.

Pasivna zaščita zgradb pred hrupom v okolju, to je zvočna izolirnost zunanjih sten (konstrukcijskih delov, oken in balkonih vrat), v naših standardih ni eksplicitno predpisana. Predpisane so samo maksimalne dovoljene ravni hrupa v bivalnih prostorih. Zato je treba zvočno izolirnost zunanjih sten določiti za vsako zgradbo posebej in jo predpisati v projektni dokumentaciji. Pri tem je treba upoštevati raven in spekter hrupa v okolici zgradbe, velikosti zunanjih sten in oken ter prostornine in namembnosti bivalnih prostorov. Računski postopek za določitev potrebne zvočne izolirnosti posameznih elementov zunanjih sten zgradbe pa je razmeroma zapleten in ga projektanti večinoma tudi ne poznajo oziroma se ga izogibajo. Verjetno je to tudi glavni vzrok, da v projektni dokumentaciji za stanovanjske in druge zgradbe večinoma niso podani zahteve in tehnični podatki za izvedbo pasivne protihrupne zaščite. Zato bi naše predpise o zvočni zaščiti zgradb kazalo dopolniti s konkretnimi zahtevami po zvočni izolirnosti zunanjih sten in oken v odvisnosti od ravni zunanjskega hrupa in namembnosti bivalnih prostorov, kakor to imajo že nekateri tuji standardi.

Prostorska akustika je veja gradbene akustike, ki se v gradbeništvu sicer ne uporablja prav pogosto, ni pa zato nič manj pomembna. Namen ukrepov, ki sodijo v področje prostorske akustike, je, zagotoviti v prostorih, namenjenih za poslušanje govora in glasbe, čim boljše akustične pogoje. To so koncertne dvorane, veliki avditoriji in večnamenske dvorane, gledališča, kinodvorane pa tudi prostori za posebne namene, kot so radijski, televizijski in filmski studiji.

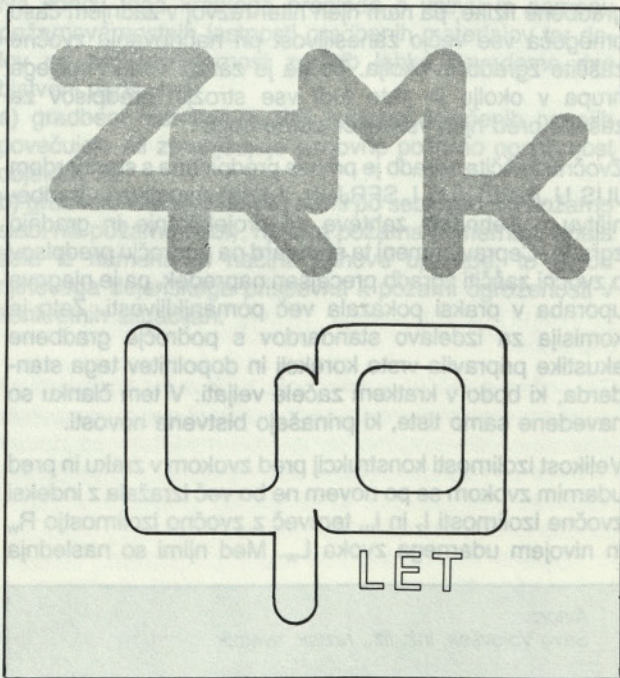
Akustični kriteriji in pogoji v prostoru so odvisni od njegove namembnosti. Eden od pomembnejših kriterijev, ki ga je treba upoštevati že pri zasnovi prostora, je dolžina odmevnega časa. Glasbene prireditve terjajo praviloma daljši odmevni čas v prostoru; za razne govorne prireditve, gledališke predstave in zborovanja pa je zaradi boljše razumljivosti govora ustrežnejši krajši odmevni čas. Kriterij odmevnosti pa je samo eden od mnogih, ki vplivajo na kakovost akustičnih pogojev v prostoru. Nanjo vplivajo še časovna in prostorska porazdelitev odbojev zvoka od mejnih površin prostora, zvočni vtis prostora in jasnost zvočne slike.

Načrtovanje prostorskoakustičnih pogojev v velikih koncertnih dvoranah, gledališčih, kinodvoranah in studijih je zelo zahtevno, zato je nujno sodelovanje projektanta oz.

arhitekta z akustikom. Samo pri manjših prostorih, kot so predavalnice, učilnice, sejne sobe, tako sodelovanje ni nujno. Smernice in pogoji za akustično ureditev takih prostorov so navedeni v standardu JUS U.J6.215 Tehnične zahteve za projektiranje in izdelavo – Akustična kvaliteta majhnih in srednje velikih prostorov. Ukrep, ki so predpisani s tem standardom, zagotavljajo zadovoljive akustične pogoje v prostoru, predvsem dobro razumljivost govora. Čeprav je uporaba tega standarda obvezna, pa ga tako projektanti kakor tudi izvajalci le redko upoštevajo. To velja predvsem pri šolskih zgradbah, kjer učilnice in predavalnice skoraj nikjer niso akustično urejene.

K problematiki, ki jo obravnava gradbena akustika, sodi tudi protihrupna zaščita naravnega in bivalnega okolja, to je predvsem zaščita pred hrupom prometa, industrijskih obratov in obrtnih delavnic. Splošne določbe, obveznosti in ukrepe za varstvo okolja pred hrupom določa Zakon o varstvu pred hrupom v naravnem bivalnem okolju, ki je bil objavljen leta 1976. Normativne vrednosti maksimalno dovoljenih ravni hrupa v okolju so predpisane z Odlokom o maksimalno dovoljenih ravneh hrupa za posamezna območja naravnega in bivalnega okolja ter za bivalne prostore (Ur. l. SRS, št. 29/80).

Meritve hrupa v bivalnem okolju, ki smo jih opravili v zadnjem času, kažejo, da hrup pogosto presega dovoljene vrednosti. Problematičen je predvsem hrup ob novih prometnih cestah in mestnih obvoznih, ki potekajo v bližini stanovanjskih zgradb in naselij. Na teh mestih hrup presega dovoljene ravni tudi do 15 dB (A). Vzrok za to je večinoma že neustrezna urbanistična zasnova ureditve okolja. Poleg tega pa je tudi projektna dokumentacija za ceste pogosto pomanjkljiva in ne upošteva vseh potrebnih ukrepov za zaščito okolja pred hrupom.



PASIVNO IZKORIŠČANJE SONČNE ENERGIJE

MATJAŽ ZUPAN

Porabo energije za ogrevanje objektov v zimskem času, ki pomeni 25 do 30 % celotne energijske porabe pri nas, je mogoče, in seveda tudi potrebno, čim bolj zmanjšati. Predvsem je treba optimalno toplotno izolirati objekte, saj s tem dosežemo največje prihranke. Pomembna pa je tudi pravilna nastavitve ogrevalnega sistema.

Naslednja možnost je uporaba alternativnih virov energije. Pri iskanju ekološko neoporečnega in ekonomsko upravičenega nadomestka za klasične vire energije se sončna energija ponuja kot zelo primerna možnost. Ne smemo pa seveda prezreti tudi njenih pomanjkljivosti, to sta majhna moč na površinsko enoto in odvisnost od letnega ter dnevnega časa in vremena. Žal je sonca najmanj ravno takrat, ko toplotno energijo najbolj potrebujemo.

Vremenske razmere v Sloveniji niso najbolj ugodne za izkoriščanje sončne energije, saj so najbolj gosto naseljena območja večinoma v kotlinah z meglo, kjer je tudi onesnaženost ozračja velika, tako da je sonca pozimi kaj malo. Sončno ogrevanje lahko prispeva del toplotne energije za ogrevanje predvsem v jesenskih in pomladanskih mesecih.

Sončno energijo lahko izkoriščamo na več načinov, njihova uporabnost pa je odvisna od ekonomskih in vremenskih pogojev ter od estetskih in bivalnih želja uporabnikov.

Načine lahko v grobem razdelimo na pasivne, aktivne in hibridne. Kakor pove že ime, so pri aktivnih potrebne razne kontrolne naprave, ki krmilijo sistem, pri pasivnih pa gre za primerno izbrane arhitektonske elemente objektov. Hibridni sistemi so kombinacija prvih dveh.

Sistemi za aktivno izkoriščanje sončne energije

Najbolj razširjeni aktivni sistemi so taki, ki jih sestavljajo sprejemniki in hranilniki sončne energije s sistemom za prenos toplotne energije in krmiljenje. Taki sistemi (npr. sončni kolektorji) so primerni predvsem v poletnem obdobju za ogrevanje sanitarne vode tam, kjer je veliko sonca in je tudi poraba tople vode velika. V Sloveniji za ogrevanje objektov v zimskem času taki sistemi skorajda ne pridejo v poštev.

Drugi način zajemanja sončne energije je pretvorba te energije v električno s fotocelicami, vendar pa so ti sistemi dragi in za zdaj primerni le za naprave, ki ne porabijo dosti elektrike, in to na področjih z veliko sonca, kjer v bližini ni električnega omrežja.

Načini pasivnega izkoriščanja sončne energije

Pasivno izkoriščanje sončne energije pomeni, na kratko, da objekt oblikujemo in postavimo v prostor tako, da bo sposoben zajeti čim več sončne energije, ki vpade nanj, in to takrat, ko jo potrebujemo, pri tem pa kasneje ni treba izvajati nikakršnih dodatnih aktivnosti.

V prvi fazi bi projektant objekta moral usmeriti čim več zastekljenih površin proti jugu in čim manj proti severu. Teoretična analiza nekaterih objektov je pokazala, da bi že s tako orientacijo lahko zmanjšali energijske izgube pri neizoliranem objektu do 5 %, pri toplotno izoliranem pa kar do 10 %. Seveda sta pri tem pomembni tudi notranja razporeditev in orientacija prostorov.

V drugi fazi lahko projektant uporabi razne elemente ali sisteme za zajem sončne energije ter njen prenos v objekt. Možnosti je veliko, izbira pa je odvisna od ekonomskih faktorjev in estetskih želja investitorja.

Taki elementi za pasivno izkoriščanje sončne energije so: zimski vrtovi, zastekljeni balkoni, Trombe-Michelovi zidovi, zračni kolektorji, toplotne diode, transparentne toplotne izolacije, posebne vrste zasteklitve itd. Ti elementi lahko že bistveno spremenijo videz objekta.

Obstajajo pa tudi razni bolj komplicirani sistemi, pri katerih je potrebna avtomatična ali ročna regulacija, so pa tudi dražji.

Taki sistemi so, na primer:

- podzemni hranilniki toplote, kjer se poleti akumulira toplota, pozimi pa črpa nazaj v objekt,
- razne dodatne mase v objektu za akumulacijo sončne energije v tistem času, ko je te preveč,
- latentni hranilniki toplote, kjer pride do fazne spremembe snovi,
- votli stropi, stene in tla, po katerih kroži zrak, ki se ogreva ob fasadi,
- vrtljive stene, kjer se površina, ki se podnevi ogreje, ponoči obrne v prostor, toplotno izolirana površina pa na zunanjo stran.

Pri objektu, ki je projektiran tako, da zajema čim več sončne energije, je treba upoštevati še razne stranske učinke, predvsem gre tu za zaščito pred poletnim pregrevanjem in bleščanjem v prostorih. Pasivna sončna arhitektura se pri projektiranju pogosto povezuje tudi z osvetljevanjem prostorov. Objekte skušamo projektirati tako, da pride naravna svetloba v difuzni obliki v čim več prostorov.

Stanje pri nas

V svetu so raziskave o možnosti uporabe sončne energije za nadomeščanje energije za ogrevanje (in tudi osvetljevanje)

Avtor:

Matjaž Zupan, dipl. inž. fiz., višji razisk. sodel.

vanje) že dale veliko rezultatov, saj mnogi avtorji na raznih znanstvenih srečanjih po svetu vedno znova predstavljajo zanimive rešitve in objekte, tako enodružinske solarne hiše kakor tudi večje stanovanjske ali drugačne objekte (šole, vrtce, bazene, pisarne, rastlinjake ipd).

Na področju raziskav pri nas sicer še sledimo razvoju v svetu, pri prenosu rezultatov preiskav v prakso pa že precej zaostajamo. Z raziskavami se ukvarja več inštitucij in posameznikov, žal pa to delo poteka brez prave koordinacije in s premajhno izmenjavo rezultatov ter izkušenj. Rezultati zagnanosti posameznikov so tudi kongresi z mednarodno udeležbo o pasivni uporabi sončne energije, ki jih dokaj redno organizira Slovensko društvo za sončno energijo. Prav take prireditve pomagajo strokovnjakom pri izmenjavi mnenj, namenjene pa so tudi vsem projektantom, ki lahko tako dobijo nove ideje za svoje delo.

Pri nas so se že uveljavili aktivni sistemi za ogrevanje sanitarne vode v poletnem obdobju, bistveno počasneje pa projektanti in investitorji spoznavajo ter prenašajo v prakso osnovna načela pasivnega izkoriščanja sončne energije. Pravih solarnih hiš je pri nas še zelo malo in so rezultat zavzetosti posameznih investitorjev ali projektantov, saj jim družba pri tem praktično nič ne pomaga. Sistemi in elementi za izkoriščanje sončne energije so sicer res oproščeni davkov, vendar pa gre tu le za aktivne sisteme. Za toplotne izolacije nekaj časa prav tako ni bilo treba plačevati prometnega davka, sedaj pa je ta odlok že nekaj časa ukinjen.

Kako naprej

Glede na to, da je sonca v zimskih mesecih v mnogih krajih Slovenije razmeroma malo, je ekonomska upraviče-

nost dragih in kompliciranih sistemov vprašljiva. Bistvene so torej predvsem orientacija in lega odprtih na fasadi, orientacija prostorov in lega objekta v okolju. Vse to veliko pripomore k varčevanju z energijo v prehodnem obdobju, torej spomladi in jeseni, ko je sonca že dovolj, zunanje temperature pa so še nizke.

Objekti, grajeni v skladu s spoznanji o pasivni uporabi sončne energije, morajo biti dobro toplotno izolirani. Če k temu dodamo še optimalno projektiran in reguliran ogrevalni sistem, potem lahko taki objekti porabijo bistveno manj energije kakor pa današnji. To pa pomeni: nižje stroške, manjšo odvisnost od uvoženih fosilnih virov, manjše onesnaževanje okolja, manjšo porabo fosilnih virov, ki so pomembna surovina v kemični industriji, in podobno.

Predpisov, ki bi zahtevali pasivne sončne objekte, ni niti v drugih državah po svetu in seveda tudi ne pri nas. Investitorje in projektante je torej treba stimulirati na drugačne načine. To je predvsem izobraževanje investitorjev, v glavnem gre za graditelje individualnih stanovanjskih hiš. Ustanoviti bi morali tudi poseben svetovalni center, ki bi nudil zastoj vse ustrezne informacije in interesentom tudi izračunal možne prihranke.

Investitorje, ki bi se odločili za gradnjo energijsko varčevalnih hiš, kamor sodi v veliki meri pasivna uporaba sončne energije, bi morala družba primerno stimulirati. To je mogoče doseči z ugodnejšimi krediti in z manjšimi prispevki; projekti, narejeni po teh principih, bi imeli tudi prednost pri raznih natečajih. Verjetno pa bi lahko našli še kakšne druge načine stimuliranja.

HIDROZAŠČITA ZGRADB

Hidrozaščita opredeljuje zaščito zgradb pred različnimi vplivi navlaževanja. Ti vplivi se pojavljajo pravzaprav na vseh delih zgradbe, le da so v različnih oblikah, in sicer od atmosferske vode, talne vode in vlage do kondenzirane vodne pare v slojih konstrukcije ter rosenja na njeni površini.

Avtor:

Peter Žargi, dipl. inž. arh., višji razisk. sodel.

PETER ŽARGI

Za vsakega od teh vplivov je s predpisi, standardi in pravili stroke določena potrebna zaščita, ki je odvisna od intenzitete posameznega vpliva na površino obodne konstrukcije.

Pred začetkom projektiranja zgradbe morajo biti projektantu podrobno poznani parametri v zvezi z naslednjimi vplivi:

– maksimalne količine padavin s časovnimi opredelitvami za določeno lokacijo (pri projektiranju sistema za odvajanje vode s strešnih površin in površin ob objektu),

– režim podzemnih voda z določitvijo kritičnega nivoja, večkrat pa tudi s kemično sestavo te vode za določeno lokacijo (za pravilno dimenzioniranje hidroizolacije proti terenu in načina dreniranja),

– stopnja relativne vlažnosti v posameznih prostorih zgradbe skupaj s temperaturo in z zunanjo vlažnostjo – temperaturni pogoji za določeno lokacijo (pri pravilnem projektiranju sestave obodne konstrukcije glede difuzije vodne pare).

V naši tehnični regulativi je področje hidrozaščite precej skromno. Tehnični ukrepi in pogoji za projektiranje ter izvedbo so največkrat podani presplošno, nedorečeno ali celo napačno. Zaradi tega pride pogosto do projektnih in izvedbenih napak, katerih posledice je največkrat zelo težko odpravljati. Večina sanacijskih ukrepov je povezana tudi z velikimi stroški.

Za področje projektiranja in izvajanja poševnih streh obstaja Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za naklone strešin (Ur. l. SFRJ, št. 26/69), za področje ravnih streh oziroma streh s hidroizolacijami pa Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za oglikovodnike hidroizolacije streh in teras (Ur. l. SFRJ, št. 26/69). Oba pravilnika veljata že 20 let, zato sta praktično že neuporabna. Iz izkušenj pri projektiranju in vgrajevanju kritin in hidroizolacij lahko trdimo, da sta bila pravilnika slabo zasnovana in kot taka slabo uporabna že ob izidu leta 1969. V praksi smo preučevali mnoge strehe, na katerih je bila hidrozaščita predvidena dosledno po določenih teh pravilnikih, vendar so bile ugotovljene napake in poškodbe vzročno povezane prav s temi določili oziroma njihovimi netočnostmi in pomanjkljivostmi.

S tega področja je enako nedorečen in posplošen tudi standard JUS U.F2.024 (1980) Tehnični pogoji za izvajanje izolacijskih del na ravnih strehah. Menimo, da je ta standard sestavljen precej nepremišljeno, žal pa se ta nepremišljenost kaže pri sestavljanju večine domačih standardov. Določila in zahteve standarda JUS U.F2.024 sploh niso vezani na pravilnik s tega področja. Pri odločitvi o izdaji navedenega JUS-a v letu 1979 bi morale biti sestavljalcem jasno, da je treba najprej radikalno revidirati takratni deset let star pravilnik in smiselno vključiti v standard nova določila. Druga možnost pa bi bila ta, da z veljavnostjo novega, tehnično dovršenega standarda preneha veljati pravilnik s tega področja.

Kar zadeva tehnično regulativo glede zaščite objektov pred vplivi talne vode in vlage, pri nas še ne obstajata pravilnik oziroma standard. Zaradi tega si pri projektiranju največkrat pomagamo s standardom DIN 18195, ki je verjetno najboljši tuji standard s tega področja.

Zahteve po parodifuzijskih karakteristikah, ki so pomembne pri projektiranju zaščite pred vplivi kondenzacije vodnih par, so podane v standardu JUS U.J5.600 (1987), metodologija izračunavanja posameznih karakteristik pa je predpisana v standardu JUS U.J5.520 (1980). Oba standarda sta tehnično precej dovršena in kot taka pomembna izjemo glede na predhodne ugotovitve o slabem

stanju v tehnični regulativi s področja hidrozaščite. Razlog za to izjemo je gotovo dejstvo, da sta oba omenjena standarda s področja toplotne tehnike v gradbeništvu, torej področja, ki mu v zadnjih letih posvečamo izjemno pozornost.

Področje projektiranja in vgrajevanja elementov v hidrozaščiti ne more napredovati prav zaradi pomanjkljive tehnične regulative. Projektanti prepogosto uporabljajo ne-preverjene rešitve iz sicer obetavno publiciranih prospektov. Poleg tega lahko ugotavljamo, da stroka na nekaterih področjih hidrozaščite celo nazaduje. Vse manj je sposobnih in solidnih krovcev, kleparjev in hidroizolaterjev, temu primerno pa se povečuje število problemov na zgradbah. Pravila stroke se počasi pozabljajo, za te, včasih spoštovane poklice, pa se danes resno odločajo le redki.

Pri površnem pregledu obravnavanega stanja bi sicer lahko dobili drugačno sliko. Registriranih je namreč veliko izvajalcev, ki se ukvarjajo s krovstvom, kleparstvom, hidroizolaterstvom in z drugimi zaključnimi deli na področju hidrozaščite zgradb, vendar pa gre v mnogih primerih za zelo slabo kvalificirane kadre, tj. za priučene delavce in podobne.

Kritičnim pogledom na stanje v tehnični regulativi in stroki s področja hidrozaščite zgradb lahko dodamo še nekaj ugotovitev glede kakovosti materialov oziroma standardiziranih zahtev po njihovi kakovosti.

V proizvodnji hidroizolacijskih materialov obstaja precej proizvodov po vzoru tuje tehnologije, vendar za te proizvode še nimamo vseh ustreznih standardov ali pa so ti nepopolni. Naša industrija hidroizolacijskih materialov pa je sposobna izdelovati proizvode za najzahtevnejše pogoje njihovega funkcioniranja. Tu mislimo predvsem na bitumenske proizvode, pri katerih pa – odvisno od proizvajalca – kakovost precej niha.

Menimo, da je za zatekanje atmosferske vode na ravnih strehah vse bolj kriva slabša kakovost vgrajenih materialov kakor pa strokovnost vgrajevanja hidroizolacije. Za površinsko povsem razpokano hidroizolacijo ali pa za gubanje zaključnega sloja te hidroizolacije prav gotovo ni mogoče vedno kriviti izvajalca zaključnih del.

Standardizirane zahteve po kakovosti različnih strešnikov so v večini primerov preblage, nekatere pa sploh ne obstajajo. Kljub očitnim anomalijam, ki se na teh proizvodih začnejo pojavljati le nekaj let po vgraditvi, kakovosti ni mogoče zanikati, ker proizvod pač ustreza zahtevam standarda.

Proizvajalci se tega dobro zavedajo in le redki se trudijo, da bi bistveno izboljšali kakovost svojih proizvodov. Po-ostriiti bo torej treba zahteve standardov s tega področja oziroma nekatere standarde novelirati.

Področje hidrozaščite zgradb je torej v mnogih pogledih neurejeno. K takemu stanju je morda precej pripomogla tudi mentaliteta nekaterih krogov v gradbeništvu, ki to gradbenofizikalno vejo pogosto podcenjujejo, včasih pa celo zagovarjajo miselnost, da je reševanje te problematike domena obrtnikov.

Če hočemo, da se neurejeno stanje šroke na tem področju uredi, bo treba čim prej izdelati manjkajočo tehnično regulativo in dopolniti obstoječo. Poskrbeti bo treba za vzgojo kakovostnih kadrov na področju vgrajevanja kritin, hidroizolacij in drugih del, ki zadevajo hidrozaščito zgradb. Proizvajalci bodo morali izboljšati kakovost nekaterih proizvodov in paziti, da bo ta čim bolj konstantna. Projektanti, investitorji, nadzorni organi in inšpekcijske službe pa se bodo morali resneje lotiti obravnavanja oziroma reševanja te problematike.

SKLEPI

V sklepih članka, objavljenega v Gradbenem vestniku leta 1984, smo zapisali:

Gradbena fizika je mlada veja gradbeništva, ki se kljub prizadevanju nekaterih posameznikov in ustanov pri nas še ni povsem uveljavila. V praksi se zato pojavljajo številne tehnične, zdravstvene in ekonomske težave, ki povzročajo nezadovoljstvo pri uporabnikih zgradb, in tako tudi zmanjšujejo celotna prizadevanja v gradbeništvu.

Menimo, da bo treba za izboljšanje stanja še marsikaj narediti, in to:

1.

Na vseh stopnjah izobraževalnega sistema v gradbeništvu naj gradbena fizika postane eden izmed ključnih predmetov v učnem programu. Kadru, ki dela na tem področju, naj se zagotovi spremljanje razvoja v razvitejših državah.

Strokovna in druga javnost naj se na vse možne načine seznani s pomenom gradbene fizike.

2.

Za raziskovalno problematiko, ki je, glede na naše specifične razmere, ni mogoče razrešiti na podlagi izkušenj razvitega sveta, naj se izdela enoten in celovit raziskovalni program (za vsako vejo gradbene fizike posebej). Ta program naj se izvede koordinirano z razpoložljivimi združenimi raziskovalnimi kadri in z razpoložljivo združeno raziskovalno opremo. Za izvajanje programa naj se uredi združevanje sredstev.

3.

Na podlagi znanja in rezultatov raziskovalnega dela naj se za posamezna področja gradbene fizike izdelajo manjkajoči predpisi, obstoječi pa naj se dopolnijo. Za projektante in izvajalce naj se izdelajo podrobna navodila za njihovo delo, ki bodo temeljila na veljavnih predpisih. Zagotovi naj se spoštovanje veljavnih predpisov v vseh fazah gradnje, izboljša pa naj se tudi nadzor nad njo.

4.

Proizvajalci gradbenih materialov naj za svoje materiale razvijajo sisteme, ki bodo poleg pogojev glede nosilnosti ustrezali tudi vsem gradbenofizikalnim pogojem. Reklame naj bodo le za razvite in preverjene sisteme.

V petih letih, odkar so bili navedeni sklepi napisani, se razmere na področju gradbene fizike niso mnogo spremenile. Zato menimo, da so ti sklepi še vedno povsem primerni kot usmeritev za delo v prihodnje.

RAZISKAVE POTRESNE ODPORNOSTI ZIDANIH ZGRADB Z MEŠANIM KONSTRUKCIJSKIM SISTEMOM

UDK 69.059:624.131.55

MIHA TOMAŽEVIČ, TOMAŽ VELECHOVSKY, POLONA WEISS

POVZETEK

Ekspperimentalno smo raziskali obnašanje treh modelov trinadstropnih zidanih zgradb. Dva modela sta predstavljala zidano zgradbo z mešanim konstrukcijskim sistemom, sestavljenim iz obodnih, armiranih ali nearmiranih zidov in iz vmesnega armiranobetonskega stebra, medtem ko je tretji model predstavljal klasično zidano zgradbo, pri kateri je bil vmesni steber zamenjan s križno oblikovanim zidom. Vsi modeli so bili preiskani na potresni mizi s serijo potresnih vzburjanj. Raziskava je pokazala, da lahko pričakujemo zadovoljivo obnašanje zidanih zgradb z mešanim konstrukcijskim sistemom, če bodo le ustrezno zasnovane.

INVESTIGATION OF THE SEISMIC RESISTANCE OF MASONRY BUILDINGS WITH A MIXED STRUCTURAL SYSTEM

SUMMARY

The seismic behaviour of three three-storeyed masonry building models has been experimentally investigated. The first two models represented a mixed structural system, with peripheral reinforced-masonry or unreinforced-masonry walls and a central r. c. column, whereas the third model, for comparison, had at its centre a cross-shaped wall instead of the r. c. column. All models were subjected to a series of earthquake motions on a simple earthquake simulator. It was found that, under seismic loads, properly designed mixed structural systems can be expected to behave in a favourable manner.

1.0. UVOD

Znano je, da se razviti svet, zlasti na področju stanovanjske gradnje, zaradi izboljšanja bivalnega počutja ponovno vrača h klasičnim gradbenim materialom, predvsem k opeki. Zidane zgradbe tako doživljajo preporod: kot konstrukcijski sistemi seveda ne v klasični obliki, pač pa v obliki prefabriciranih konstrukcij ter konstrukcij z mešanim nosilnim sistemom. To so zgradbe, kjer so obodni zidovi zidani, v notranjosti pa stropne nosijo armiranobetonski stebri. Takšne zgradbe, kjer predpisani položaj nosilnih zidov ne omejuje dimenzij prostorov, so zelo priljubljene med arhitekti, saj omogočajo fleksibilno tlorisno zasnovo stanovanjskih prostorov. Žal so bile izkušnje s takšnimi zgradbami med potresi zelo slabe, zato grajenja zidanih zgradb z nosilnimi stebri, tj. zgradb z mešano nosilno konstrukcijo, večina potresnih predpisov ne dovoljuje. Tisti predpisi, ki mešane konstrukcije dovoljujejo, pa za njihovo uporabo na potresnih območjih zahtevajo številne in stroge omejitve.

Da bi ublažili včasih preveč konservativne zahteve predpisov in s tem ustvarili pogoje za hitrejši razvoj grajenja zidanih zgradb, moramo seveda vedeti, kako se zgradbe z mešanim konstrukcijskim sistemom obnašajo med potresom. Potem ko smo leta 1983 uspešno izvedli preiskavo modela štirinadstropne zidane zgradbe na potresni mizi in dokazali, da je mogoče takšne preiskave izvajati tudi z razmeroma preprosto opremo, smo za sofinanciranje nadaljevanja raziskav dinamičnega obnašanja zidanih konstrukcij pridobili italijanski konzorcij Poroton. Le-ta je kot pogoj za sofinanciranje predlagal, da raziščemo obnašanje zidanih konstrukcij z mešanim konstrukcijskim sistemom, ki so v Italiji zelo popularne. Z raziskavami modelov zgradb na potresni mizi bi pojasnili vzroke za njihovo slabo obnašanje med potresi, obenem pa tudi razvili ustrezne računske postopke in priporočila za njihovo dimenzioniranje in potresno varno grajenje. Če bi v tem uspeli, bi lahko bistveno pripomogli k popularizaciji in modernizaciji grajenja zidanih konstrukcij.

Z italijanskimi kolegi, ki sodelujejo v raziskovalnem projektu, smo pripravili program raziskav, s katerim bi dobili osnovne eksperimentalne podatke o obnašanju tovrstnih konstrukcij med potresom. V projektu je predvidena preiskava štirih modelov: dva modela sta zasnovana kot zidani konstrukciji mešanega tipa z obodnimi zidovi in z

Avtorji:

Miha Tomaževič, dr., dipl. inž. gradb., izredni profesor –
Tomaž Velechovsky, dipl. inž. gradb., raziskovalni sodelavec –
Polona Weiss dipl. inž. gradb., stažistka – raziskovalka.

vmesnim armiranobetonskim stebrom na sredini (modela 1 in 3), dva modela pa predstavljata referenčno, klasično zidano zgradbo s križnim zidom na sredini tlorisa (modela 2 in 4). Da bi ugotovili, kolikšen je vpliv armature, je zidovje enega modela posameznega tipa armirano z navpično in vodoravno armaturo (modela 1 in 2), medtem ko je zidovje drugih dveh modelov nearmirano (modela 3 in 4).

2.0. OPIS PREISKAV

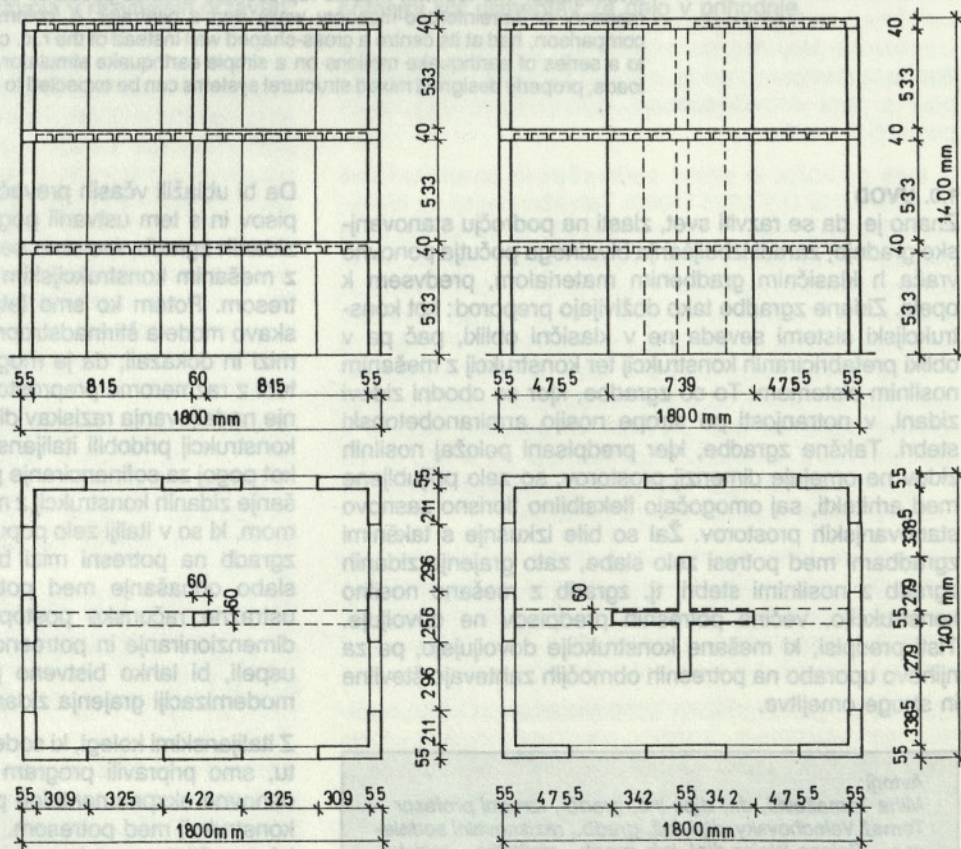
2.1. IZDELAVA MODELA IN MODELNI MATERIALI

Preiskani modeli (do zdaj so bili preiskani modeli 1, 2 in 3) predstavljajo izrez trinadstropne zgradbe ($20,7 \times 11,7$ m v tlorisu), sestavljene iz obodnih nosilnih zidov, notranjih zidov, ki razdelijo zgradbo na dva simetrična dela, in iz vmesnih armiranobetonskih stebrov, ki nosijo stropne plošče. Zidovi, debeli 280 mm, so sezidani iz lahkih keramičnih blokov tipa Poroton, armirani pa so tako z navpično (zalito v luknjah zidakov) kakor tudi z vodoravno armaturo (v spojnica med zidaki). Stropi so masivne, vendar lahke rebričaste plošče, podprte z obodnimi zidovi in z vmesnim armiranobetonskim stebrom.

Zaradi omejenih preizkuševalnih zmogljivosti na ZRMK smo se odločili, da bomo preiskave izvajali na modelih v merilu 1 : 5. Da bi se izognili težavam, nastalim pri izdelavi

modelnih materialov, ki bi ustrezali zakonom popolne modelne podobnosti (1), smo uporabili prototipne materiale in pravila splošne modelne podobnosti. Modelne zidake smo dobili tako, da smo enostavno razžagali prototipne bloke, za armaturo pa uporabili žgano žico z ustrezno zmanjšanim premerom. Stropne plošče smo modelirali kot rebričaste plošče, nosilne v eni smeri, z glavnim nosilcem na sredini razpetine in z armiranobetonskimi vezmi po obodu. Plošče smo izdelali pred zidanjem modela, zato smo po obodu in na sredini plošč pustili odprtine za prekrivanje in sidranje navpične armature zidov in armature vmesnega armiranobetonskega stebra. Seveda smo luknje po vsakokratni namestitvi plošče na zidove zalili s cementno malto oziroma z mikrobetonom. Za zidanje in zalivanje armature smo uporabili podaljšano cementno malto, stropne plošče pa smo izdelali iz mikrobetona. Dimenzije obeh tipov modelov v tlorisu in prerezu so prikazane na sliki 1.

Da bi dosegli podobnost porazdelitve mas in togosti med prototipno in modelno konstrukcijo, smo morali modelom dodati maso (300 kg na vsako ploščo). Za podobnost med napetostmi v nosilnih zidovih (kar je eden od osnovnih pogojev za ustrezno modeliranje mehanizma porušitve) smo morali v zidovih ustvariti dodatne napetosti, pri čemer pa nismo smeli spremeniti njihovih dinamičnih lastnosti. Modele smo zato prednapeli z jeklenimi vrvmi, sile prednapetja pa regulirali z mehкими vzmetmi, ki so dovoljevale



Slika 1. Zasnova in dimenzije modelnih zgradb

Modela 1 in 3

Model 2

pomike modela pri zanemarljivi spremembi sile v vrh. S preiskavo smo ugotovili, da prednapetje ni bistveno vplivalo niti na dinamične lastnosti modela niti na velikost vztrajnostnih sil, ki so delovale na model med preiskavo.

2.2. SIMULIRANA POTRESNA OBTEŽBA IN POSTOPEK PREISKAVE

Potresna miza, ki jo uporabljamo na ZRMK, je sestavljena iz dveh glavnih delov: iz jeklene ploščadi, vodene v vodoravni in navpični smeri, na katero smo z jeklenimi vijaki pritrdili temeljno ploščo z modelom, in iz dvosmerno delujočega programskega hidravličnega bata tipa Schenck PL 250 P (ali 160 N), povezanega s ploščadjo. Za programiranje in kontrolo gibanja potresne mize uporabljamo mikroračunalnik Hewlett-Packard serije 9816 S.

Ideja, naj se za simuliranje potresne obtežbe uporablja univerzalna preizkuševalna oprema, ni nova. Pogoje, katerim mora ustrezati potresni simulator, smo izpeljali iz naslednjih razmišljanj:

– čeprav je potresno gibanje tal prostorsko, lahko večino podatkov o obnašanju konstrukcije med potresom dobimo, če konstrukcijo preiščemo s potresno obtežbo, ki deluje v eni od glavnih smeri konstrukcije ali pa v poševni smeri. V normalnih okoliščinah niso pomembni niti pospeški v navpični smeri;

– gibanje tal med potresom je stohastično. Ima sicer svoje značilnosti, ki so odvisne od mehanizma potresa in lokalnih pogojev tal, vendar se potres kot deterministični pojav nikoli ne ponovi v enaki obliki. Zaradi tega nima nobenega pomena nabavljati drage specialne preizkuševalne opreme – potresne mize, ki je tem dražja, čim točnejše lahko reproducira dano gibanje tal, saj ustrezne rezultate lahko dobimo tudi s cenejšo opremo. Seveda pa mora biti oprema sposobna ponazoriti značilnosti potresnega gibanja tal v statističnem smislu.

Dinamično obnašanje modelov smo opazovali v elastičnem in neelastičnem območju. Da bi lahko statistično analizirali odziv potresne mize in ga primerjali z vhodnimi podatki, smo za generiranje pomikov potresne mize uporabili tri različne skupine umetnih akceleroگرامov: dve skupini po pet akceleroگرامov, izračunanih iz spektrov Eurocode 8 (AGE 1 in AGE 2), in skupino petih akceleroگرامov, izračunanih z upoštevanjem osnutka novih italijanskih predpisov (GNDT 2). Te iste faze preiskave so

nam omogočile tudi statistične analize odziva modela na potresno vzbujanje v elastičnem območju.

Pri opazovanju neelastičnega obnašanja modelov smo za vzbujanje uporabili zapise akceleroگرامov potresa v Črni gori iz leta 1979 (2).

Oblika spektrov odziva in časovne modulacijske funkcije, upoštevane pri generiranju akceleroگرامov, je prikazana na sliki 2, karakteristične vrednosti upoštevanih spektrov pa so navedene v preglednici 1.

Preglednica 1: Karakteristike spektrov odziva, upoštevanih v računu umetnih akceleroگرامov

Skupina	T1	T2	K	Ro	Fraktila
AGE 1	0,2	0,4	1	3,0	86 %
AGE 2	0,2	0,6	1	3,0	86 %
AGE 3	0,3	0,8	1	2,5	86 %
GNDT 2	0,15	0,8	1	2,2	50 %

Vsi umetni akceleroگرامi so bili normirani za vrednost maksimalnega pospeška tal 0,1 g in so torej predstavljali zmerne potrese. V neelastičnem območju smo za vzbujanje potresne mize uporabili zapise črnogorskega potresa, in sicer komponento N-S zapisa iz Petrovca z maksimalnim pospeškom tal v velikosti 0,43 g in komponento N-S zapisa iz Ulcinja (le model 1) z maksimalnim pospeškom tal 0,28 g. Karakteristične vrednosti akceleroگرامov, ki smo jih uporabili za vzbujanje potresne mize, so podane v preglednici 2.

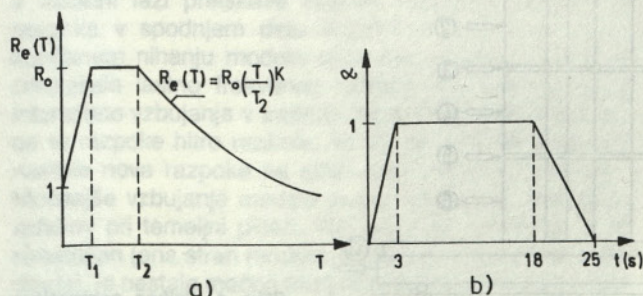
Preglednica 2: Karakteristične vrednosti akceleroگرامov za vzbujanje potresne mize

Skupina	Območje maksim. pospeškov (ms^{-2})	Območje maksim. pomikov (mm)	Trajanje (s)
AGE 1	-0,832 do +0,919	-99,5 do +91,5	25,52
AGE 2	-1,294 do +0,992	-120,1 do +128,0	25,52
GNDT 2	-1,072 do +1,612	-164,4 do +129,4	25,52
ACC 10	-4,273 do +3,985	-96,0 do +77,0	48,40
ACC 13	-2,316 do +2,794	-99,5 do +82,7	48,40

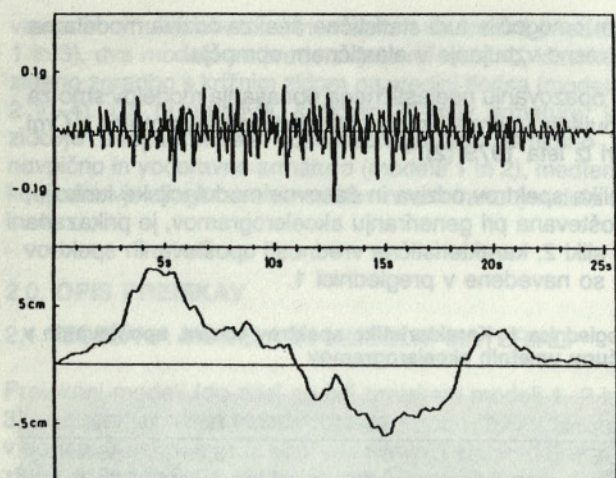
Tipična predstavnika obeh vrst akceleroگرامov z ustreznimi izračunanimi časovnimi poteki pomikov, s katerimi smo krmlili gibanje potresne mize, sta prikazana na sliki 3.

Odziv modelov na vzbujanje s potresno mizo smo merili z akcelometri (absolutni pospeški v višini stropov) in z merilniki pomikov (relativni pomiki modela glede na temeljno ploščo v višini stropov in na sredini višine prečnih zidov – slika 4). Seveda smo z meritvami pospeškov in pomikov kontrolirali tudi gibanje potresne mize. Vse izmerjene podatke smo s 14-kanalnim merilnim magnetofonom zabeležili na magnetni trak, za sprotno kontrolo preiskave pa smo značilne zapise zrisali z risalnikom Hewlett-Packard serije 7090 A. Analogne zapise smo kasneje digitalizirali in pripravili za računalniško obdelavo. Tipični zapisi odziva modela v elastičnem območju so prikazani na sliki 5.

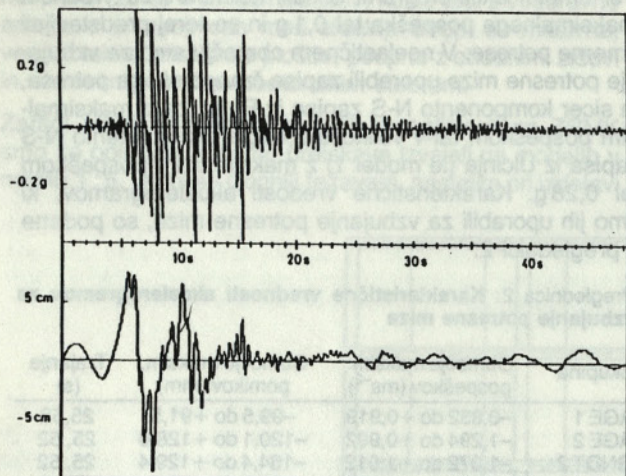
Modele smo preiskali s 74 (model 1), 67 (model 2) oziroma s 63 (model 3) vzbujanji v elastičnem in neelastičnem območju. V vsaki fazi smo model najprej preiskali s



Slika 2. Oblika spektrov odziva (a) in časovne modulacijske funkcije (b), upoštevane v računu umetnih akceleroگرامov

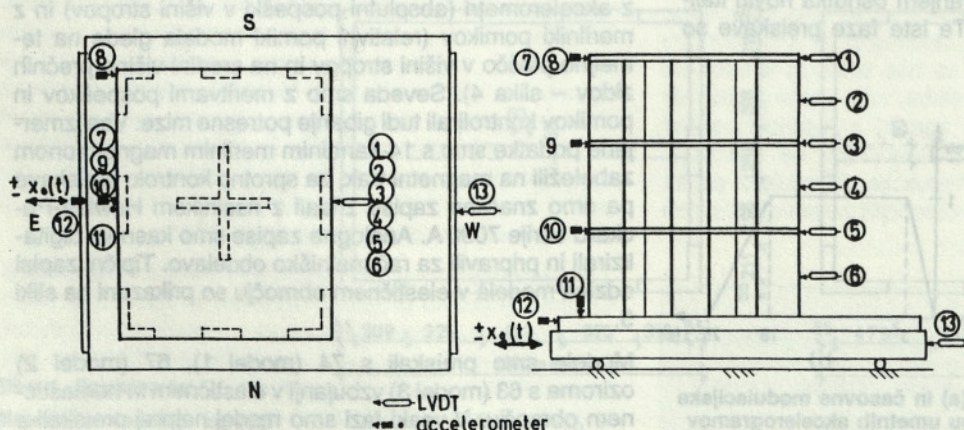


a)

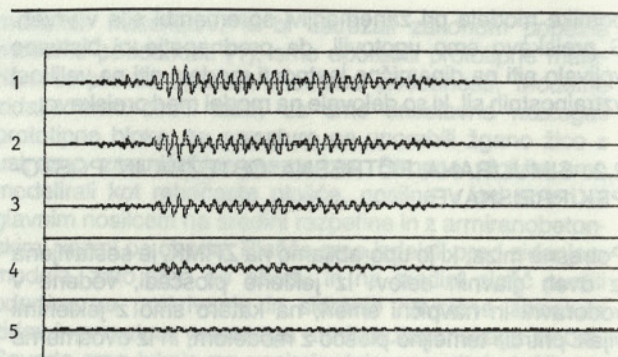


b)

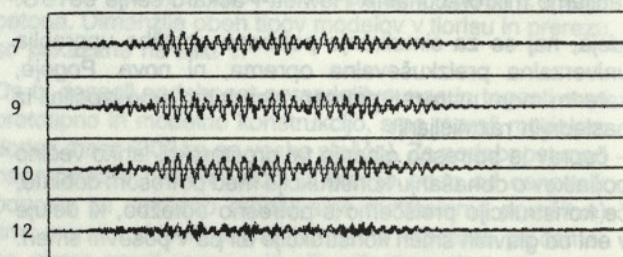
Slika 3. Tipični umetni akcelorogram (a) in zapis komponente N-S potresa 15. 4. 1979 v Črni gori, registriranega v Petrovcu (b)



Slika 4. Prikaz namestitve merilnih inštrumentov na modelu



a)



b)

Slika 5. Tipična oblika odziva modela: pomiki (a) in pospeški (b)

potresnim vzbujanjem, nato pa iz iznihanja modela po udarcu s plastičnim kladivom po zgornji plošči izmerili spremembe lastne frekvence in dušenja. Model smo skrbno pregledali in zabeležili vse ugotovljene razpoke ter druge poškodbe. V neelastičnem območju smo obnašanje modela filmali z dvema kamerama S-8. Intenziteto vzbujanja smo kontrolirali z nastavitvijo velikosti maksimalnega pomika mize, izračunanega z integracijo izbranega akcelorograma. Seveda smo pri tem trajanje potresa skrajšali po zakonih modelne podobnosti.

3.0 REZULTATI PREISKAV

3.1. NASTANEK POŠKODB IN PORUŠNI MEHANIZEM

Model 1: Najprej smo opazili razpoke v spodnji etaži: strižne in upogibne razpoke so nastale v obeh srednjih zidovih in v delih vogalnih zidov v smeri potresnega vzburjanja. Kakor so dokazovale razpoke v ploščah, so se zidovi obnašali kot navpične konzole, povezane med seboj s podajnimi stropi in z zidnimi vezmi. V nadaljevanju preiskave so v vezeh ob navpičnih robovih zidov nastali plastični členki. Ko smo povečali intenziteto vzburjanja, se poškodbe niso širile po višini modela, pač pa so ostale skoncentrirane v spodnji etaži: vogalni zidovi so se porušili upogibno, z značilnim trganjem armature na natezni strani dela zidu v smeri vzburjanja ter z drobljenjem zidakov in izklonom armature na tlačni strani, tj. v delu zidu, pravokotnem na vzburjanje. Vmesna zidova sta se porušila upogibno, vendar z močnimi strižnimi poškodbami: pri tem je bila odločilna vodoravna armatura, ki je preprečila razpad zidu. V času, ko so nastale močne poškodbe v zidovih, smo opazili tudi prve razpoke v vmesnem stebru: razpoke so nakazovale plastifikacijo armature obeh koncev stebra v spodnji etaži modela, pri povečani intenziteti vzburjanja pa se je začel tudi drobiti beton.

Model 2: Kot smo pričakovali, so najprej nastale strižne razpoke v vmesnem križnem zidu, tj. v delu zidu v smeri vzburjanja, ki je zaradi svoje togosti prevzel tudi največje potresne obremenitve. Hkrati pa je bil nekoliko manj obremenjen z navpičnimi obremenitvami kakor obodni zidovi. V nadaljevanju preiskave so se pojavile razpoke med obodnimi zidovi in stropnimi ploščami, ravno tako pa tudi razpoke v zidnih vezeh ob navpičnih robovih zidov v smeri vzburjanja. Pri povečani intenziteti vzburjanja so se razpoke, ki smo jih najprej opazili v spodnji etaži, razširile tudi na zidove druge in deloma tretje etaže. Medtem ko smo pri križnem zidu opazili tipično strižno obnašanje, pa je bilo obnašanje vmesnih in vogalnih obodnih zidov kombinacija striga in upogiba: vodoravna armatura je kljub nastalim strižnim razpokam dovoljevala upogibno porušitev teh zidov z natežno porušitvijo (pretrgom) armature in z drobljenjem zidakov v tlačni coni. Tudi v tem primeru je bilo opaziti plastifikacijo vezi ob stiku z zidovi v smeri vzburjanja.

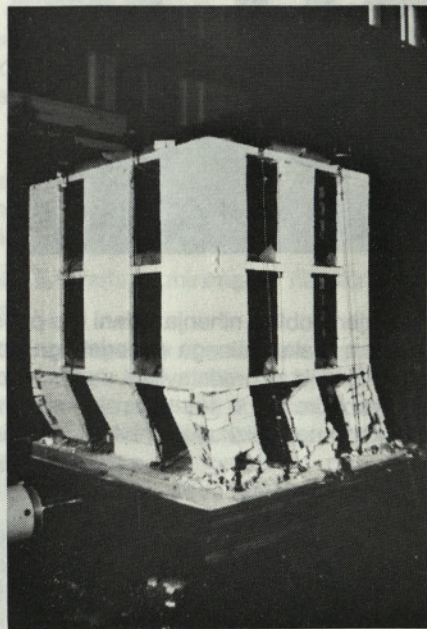
Model 3: Zidovje modela 3 ni bilo armirano, zato so že v začetni fazi preiskave nastale upogibne, vodoravne razpoke v spodnjem delu vogalnih zidov, ki so – po končanem nihanju modela sicer komaj vidne – opazno zmanjšale lastno frekvenco modela. Ko smo povečali intenziteto vzburjanja v zadnjih šestih fazah preiskave, so se te razpoke hitro razširile, hkrati pa so v vseh etažah nastale nove razpoke na stikih med zidovi in ploščami. Močnejše vzburjanje modela je povzročilo tudi drobljenje zidakov pri temeljni plošči. Ker nastanek poškodb ni bil simetričen (ena stran modela je bila bolj poškodovana kot druga), je nastalo močno torzijsko nihanje, ki je povzročilo odtrganje, premike in izpad dela zidu na bolj poškodovani strani modela. Čeprav smo opazili nekaj značilnih znakov

upogibnega obnašanja zidov, pa skoraj nismo opazili upogibnih razpok v stropnih ploščah. To kaže na majhno upogibno nosilnost prereza nearmiranega zidu.

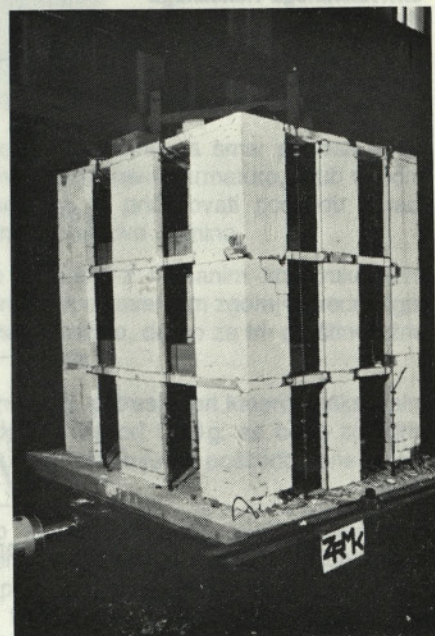
Tipično stanje modelov pred porušitvijo je prikazano na slikah 6, 7 in 8.

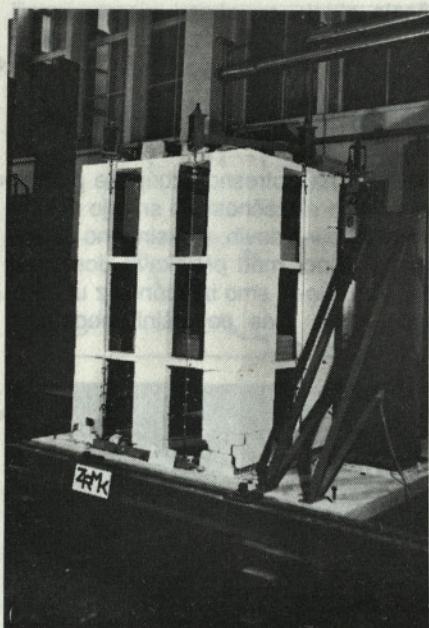
V analizi odziva modelov na potresno vzburjanje primerjamo tri mejna stanja: mejo elastičnosti, ki smo jo določili z nastankom prvih poškodb v zidovih, maksimalno odpornost, izraženo z maksimalno, med preiskavo doseženo prečno silo v spodnji etaži (le-to smo izračunali z upoštevanjem znane razporeditve mas po višini modela, z

Slika 6. Model zgradbe z armiranim zidovjem in vmesnim stebrom (model 1) pred porušitvijo



Slika 7. Model zgradbe z armiranim zidovjem in s križnim zidom (model 2) pred porušitvijo



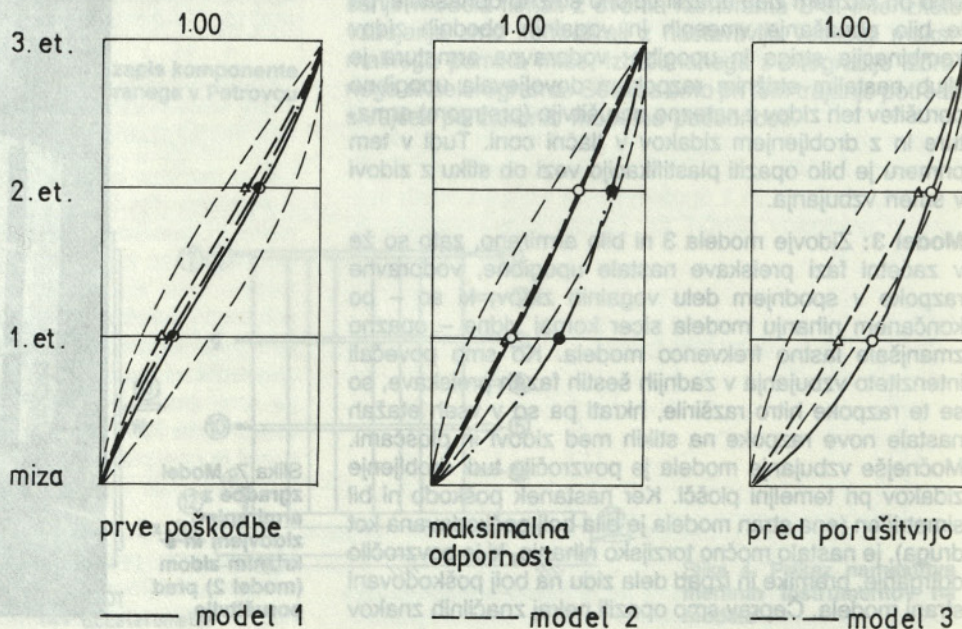


Slika 8. Model zgradbe z nearmiranim zidovjem in vmesnim stebrom (model 3) pred porušitvijo

izmerjeno obliko nihanja v dani fazi preiskave in z upoštevanjem maksimalnega izmerjenega pospeška), in mejo porušitve, ki je predstavljala stanje modela tik pred porušitvijo oziroma v trenutku, ko smo zaradi nevarnosti poškodb na preizkuševalni opremi preiskavo prekinili.

Preglednica 3: Prva lastna frekvenca in koeficient ekvivalentnega viskoznega dušenja

	Frekvenca f (s^{-1})			Dušenje (%)		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
Pred preiskavo	9,58	13,06	8,31	6,6	4,8	—
Po prednapetju	11,90	13,29	10,90	5,6	3,8	5,5
Prve poškodbe	9,52	11,09	9,42	5,6	6,6	6,9
Maksimalna odpornost	9,15	7,38	5,32	4,5	6,1	—
Pred porušitvijo	4,77	5,54	—	7,0	6,5	—



Slika 9. Oblike prvega tona nihanja

3.2. DINAMIČNE LASTNOSTI

Spremembe parametrov, ki določajo dinamično obnašanje modelov, kot sta frekvenca prvega tona lastnih nihanj in koeficient ekvivalentnega viskoznega dušenja, določena iz iznihanja modela po vzbujanju z udarcem s kladivom, so podane v preglednici 3. Na sliki 9 pa je grafično prikazana oblika prvega tona nihanja, ki smo jo ugotovili pri značilnih mejnih stanjih obnašanja modelov. Za primerjavo smo na sliki vrisali tudi ekstremni možnosti, tj. čisto upogibno in čisto strižno obliko nihanja.

Če analiziramo obnašanje modelov z mešanim konstrukcijskim sistemom (modela 1 in 3) lahko ugotovimo, da so ugotovljene razlike v elastičnem območju opravičljive: medtem ko sta obliki prvega tona nihanja armiranega (model 1) in nearmiranega modela (model 3) praktično identični, pa je bil model z armiranim zidovjem nekoliko bolj tog. Višja lastna frekvenca armiranega modela je posledica zaplnitve dela votlin v zidakih – kjer je bila položena navpična armatura – z zalivno malto in s tem povečanja vrednosti elastičnega in strižnega modula zidovja.

Bistvene razlike v obnašanju modelov 1 in 3 pa smo opazili po nastanku razpok: medtem ko je armatura v zidovju omogočila prevzem relativno velikih potresnih sil in zagotovila modelu 1 duktilno obnašanje tudi potem, ko je dosegel svojo nosilnost, pa se je model 3, pri katerem zidovje ni bilo ojačeno z armaturo, neduktilno porušil takoj

po doseženi maksimalni sili, seveda pri bistveno manjši intenziteti vzbujanja. Obliki nihanja armiranega in nearmiranega modela pred porušitvijo sta sicer podobni; obe kažeta na velike relativne deformacije spodnje etaže, ki so posledica koncentracije poškodb v zidovju in vmesnem stebri v tej etaži. Zaradi neduktilnega obnašanja nearmiranega modela pa ni opaziti zvezne spremembe oblike nihanja z večanjem poškodb v zidovju, kot to jasno pokaže analiza obnašanja armiranega modela.

Medtem ko smo med preiskavo opazili veliko upadanje lastne frekvence nihanja vseh modelov z naraščajočimi poškodbami, pa praktično ni bilo opaziti spremembe v velikosti viskoznega dušenja (registriranega pri majhnih amplitudah vzbujanja).

Če primerjamo obnašanje modelov z mešanim konstrukcijskim sistemom, predvsem armiranega modela 1, z obnašanjem modela referenčne armirane zidane zgradbe z vmesnim križnim zidom, lahko ugotovimo naslednje: pričakovati je bilo, da bo model s križnim zidom bolj tog kakor modela z vmesnim stebrom, pričakovana pa je bila tudi podobna oblika nihanja v elastičnem območju. Oblike nihanja, ki smo jih zabeležili po nastanku poškodb, pa jasno kažejo razlike v mehanizmu obnašanja modelov: medtem ko so bile poškodbe pri modelu s križnim zidom (model 2) enakomerno razporejene po celi višini, pa oblika nihanja modelov z vmesnim stebrom (modela 1 in 3) jasno kaže na koncentracijo poškodb v spodnji etaži.

4.0. SKLEP

V preglednici 4 primerjamo maksimalne vrednosti prečne sile v spodnji etaži pri značilnih mejnih stanjih. Vrednosti

konkretnem primeru je zgradba z nearmiranim zidovjem svojo nosilnost sicer dosegla pri enako močnem potresu kakor zgradba z armiranim zidovjem, vendar je doseganje nosilnosti hkrati pomenilo tudi porušitev zgradbe. Iz primerjave vrednosti v preglednici 4 lahko tudi ugotovimo, da je bila maksimalna odpornost zgradbe z nearmiranim zidovjem bistveno manjša kakor odpornost armirane zgradbe.

Primerjava obnašanja obeh modelov z armiranim zidovjem pa ne kaže bistvenih razlik med potresno odpornostjo zidanih zgradb z mešanim konstrukcijskim sistemom in potresno odpornostjo klasičnih zidanih zgradb. Oba modela sta bila sposobna prevzeti potresno obtežbo enakega velikostnega reda. To dokazuje, da lahko pričakujemo zadovoljivo obnašanje zidanih zgradb z mešanim konstrukcijskim sistemom, če bodo le ustrezno zasnovane.

Rezultati preiskave modela zgradbe z armiranim obodnim zidovjem in vmesnim armiranobetonskim stebrom nam v zvezi s tem dopuščajo naslednje sklepe:

- zidovje mora biti armirano z minimalno navpično in vodoravno armaturo;
- če so nosilni zidovi armirani, se obnašajo kot konzole, povezane s podajnimi stropi. Porazdelitev upogibnih momentov, ki jih povzročajo potresne sile po višini zidov, je odvisna od togosti zidnih vezi in stropov. Ker stropi in zidne vezi prenašajo upogibne momente in se med delovanjem potresa plastificirajo, lahko njihovo upogibno nosilnost upoštevamo pri dimenzioniranju zidov;

		Prve poškodbe	Maksimalna odpornost	Pred porušitvijo
Zgradba 1	Pospešek tal (g)	0,34	0,48	0,44
	Strižni koeficient	0,25	0,51	0,34
Zgradba 2	Pospešek tal (g)	0,36	0,83	1,18
	Strižni koeficient	0,32	0,54	0,45
Zgradba 3	Pospešek tal (g)	0,12	0,93	–
	Strižni koeficient	0,10	0,28	–

Preglednica 4: Potresna odpornost prototipnih zgradb

smo ekstrapolirali, tako da veljajo za prototipne zgradbe, pri čemer smo seveda upoštevali zakone modelne podobnosti (razprava o fizičnem modeliranju ni predmet tega prispevka). Da bi dobili predstavo tudi o intenziteti potresa, ki povzroči določena mejna stanja, navajamo za primerjavo maksimalne pospeške tal, seveda ob predpostavki, da so spektri odziva takih oblik, kot so jih imeli potresi, uporabljeni za vzbujanje potresne mize. Tako prečna sila kakor tudi pospešek sta podana v obliki koeficienta: pri prečni sili je to t. i. strižni koeficient, ki izraža prečno silo kot delež teže zgradbe, pospeški tal pa so izraženi kot delež pospeška prostega pada ($g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$).

Če primerjamo obnašanje obeh zidanih zgradb z mešanim konstrukcijskim sistemom, lahko ugotovimo, da je bil eden od osnovnih razlogov za neustrezno obnašanje tovrstnih zgradb med potresi neduktilno obnašanje zidovja. Vrednosti v preglednici 4 kažejo, da prve poškodbe v nearmiranem zidovju lahko pričakujemo že pri šibkih potresih. V

– v zidovih, ki stoje pravokotno na smer potresa in so armirani z navpično in vodoravno armaturo, kljub velikim medsebojnim razdaljam ni pričakovati poškodb zaradi upogiba pravokotno na njihovo ravnino.

Če bomo zidano zgradbo z mešanim konstrukcijskim sistemom projektirali z upoštevanjem zgoraj navedenega, nam rezultati preiskav kažejo, da bo za tri- do štirietažne zgradbe veljalo:

- pri zmernih potresih, tj. potresih, pri katerih maksimalni pospeški tal ne bodo večji od 0.30 g, se bodo zgradbe obnašale elastično (ne pričakujemo poškodb konstrukcijskega sistema);
- če bo obodno zidovje armirano vsaj z minimalno navpično in vodoravno armaturo, bodo zgradbe dovolj duktilne, da bodo pred porušitvijo vzdržale več zaporednih močnih potresov, tj. potresov, pri katerih maksimalni pospeški tal lahko dosežejo tudi 0,4–0,5 g.

Brez natančne analize rezultatov preiskav še nismo mogli izpeljati končnih sklepov v zvezi s formulacijo računskega modela, s katerim bomo lahko ponazorili tudi nelinearno obnašanje preiskane konstrukcije. Analiza še ni končana, o njenih rezultatih pa bomo poročali v enem od naslednjih prispevkov.

ZAHVALA

Raziskave, opisane v tem članku, sta financirala Raziskovalna skupnost Slovenije in konzorcij Poroton iz Vicenze v Italiji. Avtorji se na tem mestu zahvaljujemo vsem, ki so pomagali pri izvedbi preiskav, predvse pa Ljubu Petkoviču in kolegoma iz Italije, profesorju Claudiu Modeni z Univerze v Padovi in asistentu Orestu Bursiju z Univerze v Trentu.

LITERATURA

1. Boštjančič, J. Pogoji modelne podobnosti pri dinamičnih obremenitvah. Gradbeni vestnik, 10 (16), Ljubljana, 1968.
2. Bulletin of the Strong-Motion Earthquake Accelerograms. No. 1, IZIS, Skopje, 1984.
3. Tomažević, M. in Modena, C. Dinamično obnašanje zidanih zgradb. Eksperimentalna in analitična študija obnašanja modelov zidanih zgradb pri potresni obtežbi. Splošni program raziskav in pregled literature. ZRMK/IKPI-87/07, Ljubljana, 1987.
4. Tomažević, M., Modena, C., Velechovsky, T. in Žarnić, R. Dinamično obnašanje zidanih zgradb. Preiskava modela armirane zidane zgradbe z vmesnim a/b stebrom na potresni mizi – rezultati preiskave. ZRMK/IKPI-87/01, Ljubljana, 1987.
5. Tomažević, M., Modena, C. in Petkovič, L. Dinamično obnašanje zidanih zgradb. Preiskava modela armirane zidane zgradbe z vmesnim križnim zidom na potresni mizi – rezultati preiskave. ZRMK/IKPI-88/01, Ljubljana, 1988.
6. Tomažević, M., Modena, C., Petkovič, L. in Velechovsky, T. Dinamično obnašanje zidanih zgradb. Preiskava modela nearmirane zidane zgradbe z vmesnim a/b stebrom na potresni mizi – rezultati preiskave. ZRMK/IKPI-88/07.

POLIMERI IN SANACIJE

UDK 678.769:69.059

VERA APIH

POVZETEK

Novi gradbeni materiali na osnovi polimerov so omogočili tudi razvoj novih postopkov za sanacije poškodb v gradbeništvu in za izboljšanje stanja konstrukcij. Uvajanje novih materialov in postopkov poteka uspešno le ob sodelovanju strokovnjakov različnih strok. Opisana sta dva primera: silikoni in razvoj postopkov ter materialov za sanacije vlažnih zidov in uvajanje epoksidnih smol za sanacije poškodovanih betonov in armiranobetonskih konstrukcij.

POLYMERS AND THE REPAIR OF STRUCTURES

SUMMARY

The production of new, polymer-based building materials has initiated the development of new methods for the repair of damaged or otherwise unsatisfactory structures. However, the successful introduction of these new materials and methods depends on close teamwork between experts in the different relevant technological fields. Two cases are described: firstly, the use of silicones and the introduction of methods and materials for the reducing of damp in walls, and, secondly, the use of epoxy resins for the repair of damaged concrete and reinforced-concrete structures.

1. UVOD

V zadnjih petdestih letih je razvoj kemije polimerov omogočil proizvodnjo cele vrste novih proizvodov, primernih

za gradbeništvo. Z uporabo različnih osnovnih polimerov in dodatkov ter z različnimi načini predelave lahko industrija gradbenih materialov izdela proizvode s skoraj neomejenim izborom lastnosti. Novi polimerni materiali ali »plastika« so sedaj praktično nenadomestljivi v vseh fazah gradnje, od priprave zemljišč do zaključnih del. Uveljavili pa so se tudi pri sanacijah.

Razvoj in uvajanje novih polimernih gradbenih materialov

Avtor:
mag. Vera Apih, dipl. inž. kem., razisk. svetnik

spodbuja in omogoča tudi razvoj novih načinov projektiranja in oblikovanja ter gradnje in sanacij. Pri tem se pojavljajo tudi novi problemi, ki so deloma posledica nezadostnega poznavanja lastnosti novih materialov, deloma pa nastanejo zaradi nepreizkušenih novih rešitev ali nestrokovne izvedbe.

V praksi se marsikateri težavi izognemo, če nove materiale in nove postopke predhodno laboratorijsko preizkusimo, nato pa jih spremljamo pri aplikaciji v praksi, jih opazujemo in ocenjujemo ter po potrebi spreminjamo. Timsko delo raziskovalcev različnih profilov ter prepletanje študijskega, raziskovalnega in aplikativnega dela omogočata kompleksno obdelavo problemov, tako izhodiščnih (kako uporabiti nov proizvod, kako sanirati poškodbo) kakor tudi tistih, ki se pojavljajo med reševanjem izhodiščnega problema. Kot primer sta opisani uvajanje hidroforiranih preparatov pri sanacijah vlažnih zidov ter uvajanje epoksidnih smol za sanacije betonskih konstrukcij.

2. MATERIALI S HIDROFORIRANIMI LASTNOSTMI IN SANACIJE VLAŽNIH ZIDOV

Organske silicijeve spojine, raztopljene v vodi (silikonati), alkoholih (silani) ali višjih ogljikovodikih (silikoni in silikonske smole), dobro penetrirajo v anorganska gradiva (opeko, beton, kamen). Ko nosilno topilo izhlapi, ostanejo na površini kapilar v gradivu silicijeve spojine z veliko površinsko napetostjo. Omočilni kot med vodo in cementnim kamnom, ki je običajno 0° , se po obdelavi s silikonskim preparatom poveča na $90\text{--}180^\circ$. S tem se močno zmanjšata absorpcijska sposobnost kapilar v gradivu in s tem možnost vstopa ter prenosa vode po gradivu. Prisotnost vode in v njej raztopljenih plinov (ogljikov in žveplov dioksid, dušikovi oksidi) in soli (kloridi, sulfati, nitrati) je osnova za nastanek kemičnih in mehanskih korozijskih procesov v vseh anorganskih gradivih, še zlasti pa v armiranem betonu. Večje količine vlage v zidovih pa poleg propadanja materiala slabšajo bivalne razmere v objektih ter njihov splošni videz in uporabnost.

Z uvajanjem silikonskih preparatov, ki ovirajo dostop vode v gradivo, se je kmalu pojavila tudi ideja, da bi z njimi lahko v vlažnih zidovih preprečevali vstop vode in prenos vlage.

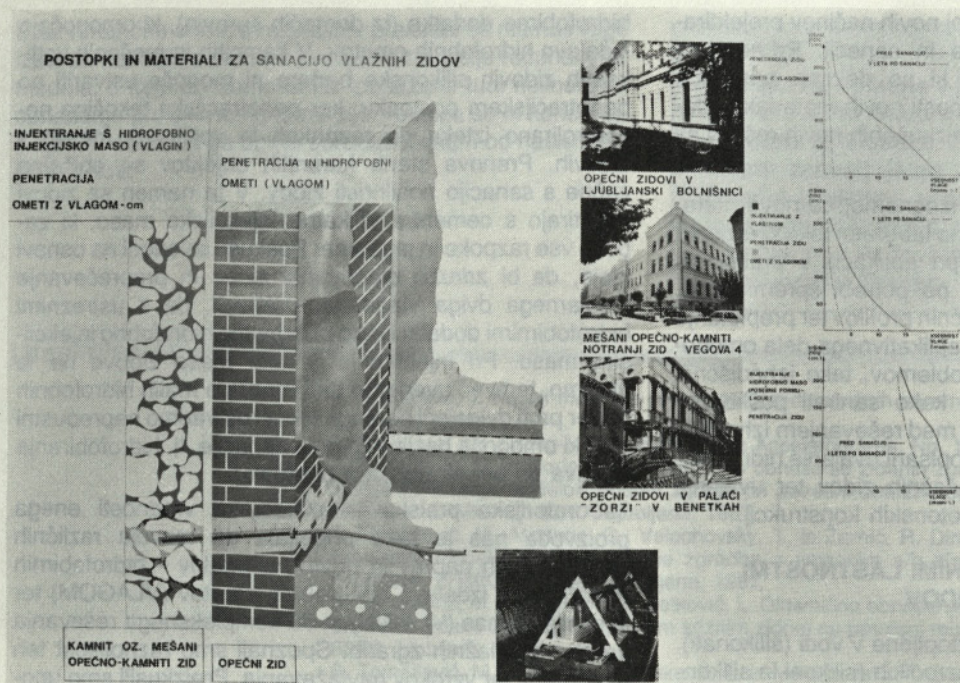
Laboratorijski poskusi so pokazali, da z raztopino silikonata lahko toliko hidroforiramo opeko, da je zid, zgrajen iz take hidroforirane opeke in malte s hidroforirnim dodatkom, popolnoma suh, čeprav stoji v vodi. Zid je torej treba prepojit s silikonskim preparatom, s čimer bi dosegli enak rezultat. S poskusi, ki smo jih izvedli na navlaženih testnih zidovih in na poskusnem objektu, pa je postalo jasno, da samo ustrezen material nikakor ne zadošča za uspešno sanacijo vlage. Razviti je bilo treba postopek, s katerim lahko kakovostno penetriramo zidove po celotnem preseku. Po uvedbi bariere proti dvigajoči se vlagi se zidovi dolgo sušijo. Zato je potreben dodatni ukrep, in sicer takšna površinska obdelava zidov, ki to sušenje dopušča, obenem pa omogoča uporabo prostorov, ne da bi se v tem času pojavili cvetenje soli, odstopanje opleskov, vidna vlaga in rast plesni. Zato je bilo treba razviti

hidroforirne dodatke (iz domačih surovin), ki omogočajo izdelavo hidroforiranih ometov. V kamnitih in mešanih votlikastih zidovih silikonske bariere ni mogoče ustvariti po penetracijskem postopku, ker penetracijska tekočina nekontrolirano izteka po razpokah in votlikavih mestih v zidovih. Prenova starih kamnitih objektov se običajno začne s sanacijo nosilnosti zidov. V ta namen se zidovi injektirajo s cementno-silikatno injekcijsko maso, ki zapolni vse razpoke in praznine. Poskusi, izvedeni na osnovi ideje, da bi združili ojačevanje zidov in preprečevanje kapilarnega dviga vlage, so pokazali, da z ustreznimi hidroforirnimi dodatki lahko pripravimo hidroforirno injekcijsko maso. Pri injektiranju s tako maso zidove ne le utrdimo, temveč uvedemo tudi množico malih hidroforiranih barier proti dvigajoči se vlagi. Hkrati ustvarimo neprepustni sloj, ki omogoča naslednjo fazo sanacije, tj. hidroforiranje gradiva po penetracijskem postopku.

Laboratorijska preiskava aplikacijske vrednosti enega proizvoda nas je tako pripeljala do razvoja različnih penetracijskih naprav in novih materialov – hidroforiranih dodatkov za izdelavo hidroforiranih ometov (VLAGOM) ter injekcijskih mas (VLIGIN) in do kompleksnega reševanja problemov vlažnih zgradb. Spoznali smo raznolikost teh problemov ter vzrokov navlaževanja. Preizkusili smo uporabnost že znanih metod preprečevanja navlaževanja (drenaže, prerezovanje zidov, obloge). Zaključimo lahko, da je osnova kakovostne sanacije vlažnega objekta predvsem v njegovi strokovni analizi. Ugotoviti je treba vse prave vzroke za navlaževanje, ki pa so lahko zelo različni. Spoznati je treba način gradnje ter vrsto materiala, iz katerega so zgrajeni zidovi. Pri končni izbiri sanacijskega postopka pa je pomembna tudi bodoča namembnost objekta. Na osnovi take analize lahko načrtujemo optimalni sanacijski postopek. V večini primerov je treba izvesti več različnih ukrepov, na primer drenaže, ki znižajo dostop vode do objekta, penetracijo zidov, ki prepreči dvig vlage po zidovih, in zamenjavo poškodovanih ometov s hidroforirnim. Pogosto pa z analizo poškodb ugotovimo, da so vzroki vlaženja neustrezen gradbeni detajl, neustrezna toplotna izolacija ali poškodovana vodovodna instalacija in da razen popravila teh poškodb posebni ukrepi niso potrebni.

Na sliki 1 so shematsko prikazani načini sanacije opečnega in kamnitega zidu ter rezultati (znižanje vlage) sanacij nekaterih objektov. Zadnja prikazana sanacija je poskus osuševanja vlažnih zidov palače Zorzi v Benetkah. Najpogostejši način sanacije vlage v zidovih beneških zgradb je vgrajevanje dvoslojnih svinčenih barier. Postopek je težko izvedljiv, drag in spreminja videz zidov. Zato v Benetkah poteka veliko število poskusnih sanacij, da bi tako razvili najprimernejši postopek za osuševanje zidov. Eden izmed njih je tudi naš poskus. Začeli smo ga z analizo načina gradnje, materialov in vzrokov navlaževanja.

Zidovi beneških palač so običajno večslojni in so zgrajeni iz opek, ki so bile izdelane v različnih stoletjih. Navlaževanje z morsko vodo je stalno, tako iz temeljev zaradi kapilarnega dviga vlage kakor tudi prek površine zidov zaradi pogoste »visoke vode« in higroskopičnosti soli, ki



Slika 1. Shematsko prikazani načini sanacije opečnega in kamnitega zidu ter rezultati (znižanje vlage) sanacij nekaterih objektov

so v zidovih. Naš postopek smo zasnovali tako, da bi preprečili vse tri načine vstopa vlage. Poskusna sanacija je pokazala, da smo delno uspeli. Zidovi so se v enem letu osušili za približno eno četrtino začetne vlage. Meritve higroskopičnosti gradbenih materialov so pokazale, da smo se s tem že približali meji, do katere je beneške zidove – zaradi velike količine higroskopičnih soli – sploh možno osušiti. Za uspešnejšo sanacijo bi bilo treba iz zidov odstraniti soli, kar pa zaenkrat še ni rešljivo.

3. EPOKSIDNE SMOLE IN SANACIJE BETONSKIH KONSTRUKCIJ

Dvokomponentne epoksidne smole so spojine, ki so se hitro uveljavile v gradbeništvu. Z izbiro različnih epoksidnih smol, uporabo različnih trdil in dodatkov (topil, mehčal, polnil, pigmentov itd.) izdeluje industrija gradbenega materiala celo vrsto proizvodov za gradbeništvo: dekorativne in zaščitne premaze za kovine in beton, talne obloge, reparaturne, fugirne, zalivne in podlivne mase, injekcijske smole ter lepila. Novorazviti materiali pa so spodbudili in omogočili tudi razvoj novih postopkov za sanacije poško-

dovanih ali nezadostno nosilnih konstrukcij. Na tem področju velja omeniti predvsem injekcijske smole, lepila za izboljšanje stikov med starim in novim betonom ter gradbena lepila za lepljenje betona in kovin.

Problem, kako zapolniti fine razpoke v betonu, tako da bi razpokan beton zleplili v homogen element, je postal rešljiv z uporabo maloviskoznih, lahko tekočih injekcijskih epoksidnih smol.

Nov postopek sanacije betonov z injektiranjem epoksidnih smol smo začeli uvajati pred približno petnajstimi leti. Poleg raziskav za izbor ustreznih injekcijskih mas je bilo treba dobiti tudi primerno opremo in izdelati ustrezno tehnologijo za pripravo razpok ter injekcijskih mest. Potrebno pa je bilo tudi uvajanje in poučevanje delavcev, ki injektirajo.

Strjevanje epoksidne smole poteka kot kemična reakcija med osnovno smolo in trdilom. Pri pravem razmerju dobimo optimalne lastnosti – velike trdnosti, odpornost proti vplivom okolja. Presežek ene ali druge komponente pa povzroči, da ostane masa elastična, plastična ali pa se sploh ne strdi (preglednica 1).

Dodatek trdila (masni %)	Mehanske lastnosti po 10 dneh (prizma 4 × 4 × 16 cm) (N/mm ²)	
	upogibna trdnost	tlačna trdnost
10	2,5	—
	zelo deformabilna elasto-plastična masa	
20	43,1	72,8
25	49,4	77,1
29	53,8	63,0
35	7,5	plastična, gnetljiva masa
40		mehka gnetljiva masa
50		viskozna tekočina

Preglednica 1. Mehanske lastnosti ene od epoksidnih smol, pripravljene z različnimi količinami trdila

Zato je zelo pomembno, kako izvajalec pripravi injekcijsko maso. Prav tako so pomembni pogoji, v katerih injektira. Nizke temperature upočasnijo kemične reakcije strjevanja tako, da imamo lahko tudi po več dneh v razpokah namesto strjene smole viskozno tekočino. Previsoke temperature pa lahko kemične reakcije toliko pospešijo, da se pripravljena injekcijska masa hipoma strdi, in to še preden jo lahko vtisnemo v razpoke.

Injektiranje betonskih konstrukcij kot poseben sanacijski postopek izvaja v Sloveniji nekaj gradbenih podjetij. Pogostejše se uporabljajo epoksidna lepila za dobetoniranje. Ta dobro primejo na vlažno in suho podlago in so odporna proti učinkovanju alkalij. Uporabljajo se med gradnjo za izboljšanje delovnih stikov med starim in novim betonom, nastalih pri prekinitevah betoniranja ali pri sanacijah večjih poškodb betona.

armature (lamel) je glede na ostale možnosti za tovrstne sanacije bistveno cenejši, je pa hkrati zelo zahteven. Glede na navedeno smo pri raziskovalnem delu podrobno raziskali vse tiste parametre, ki vplivajo na kakovost in trajnost lepljenja (fizikalne karakteristike epoksidnih lepil, priprava površin betona in jekla, postopki lepljenja itd.). Razvili smo tudi lastno epoksidno lepilo za lepljenje jekla na beton (Be-pox.). Le-to je po svoji kakovosti vsaj enakovredno tovrstnim lepilom, ki so jih razvili v svetu.

4. SKLEP

Nove polimerne spojine, razvite v zadnjih petdesetih letih, so se v gradbeništvu uveljavile kot osnova za izdelavo vrste gradbenih materialov. Poznavanje njihovih lastnosti je osnova pri razvoju novih postopkov za sanacije različnih poškodb objektov. Praktična izvedba teh postopkov na

Preglednica 2. Lastnosti gradbenega epoksidnega lepila Be-pox

Mešalno razmerje komp. A : komp. B	komp. A : komp. B = 3 : 1 ut. delov
Gostota utrjene malte	1,6 g/cm ³
Tlačna trdnost	87,5 ± 4,0 N/mm ²
Upogibna trdnost	40,4 ± 3,2 N/mm ²
E – modul pri tlaku trenutni (5 min) trajni (1 ura)	9258 ± 210 N/mm ² 8120 ± 160 N/mm ²
Natezna trdnost	21,1 ± 2,8 N/mm ²
E – modul pri nategu	9978 ± 615 N/mm ²
Skrček pri strjevanju	0,1 %
Vpijanje vode	0,2 masnih %
Oprijemljivost na beton (MB 60,0) upogibni preizkus natezni preizkus strižni preizkus	10,3 ± 0,6 N/mm ² – porušitev v betonu 5,7 ± 1,4 N/mm ² – porušitev v betonu 13,8 ± 0,2 N/mm ² – porušitev v betonu
Oprijemljivost na jeklo strižni preizkus	24,0 ± 0,5 N/mm ²
Skladiščenje	eno leto pri temperaturi 5–25 °C

Epoksidno lepilo je mogoče uporabljati tudi za kakovostno povezavo betona in jekla. V praksi je to omogočilo razvoj postopka za sanacijo nosilnosti armiranobetonskih konstrukcij, po katerem manjkajočo armaturo nalepimo na beton. V zadnjih desetih letih smo na tak način sanirali številne armiranobetonske konstrukcije, kot so mostovi, nosilci, stropne plošče, stebri itd. Postopek dolepljenja

modelnih in konkretnih objektih odpira nove probleme, ki so spodbuda za razvoj novih tehnologij in novih materialov. Tako so nas preiskave silikonskih preparatov vključile v široko razvejano problematiko sanacij vlažnih zidov. Poznavanje epoksidnih smol pa nam je omogočilo izvedbo vrste sanacij poškodovanih ali nezadostno nosilnih betonskih konstrukcij.

KOROZIJA ARMATURE V BETONU

UDK 693.55:620.193

ERNEST TRINKAUS, BOŠTJAN GODEC, DAVID KENDA

POVZETEK

Članek obravnava procese pasiviranja jeklene armature v betonu, vpliv okolja na korozijo v odvisnosti od kakovosti betona in principe sanacije korodiranih armiranobetonskih konstrukcij.

THE CORROSION OF REINFORCEMENT IN CONCRETE

SUMMARY

The paper deals with the processes of passivisation of steel reinforcement in concrete, the influence of the environment on corrosion, depending on concrete quality, and the principles of repair of corroded reinforced-concrete structures.

1.0. UVOD

Beton je poznan kot trajen material, ki se na atmosferilijah s časom skoraj ne spreminja. Pri vpogledu v kratko zgodovino armiranega betona pa je bila strokovnjakom že ob samem začetku znana problematika korozije armature. Že pred prvo svetovno vojno so opozarjali na ta problem.

Po drugi svetovni vojni pa kot da je strokovna javnost, skupaj z uporabniki, pozabila na osnovne principe in s tem na zanesljive gradnje iz armiranega betona. Zaradi ugodne gradnje se je število armiranobetonskih konstrukcij naglo večalo. Pretiravali so predvsem pri prednapetih konstrukcijah, in to s tankimi stenami in z izrednimi dolžinami nosilcev.

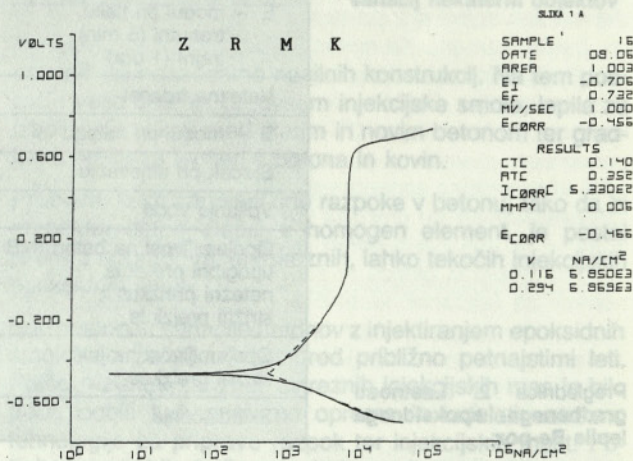
Sedaj pa že nekaj časa ugotavljamo, da so armiranobetonske konstrukcije, za katere je bila predvidena trajnost do 100 in več let, potrebne temeljitih sanacij že po približno desetih letih. To še posebej velja za mostove in za nekatere industrijske objekte.

Vzrok za propadanje je predvsem korozija armature, nastala zaradi pretankih in nekompaktnih prekrivnih plasti betona čez armaturo ter zaradi agresivnosti okolja.

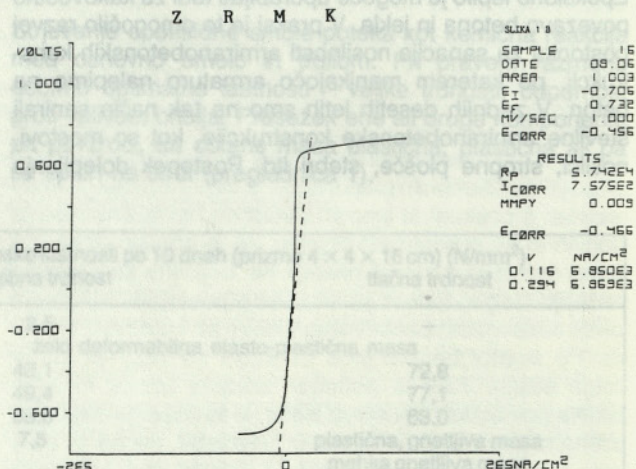
Poznavanje vpliva okolja na korozijo jeklene armature pomeni poznavanje lastnosti samega armiranega betona in spremembe betona ter armature zaradi agresivnega vpliva okolja.

Avtorji:

Dr. Ernest Trinkaus, dipl. inž. kemije, razisk. svetnik –
Boštjan Godec, dipl. inž. met., razisk. sodelavec –
David Kenda, dipl. inž. kemije



Slika 1.



Slika 2.

Pri vbetoniranju jekleno armaturo v betonu obda cementni kamen, ki ima v porah in kapilah vlago pH 13. Takšen pH vzdržuje ravnotežno stanje kalcijevih in alkalijskih hidroksidov (1.2.). Na močno alkalnost (pH 12,5–13,5), predvsem pri svežem betonu, vplivajo v glavnem alkalijski hidroksidi. (V portlandskem cementu je okrog 1,5% Na_2O in K_2O).

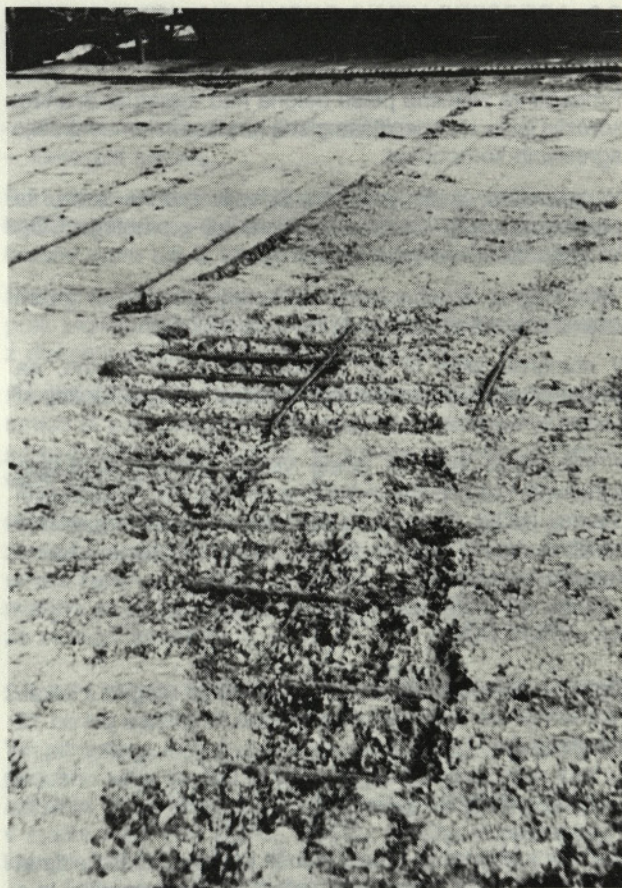
V tem alkalnem mediju v začetni fazi korodira površina armature, in sicer z zanemarljivo hitrostjo okrog 0,001 do 0,005 mm/leto, vendar dovolj veliko, da se tvori tanka zaščitna oziroma pasivna plast oksidov in cementnega kamna. S tem se pri tej alkalnosti ustvarijo pogoji za stabilnost jekla.

Proces je možno simulirati (sl. 1 in 2) z elektrokemično polarizacijo betonskega jekla, npr. kakovosti Č.0200 v vodnem izlužku svežega betona (3).

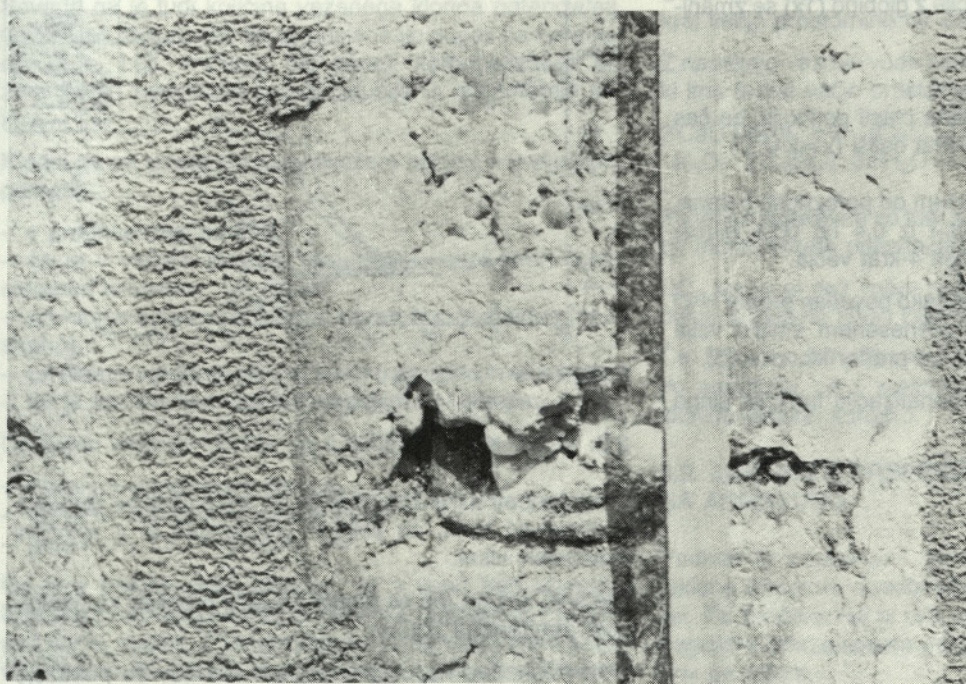
Glede na to, da se vpliv agresivnih komponent iz okolja, kot so CO_2 , SO_2 , kloridi, voda, O_2 itd., z globino manjša, je osnovni poudarek trajnosti kakovostnega betona na debelini prekrivne plasti čez armaturo (npr. DIN 1045).

Hkrati z debelino pa je pomembna tudi kompaktnost prekrivnega sloja betona. Osnovni pogoj za kompaktnost je doseganje čim manjšega vodocementnega faktorja ($V/c-f$). Če je $V/c-f$ večji od 0,4, se naglo povečuje poroznost, in to zaradi zvečanja in povezave kapilarnih por. S tem pa se tudi večja možnost prodora vlage in z njo Cl^- , O_2 , SO_2 , CO_2 .

Pri ugotavljanju vzrokov za korozijo v praksi vidimo, da so najpogostejši začetki v pretanki debelini prevleke betona v povezavi s poroznostjo in z lasnimi razpokami (sl. 3 in 4).



Slika 3. Vpliv karbonatizacije in izluževanja $\text{Ca}(\text{OH})_2$ do globine okrog 10 cm. Posledici sta močno izrabljena propadajoča plast zaščitnega betona in korozija armature.



Slika 4. Lokalne korozijske poškodbe zaradi pretanke in nekompaktne zaščitne plasti betona.

2.0. AGRESIVNI VPLIVI OKOLJA NA ARMIRANOBE- TONSKE KONSTRUKCIJE

Propadanje zaščitne plasti betona nad armaturo in s tem korozija jekla sta specifična glede na vrsto in koncentracijo agresivnih komponent.

V naravnem okolju je lahko to vpliv mehke vode, še posebej pri večji količini raztopljenega – prostega CO_2 , ko pride do izluževanja $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

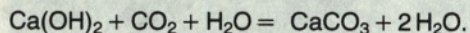
Vpliv CO_2 iz ozračja povzroča karbonatizacijo in s tem zmanjšanje alkalnosti površinske plasti betona.

V obmorski klimi in ob avtocestah, ki jih solimo, na armiranobetonske konstrukcije močno vplivajo kloridi, ki so nevarni predvsem za korozijo armature.

V industrijski klimi je poleg vpliva kloridov in drugih agresivnih soli predvsem kritična emisija SO_2 in dušikovih oksidov (NO_x). Ti mediji imajo velik vpliv na propadanje zaščitne plasti betona, čemur sledi intenzivna lokalna korozija armature.

2.1. VPLIV CO_2

Ogljikov dioksid iz industrijskega ozračja reagira z alkalnim kalcijevim hidroksidom v betonu in znižuje pH od 12 do okrog 9:



Kalcijev karbonat je precej slabše topen od hidroksida in lahko pri majhni poroznosti začepi pore na površini in s tem upočasni nadaljnje propadanje.

Pri normalnem betonu poteka karbonatizacija počasi v globino, glede na izkušnje približno 1 cm v desetih letih (4). Hitrost (dx/dt) karbonatizacije z globino (x) se zmanjšuje:

$$dx/dt = k \sqrt{t}$$

Torej, če bomo debelino zaščitne plasti podvojili, bo čas karbonatizacije takega sloja 4-krat daljši ($x = k\sqrt{t}$).

Konstanta (k) je odvisna predvsem od poroznosti betona, tako je npr. pri povečanju $V/c-f$ iz 0,4 na 0,75 hitrost karbonatizacije zaradi poroznosti 4-krat večja.

S karbonatizacijo pa je možen enako povečan prodor H_2O Cl^- in O_2 do kovine. Tako v prenesenem smislu velja zakon kvadratnega korena tudi za prodor kloridov (5).

Pri razpokanem betonu je karbonatizacija funkcija širine in globine razpoke (6):

$$Y = k\sqrt{w \cdot t}$$

kjer so:

Y – globina karbonatizacije v razpoko,
 w – širina razpoke,
 t – čas,
 k – konstanta.

2.2. ODVISNOST PASIVNOSTI ARMATURE OD pH IN KOROZIJSKEGA POTENCIALA

S karbonatizacijo se znižuje pH in zmanjšuje kompaktnost betona, s tem pa nastane potencialna nevarnost za korozijo armature.

Jeklo je v nevtralni raztopini pasivno samo pri majhnih potencialih (manj kot 440 mV), v nasprotju s pH 12–13, kjer je pasivno v širokem območju potencialov (od –600 do +200 mV).

V prvem primeru je jeklo mogoče zaščititi samo s ponovno alkalizacijo ali s katodno zaščito.

Pri alkalnosti betona pH 13,5 bo ravnotežni korozijski potencial:

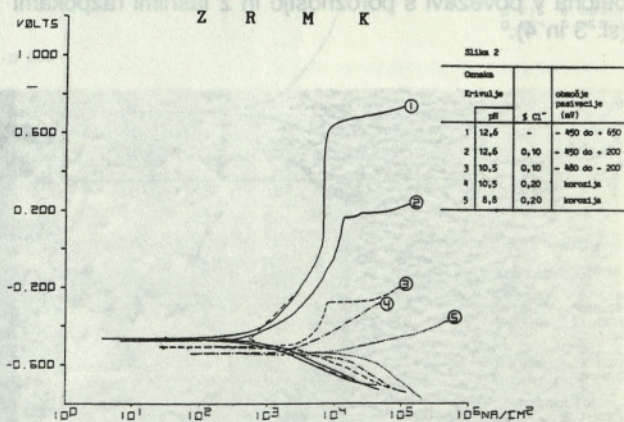
$E_{\text{kor}} = 0,085 - (0,0591 \cdot \text{pH}) = -824 \text{ mV (SHE)}$ (glede na vodikovo polcelico oziroma baker/baker sulfatno polcelico – 1140 mV).

Pri navedenem potencialu je izmerjena hitrost korozije jekla minimalna (1–5 $\mu\text{m}/1$).

Če niso prisotni Cl^- , SO_4^{4-} itd., tudi zmanjšanje pH do 8,5 zaradi karbonatizacije še ne bo povzročilo korozije, kar se pogosto opaža pri starih objektih.

Do korozije pa lahko pride pri močnem vdoru vlage in z njo kisika že pri pH 10, pri hkratni prisotnosti Cl^- pa tudi pri pH 11,5.

Pri takšnih vplivih se poškoduje zaščitna ovojnica železovega oksida in cementnega kamna. Še posebej hitro predrejo takšno bariero Cl^- ioni (sl. 5).



Slika 5.

2.3. VPLIV KLORIDOV

Armiranobetonske konstrukcije so izpostavljene kloridom v obmorski klimi, ob soljenih avtocestah in v določeni industrijski klimi.

Izkušnje kažejo, da so kloridi največji problem za obstojnost armiranega betona.

Prve poškodbe na objektih zaradi kloridov se pokažejo

že po nekaj letih, čemur so običajno vzrok napake pri gradnji.

Pogosto pa je treba objekte, izpostavljene agresiji, temeljito sanirati že po približno desetih letih.

Korozijska agresivnost kloridnih ionov izhaja iz velike prodornosti in sorazmerno dobre topnosti korozijskih produktov. Tako Cl^- deluje kot pospeševalo korozije in se prenaša z vlago naprej skozi beton in ob armaturi v betonu.

Glede na problem korozije zaradi Cl^- je treba tudi vedeti, kdaj in v kakšni količini so kloridi nevarni.

Klorid v obliki CaCl_2 je poznan kot dodatek za pospeševanje strjevanja betona. Priporočljiva količina je do 1,4 % CaCl_2 oziroma 2 % CaCl_2 (oziroma 2 % $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) na težo cementa.

Druga možnost prisotnosti kloridov v svežem betonu je, če pri pripravi betona dodajamo morsko vodo. Določeno količino soli lahko prispeva tudi agregat, npr. morski pesek.

Navedena prisotnost kloridov je za določene objekte sprejemljiva, če se kontrolira kakovost cementa. Pomembna je predvsem kakovost portlandskega cementa z zadostno količino trikalcijskega aluminata (C_3A), ki veže raztopljene kloride v netopno obliko.

Pri tem je treba upoštevati še količino C_3A , in sicer:

- da se ne porabi ves C_3A in s tem preveč zniža pH,
- pH znižujejo tudi drugi dodatki (npr. aktivna polnila na osnovi SiO_2),
- porabi se za vezavo sadre.

Po drugi strani pa lahko prevelika količina C_3A povzroči občutljivost za sulfatno agresijo.

Seveda pa je tudi količina vezanega klorida potencialna nevarnost za korozijo, če se poslabšajo pogoji pasiviranja armature, npr. znižanje pH zaradi karbonatizacije ali zmanjšanje potenciala zaradi izgubljenih istosmernih tokov.

Kloridi pa ne smejo biti niti v svežem betonu v naslednjih primerih:

- v prednapetem betonu,
- če je v vlažnih pogojih izpostavljen izgubljenim istosmernim tokovom,
- pri neposrednem kontaktu s pocinkano pločevino (npr. streho),
- pri hkratni vgradnji več vrst kovin (npr. jeklo in aluminij),
- ko je izpostavljen vlažnim pogojem in sulfatom.

Če beton vsebuje kloride, so ti lahko v obliki:

- vezani v cementnem kamnu,
- fizikalno adsorbirani na stene por,
- prosti ioni (Cl^-) v raztopini por.

Če je v betonu dosti kloridov, so v vseh treh oblikah. Korozijo povzročajo samo ionski (Cl^-), raztopljeni v raztopini por in razpok. Z izsuševanjem se lahko koncentracija Cl^- lokalno še zveča in agresivnost potencira. Kritična

meja količine Cl^- , nad katero nastaja korozija, je odvisna od več faktorjev (sl. 2); ti so:

- pH,
- kakovost jekla,
- elektrokemični potencial armature,
- kakovost betona.

Pri armiranem betonu običajne kakovosti je kritična meja količine Cl^- okrog 0,4 ut. % na cement. Pri prednapetem betonu mora biti ta koncentracija manj kot 0,04 % (9).

Prehod Cl^- v beton je možen skozi razpoke, z difuzijo in prek kapilar. Kapilarni prehod je pri kakovostnem betonu z diskontinuirnimi kapilarami malenkosten.

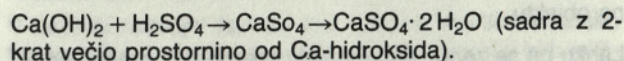
Razpoke so glavni vzrok za kontaminacijo armature. Pri tankih in poroznih prekrivnih plasteh betona pa je lahko problematična tudi difuzija, ki poteka po principu Fickovega zakona.

Prehajanje kloridov oz. koncentracija Cl^- se z globino zmanjšuje, zato je važna debelina sloja. Pri vdoru Cl^- v utrjeni beton je vezava Cl^- s cementnim kamnom zamenljiva in so že majhne koncentracije soli lahko kritične za korozijo armature.

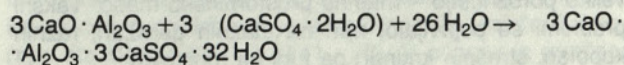
2.4. VPLIV SO_2 IN DUŠIKOVH OKSIDOV

Viri plinastega SO_2 so predvsem kurišča oziroma dimniki, podobno velja za NO in NO_2 , ki pa sta prav tako tudi v izpušnih plinih avtomobilov. Ti plini se lahko absorbirajo v zračni vlagi (kot H_2SO_3 , H_2SO_4 , HNO_3) in povzročajo kisel dež (s pH tudi do 4).

Takšen kisel dež oz. vlaga z navedenimi kislinami povzroča površinsko nevtralizacijo betona in rušita strukturo zaradi povečanja prostornine produktov:



Z nadaljnjo vezavo vode sadra prehaja v etringitno obliko, ki ima 8-krat večjo prostornino:



Posebno agresivne so tudi soli (NH_4) SO_4 in MgSO_4), tako pri industrijskem onesnaženju kakor tudi v vodi.

SO_2 kot kisel dež vpliva predvsem na pospešeno propadanje prekrivne plasti betona in na širjenje razpok.

Če SO_2 kot plin difundira v pore in v razpoke betona do armature, pa z zračno vlago in s kisikom povzroča aktivno lokalno korozijo.

3.0. MOŽNOSTI PREPREČEVANJA VPLIVA OKOLJA NA ARMATURO

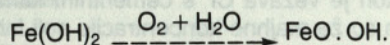
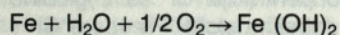
Večkrat je poudarjeno dejstvo, da je najboljša zaščita jeklene armature dovolj debela plast kompaktnega betona. Ta debelina naj bi bila minimalno 2,5 cm, v klimatskih pogojih z zmrzovanjem minimalno 5 cm, pri agresiji kloridov pa 10 cm.

Kadar zaradi različnih vzrokov potrebna debelina prekrivnega betona ni optimalna, so potrebni dodatni ukrepi, in sicer:

- dosledno kontroliranje kakovosti cementa z omejevanjem prostega CaO in MgO,
- modifikacija receptur betonov z dodatkom aerantov, plastifikatorjev in polimernih veziv,
- dodatne izolacijske prevleke armature ali površine betona,
- dodatna protikorozijska zaščita armature s premazi, cinkanjem, z inhibitorji korozije ali s katodno zaščito,
- uporaba nekorodirajoče armature.

4.0. PRINCIPI SANACIJE KORODIRANE ARMATURE

S korozijo nastaja v prisotnosti zadostne količine H_2O in O_2 rdeče rjava plast hidratiziranih oksidov. Takšno plast imenujemo rja in ima okrog 3-krat večjo prostornino:



Korozija na armaturi tako odriva izolacijsko plast betona s površine armature in korozijo še pospešuje.

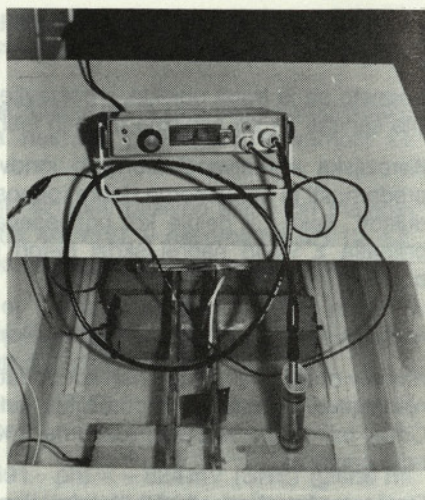
Ta oblika korozije je vidna v obliki razpok na površini, sledijo korozijski madeži in, končno, odpadanje prekrivnega betona in korodiranje armature.

Korozija pa se lahko pojavi pri nizkem pH pri pomanjkanju H_2O in ob prisotnosti majhnih količin akceleratorjev korozije, npr. Cl^- do črno obarvane rje (Fe_3O_4), pri čemer se prostornina manj poveča. Takšna korozija se vizualno ne opazi, lahko pa jo zaznamo z elektrokemičnimi meritvami na objektu.

Lahko pa se zgodi, da se objekt prej poruši, preden sploh opazimo kritičnost. To še posebej velja za prednapete konstrukcije ali klasične armiranobetonske prefabrikate z veliko poroznostjo – majhno prostorninsko maso. Takšni problemi se pojavljajo, npr. na etažnih garažah, raznih kupolah, strešnih kritinah pa tudi na mostovih.

Kritičnost takih objektov ocenjujemo na podlagi količine prostih in vezanih kloridov, pH, zaščitne sposobnosti betona in korozijskih potencialov (sl. 6).

Korozijske poškodbe, nastale s karbonatizacijo in vplivom SO_2 , so lokalne in jih je mogoče lokalno sanirati.



Slika 6. Merjenje korozijskih potencialov.

Saniranje obsega:

- odstranitev poškodovanega betona,
- čiščenje armature,
- po potrebi dodatno zaščito armature,
- izravnavo površin z betonom, s polimernim betonom, z epoksidno malto,
- po potrebi dodatno zaščito površine.

Preden pa se lotimo potrebne sanacije, je treba analizirati stanje armature in betona, v katerem je ta armatura.

Analizirajo se:

- stopnja korodiranosti armature in vrsta korozije,
- karakteristike obstoječe armature,
- količina akceleratorjev korozije,
- stopnja zaščitne sposobnosti betona.

Če je armatura korozijsko ogrožena s Cl^- , je treba pri sanaciji odstraniti kontaminiran beton in tudi korozijske produkte z armature. Sanacija bo uspešna le tedaj, če smo s posegom odstranili Cl^- iz armature in njene bližine oziroma uspešno sanirali okolico armature in prekrivno plast ali preprečili ponovni dostop vlage.

Raziskave kažejo, da so sanacije armiranobetonskih objektov v vlažnih pogojih pod vplivom Cl^- realno izvedljive, če armatura še ni kontaminirana s kloridom. Najboljše rezultate dajejo sanacije, kjer je strokovna izvedba lokalnih popravil kombinirana s katodno zaščito. Če pa je armatura že v večjem obsegu načeta zaradi Cl^- , je tudi katodna zaščita vprašljiva.

LITERATURA

1. K. Kendall, Industrial corrosion 3, 1, 1985 (17).
2. Waldemar, Ochsner, W. Semet, F. Stock, Bautenschutz + Bautreue 3, 1980 (104).
3. E. Trinka, V. Kuhar, D. Čavlek, Poročilo raziskovalne naloge RSS »Preprečevanje korozij jeklene armature v betonu II. del 1987«.
4. M. Hossler, Das Deutsche Malerblatt, 7, 1984 (786).
5. R. D. Browne, Seminar »Cathodic protection of concrete structure« 7. 7. 1988, London (8).
6. A. W. Beeby, Ciria UEG. Cement and concrete association department of energy, technical report No. 1 (1987).
7. M. Pourbaix, Atlas of electrochemical Equilibria in aqueous solution Nace, Houston, ZDA 1974 (307).
8. P. C. Kreijger, HERON, Vol. 22, No. 1 (1977).

PREDSTAVITEV SODOBNEGA STATIČNEGA PENETROMETRA

UDK 621.22:622.143

MARKO FAŠALEK, IGOR AJDIČ

POVZETEK

V uvodu članka je podana kratka zgodovina raziskav s statičnim penetrometrom. Sledi opis delovanja sodobnega električnega statičnega penetrometra firme ISMES s prikazom možnosti interpretacije rezultatov. V sklepu pa sta podana dva praktična primera meritve in interpretacije penetracije v Ljubljani in Kopru.

INTRODUCING THE MODERN STATIC PENETROMETER

SUMMARY

In the paper, a brief history of geomechanical investigations using the static penetrometer is first given. This is followed by a description of the method of operation of the modern, electrically-controlled static penetrometer manufactured by ISMES of Bergamo, indicating the different ways in which the results can be interpreted. The use of this instrument is demonstrated on two practical examples of measurements and interpretation of results, one in Ljubljana and one in Koper.

1. UVOD

Za projektiranje temeljenja zahtevnih objektov je treba opraviti detaljne geomehanske terenske in laboratorijske preiskave. V drobnozrnatih zemljinah – drobnih prodih, peskih, meljih in glinah – se klasične geomehanske terenske preiskave, geomehanske vrtnice s kontinuirnim jedrovanjem, pogosto dopolnijo z raziskavami s statičnim penetrometrom. Slednje postajajo vse pomembnejše zaradi razmeroma hitrega in cenejšega pridobivanja kakovostnih geotehničnih podatkov z meritvami »in situ«.

V članku želimo predstaviti sodoben penetrometer, ki ga je ob koncu leta 1988 nabavil GIP Gradis ob finančni pomoči ZRMK. Odločitev za nabavo omenjene naprave je bila sprejeta zaradi povečanja gradnje zahtevnih objektov na slabše nosilnih tleh, ki terja posebno vrsto temeljenja in ustrezen fond geotehničnih podatkov.

2. ZGODOVINA

Statični konusni penetrometer so v obliki, podobni današnji, začeli uporabljati Nizozemci leta 1934. Metoda preiskave s statičnim penetrometrom je na Nizozemskem še posebno uporabna, ker se tam pojavljajo drobnozrnati sedimenti rečnih delt. V tej začetni fazi so rezultate statičnih penetracij potrebovali predvsem za določanje nosilnosti kolov, zabitih v peščene plasti.

Kasneje se je metoda, imenovana »Dutch sounding test«, razširila po vsem svetu. V Jugoslaviji jo je uvedel leta 1957 Institut za ispitivanje materiala SR Srbije. V Panonski nižini namreč prevladujejo drobnozrnate zemljine, ki so posebno primerne za tovrstne preiskave. V SR Sloveniji so raziskave s penetrometrom izvajale do leta 1988 raziskovalne ustanove, in sicer Geotehnika Zagreb, IMS Beograd ter Geološki zavod Ljubljana.

V začetni razvojni fazi so vse količine merili mehansko ter pretežno z vizualnim odčitavanjem (pritiski v hidravličnem sistemu). Ob koncu šestdesetih let pa so začeli intenzivneje uporabljati električne penetrometre s praktično zveznim zajemom in z računalniško obdelavo podatkov. V nekaterih državah je tak preizkus že standardiziran (npr. standard ASTM D 3441 - 79). V pripravi je predlog mednarodnega standarda za preiskave s statičnim penetrometrom, ki naj bi ga Mednarodno združenje za mehaniko tal in fundiranje (ISSMFE) potrdilo v letošnjem letu.

3. OPIS NAPRAVE IN PRINCIP DELOVANJA

Izdelovalec penetrometra, ki ga želimo predstaviti, je italijanska firma **ISMES** (kratica za: Istituto sperimentale modelli e strutture s.p.a.). Ta je že štiri desetletja aktivna na področju razvoja in raziskav, testiranja raziskovalne opreme, elektronskih sistemov ter instrumentacije za reševanje problemov projektiranja in varnosti velikih gradbenih objektov, okolja in elektrarn. Sedež firme je v Bergamu.

Penetrometer, ki ga uporabljamo, je montiran na tovornjaku **TAM 190 T15B**. Pretežni del opreme je nameščen v posebnem kontejnerju, ločeno od voznikove kabine (fotografija 1).

Avtorja:
Marko Fašalek, dipl. inž. gradb., ZRMK Ljubljana, razisk. sodel.
Mag. Igor Ajdič, dipl. inž. geol., GIP GRADIS Ljubljana



Fotografija 1. Terensko vozilo s statičnim penetrometrom

Glavne enote, potrebne za delovanje naprave, so:

- hidravlična črpalka,
- priprava za vtiskovanje,
- merilne konice,
- sistem za sprejem in obdelavo podatkov,
- stabilizatorji,
- sistem za sidranje,
- drogovje.

Osnovni vir energije za penetriranje daje **hidravlična črpalka**, ki je potrebna tudi za delovanje kamiona.

Priprava za vtiskovanje sestoji iz okvirja, v katerem sta dve vpenjalni čeljusti za fiksiranje drogovja pri penetriranju.

V standardni opremljenosti je pet **merilnih konic**: tri t. i. **standardne** (električne) konice ter dve t. i. **piezokonice**, ki poleg standardnih količin (odpor na konici, odpor na plašču ter dve inklinaciji) merita tudi porne tlake vode v zemljini. Meritve potekajo v zelo občutljivih električnih celicah na osnovi registriranja spremembe električnega toka (»strain-gauges«). Z razpoložljivimi konicami lahko merimo v območju naslednjih vrednosti:

odpor na konici (Qc): 0–20 ali 0–50; ali 0–80 Mpa,
odpor na plašču (Fs): 0–0,5 ali 0–0,7 Mpa,
porni tlak (U): 0–35 bar,
nagib (I1, I2): 0–20°.

Konico prek vmesnega člana spojimo na drog po predhodni spojitvi na električni kabel, ki poteka skozi drogovje. Na voljo je 100 m drogovja.

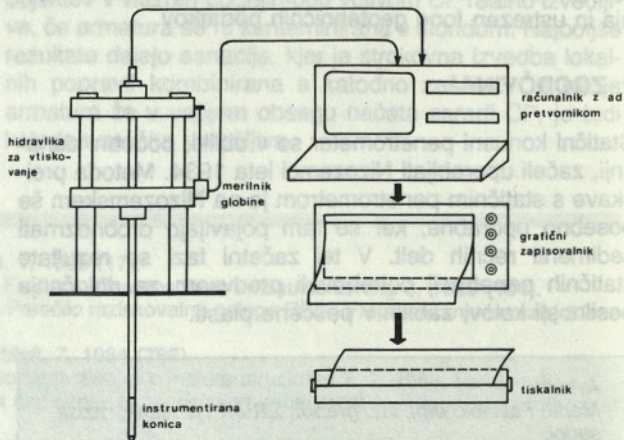
V zvezi s konicami naj omenimo, da obstajajo izvedbe, ki poleg že omenjenih količin merijo tudi trdnostno-deformacijske lastnosti in napetostno stanje v zemljini (kombi-

nacija s presiometrom), seizmične lastnosti zemljine in standardne količine pri vibriranju tal.

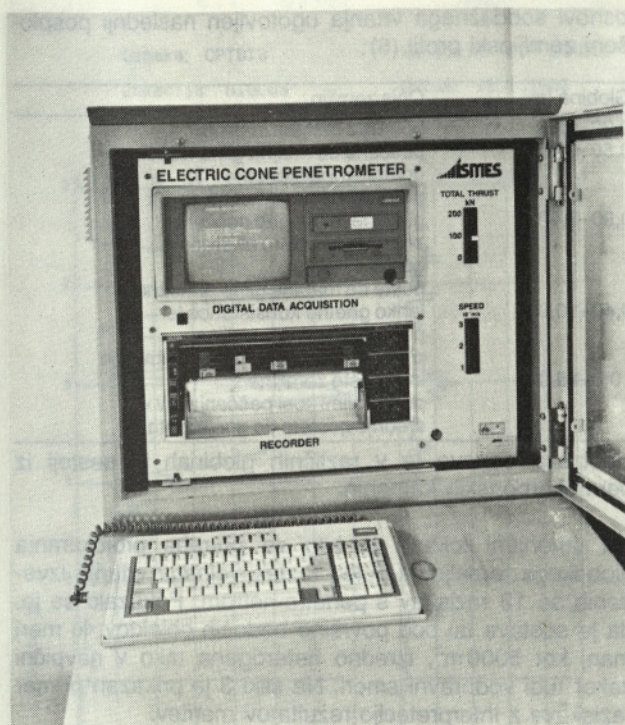
Sistem za sprejem in obdelavo podatkov (data acquisition system) sestavljajo naslednje enote:

- vir električne energije s pretvornikom,
- računalnik PC s tipkovnico in z monitorjem,
- enkoder za merjenje globine,
- senzorji za posamezne količine (v merni konici),
- grafični registrator posameznih količin po globini,
- povezovalni električni kablji,
- indikator hitrosti penetriranja,
- indikator celotne obremenitve naprave,
- tiskalnik,
- risalnik.

Sistem za sprejem in obdelavo podatkov je prikazan na sliki 1 in na fotografiji 2.



Slika 1. Shema za sprejem in obdelavo podatkov



Fotografija 2. Sistem za sprejem in obdelavo podatkov

Stabilizatorji sestojijo iz štirih, v različnih smereh gibljivih podstavkov, nameščenih na navpično gibljivih drogovih. Stabiliziranje pomeni dvig kamiona na omenjene podstavke v vodoravno lego, da bi se dosegle ustrezne navpične smeri penetracijskega drogova.

Sistem za sidranje je vključen v obstoječo hidravliko in ga uporabimo kot protiobtežbo, če odpor pri penetriranju presega težo celotne naprave. V standardni opremi so trije pari sider različnih velikosti za različne tipe tal.

3. MERJENJE

Raziskave se izvajajo med vtiskavanjem standardizirane konice v tla s konstantno hitrostjo 2 cm/s, pri čemer se beleži odpor proti prodiranju, in sicer ločeno za konico in za plašč (obod nad standardizirano konico). Postopek je podrobno definiran v standardu ASTM D 3441-79.

Na opisani način dobimo praktično **zvezni zemljinski profil** z že omenjenimi geotehničnimi parametri, ne da bi se prodiranje konice z drogovjem ustavilo med dvema manevroma, kar je novost pri preiskavah s penetrometrom. »Klasično« so merili na vsakih 20 cm, ločeno samo s konico, skupaj s konico in plaščem ter s penetracijo celotnega drogova, pri čemer so merjene vrednosti vizualno odčitavali s skale na manometru.

4. OBDELAVA PODATKOV

Podatki, dobljeni z meritvami, se v računalniku (v RAM oz. na disk) beležijo v električnih enotah (mV/V/Mpa oz. mV/V/ stopinjo) in jih je treba za nadaljnjo obdelavo ustrezno pretvoriti. Postopek (t. i. elaboriranje) se izvede

s posebnim programom ob upoštevanju pretvornikov za pretvarjanje iz električnih količin v mehanske, začetnih in končnih ničelnih odčitkov ter odčitkov vhodne električne napetosti v merilnem sistemu.

Omenjeni program je sestavni del osnovne opreme, sami pa smo razvili programsko opremo (software) z naslednjimi opcijami:

- branje podatkovne baze (penetracije),
- vpis globinskih intervalov za klasifikacijo in oceno geotehničnih parametrov,
- klasifikacija in izračun geotehničnih parametrov,
- zapis izračunanih vrednosti v novo podatkovno bazo,
- risanje rezultatov na monitor,
- risanje rezultatov na risalnik,
- izračun nosilnosti pilotov na osnovi rezultatov penetracij.

Z našo programsko opremo lahko ocenjujemo sestavo in lastnosti tal za **poljubne odseke** glede na globino, odvisno pač od zahtevane natančnosti interpretacije. Kot vodilo za ustrezen izbor odsekov rabi poleg izrazitih sprememb vrednosti Q_c ter razmerja $F_s/Q_c \times 100\%$ tudi raztros obeh vrednosti okoli aritmetične sredine, ki se med obdelavo sproti računa.

5. UPORABNOST REZULTATOV

Glede na povedano sta osnovna rezultata meritev s penetrometrom **odpor na konici (Q_c) in odpor na plašču (F_s)** za dano globino. Poleg navedenih vrednosti se med preiskavo stalno meri **nagib** (inklinacija) konice v dveh smereh, s čimer je mogoče natančno korigirati dejansko globino mernega mesta ter po potrebi tudi **porne tlake** (U).

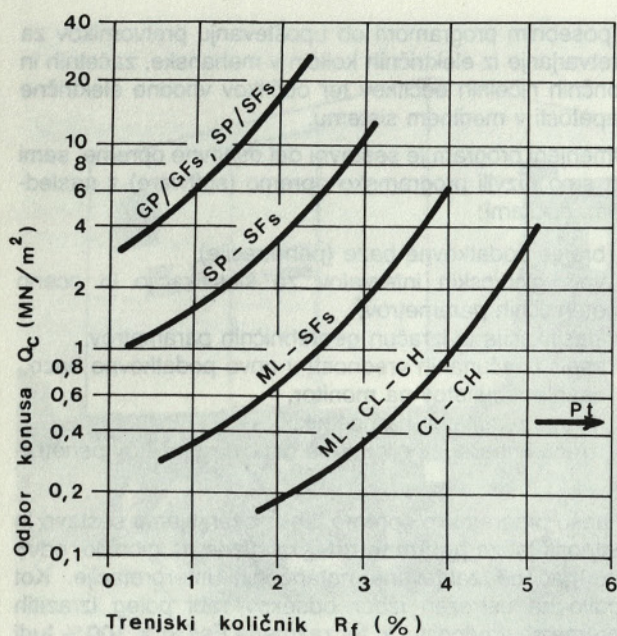
Z vrednostma Q_c ter $F_s/Q_c \times 100\%$ je mogoče oceniti sestavo tal. Seveda je klasifikacija bolj splošna, kakor jo pač lahko izdelamo na osnovi vizualnega popisa vzorcev iz vrtn. Po drugi strani pa kažejo posnetki s penetrometrom zaradi kontinuirnega zajemanja podatkov jasne prehode med sloji zemljin z različnimi mehanskimi lastnostmi, pri čemer je izključena možnost subjektivnega popisa.

Za določanje sestave tal so se v praksi uveljavili različni klasifikacijski diagrami. Kot primer je na sliki 2 narisana diagram po Robertsonu in Campanelli (3).

Iz prikazanega diagrama je razvidno, da je na osnovi rezultatov Q_c in F_s možno ločiti glavne skupine zemljin. Obstajajo tudi diagrami z natančnejše opredeljenimi skupinami, vendar je potrebna pri aplikaciji določena pazljivost zaradi možnih razlik med našimi in referenčnimi tipi tal.

Za podrobno klasifikacijo zemljin je pomemben tudi **podatek o pornih tlakih**. S penetrometrom firme ISMES lahko v kontinuirnem profilu na osnovi sprememb pornih tlakov registriramo tanke drenažne (ali pa slabo prepustne) vložke znotraj navidezno homogenega sloja, kar je pomemben podatek za študij konsolidacije zemljin.

Poleg klasificiranja je mogoče na osnovi rezultatov Q_c in



Slika 2. Klasifikacijski diagram po Robertsonu

Fs oceniti osnovne geotehnične parametre tal, kot npr. (2, 3) :

- relativno gostoto (*),
- ekvivalentno vrednost udarcev pri standardnem preizkusu s penetrometrom (SPT),
- modul stisljivosti,
- koeficient stisljivosti,
- nedrenirano strižno trdnost (**),
- strižni kot (*),
- občutljivost (**).

Opomba:

(*)... samo za nekoherentne zemljine,

(**)... samo za koherentne zemljine.

Empirične zveze med Q_c oz. F_s ter omenjenimi geotehničnimi parametri so podane v številni literaturi in se stalno dopolnjujejo. Različne izračune geotehničnih parametrov iz rezultatov preiskav s penetrometrom pregledno obravnava Meigh (3). Seveda je treba ocene, dobljene iz empiričnih zvez, ustrezno preveriti, zato je smiselno kombinirati raziskave s penetrometrom z dolgotrajnejšim raziskovalnim vrtnjem ter z laboratorijskimi preiskavami odvzetih vzorcev.

6. PRIKAZ NEKATERIH REZULTATOV PENETRACIJ

S statičnim penetrometrom firme ISMES je bilo v slabe pol leta obratovanja narejenih prek 1000 m penetracij. S tem so bile že v obdobju vpeljavanja tovrstnih preiskav dobljene koristne informacije o različnih vrstah zemljin. Kot primer navajamo rezultate preiskav na dveh lokacijah: Biološko središče v Ljubljani in Zavarovalnica Triglav v Kopru.

Za območje bodočega **Biološkega središča** je bil na

osnovi sondažnega vrtnja ugotovljen naslednji posplošeni zemljinski profil (6):

Globina (m)	Opis zemljin
0,30–0,50	humus z meljem in glino
0,50–0,90	peščena do meljna glina težko gnetne konsistence
0,90–8,40	prodno peščeno meljne do glinaste ter meljno peščene zemljine v rahlem ali srednje gostem stanju
0,40–10,0	puste do mastne gline pretežno lahko gnetne konsistence ter peščeno meljne zemljine
10,0–15,0	prodne do gruščno peščeno meljne in glinaste zemljine s preperelimi kosi peščenjakov v srednje gostem do gostem stanju

Hribinska osnova je v različnih globinah in sestoji iz permokarbonskih kamenin.

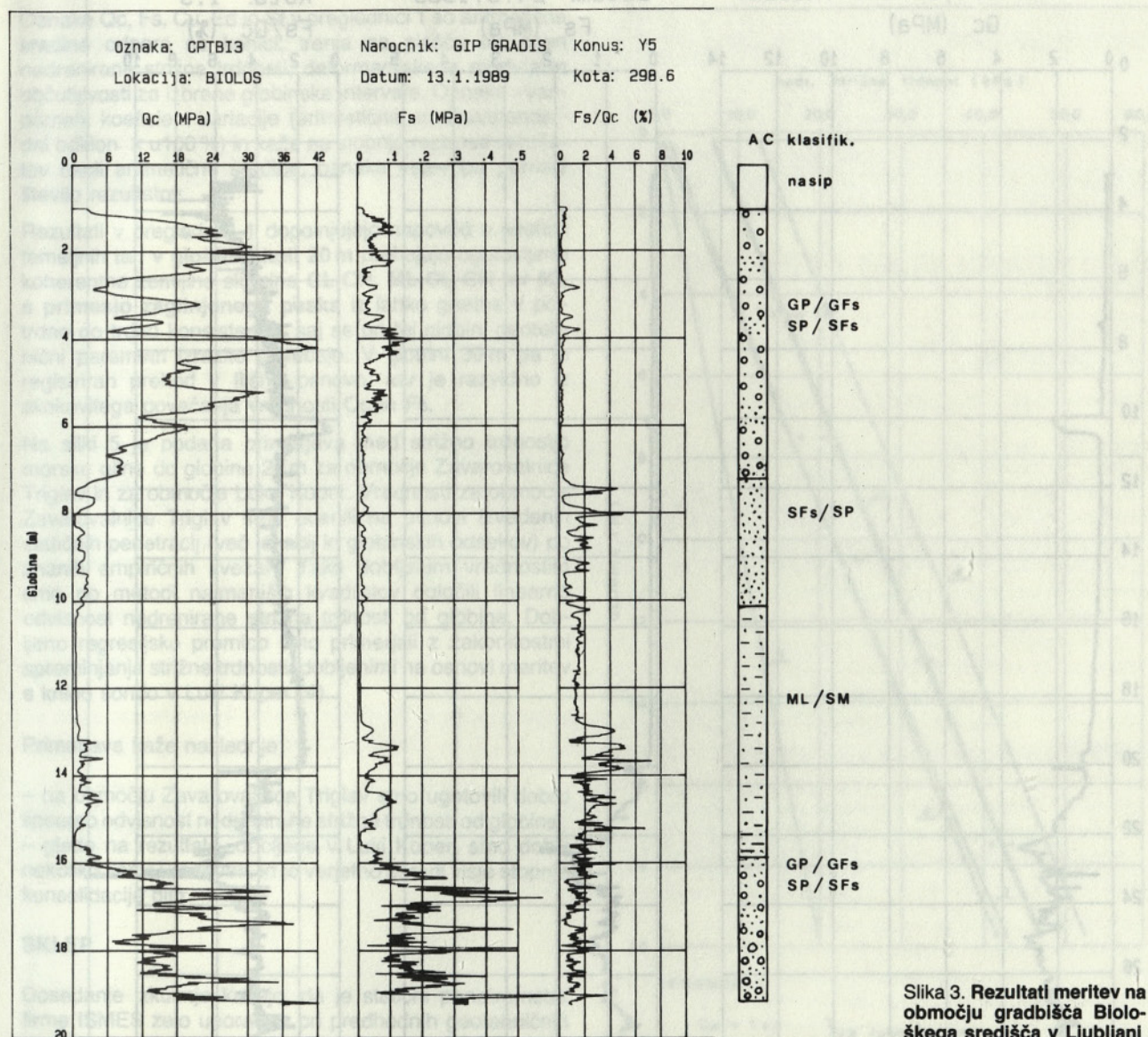
Na omenjeni lokaciji je bilo za potrebe projektiranja globokega temeljenja poleg raziskovalnega vrtnja izvedenih še 13 raziskav s penetrometrom. Pokazalo se je, da je sestava tal pod površino bodočih objektov, ki meri manj kot 5000 m², izredno heterogena tako v navpični kakor tudi vodoravni smeri. Na sliki 3 je prikazan primer raziskave z interpretacijo rezultatov meritev.

Iz primera (sl. 3) je tudi razvidno, da je debelina koherentnih zemljin v srednjem delu profila nekoliko večja od napovedane. Hribinska osnova na končni globini penetracije (19 m) še ni bila registrirana.

V drugem primeru pa je podan rezultat penetracije iz območja bodočega objekta Zavarovalnice Triglav v Kopru,

ZEM

40
LET



kjer so predhodna sondažna vrtanja (5) pokazala naslednjo tipično sestavo tal do flišne osnove (od zgoraj navzdol):

- morski koherentni sedimenti do globine največ 22 m tipa **CH – CI**, pretežno lahko gnetne konsistence,
- cona pustih do mastnih glin tipa **CI – CH**, težko gnetne do poltrdne konsistence,
- flišna preperina debeline 0 – 1.2 m,

– fliš (na globini 30 do 40 m pod površino terena).

Tipičen rezultat penetracije je podan na sliki 4:

S slike 4 je razviden prehod glinastih morskih sedimentov lahko gnetne konsistence v globini 20 m v cono glin težko gnetne konsistence in nato v globini 39 m v flišno osnovo. Podrobnejša računalniška obdelava na interaktivno izbranih globinskih odsekih je podana v preglednici 1:

Globina (m)	Qc (MPa)	var (%)	ste	Fs (MPa)	var (%)	Fs/Qc (%)	var (%)	Cu (KPa)	St	Ed (MPa)	Klasifikacija
0,0– 3,0	prebijanje umetnega nasipa z neinstrumentirano konico										
3,0– 6,0	0,21	23	296	0,011	7	5,1	16	12,5	1,2	1,5	CL-CH
6,0–15,0	0,47	77	895	0,012	21	2,6	22	27,9	2,3	3,7	ML-CL-CH
15,0–20,0	0,69	21	497	0,015	10	2,2	16	41,3	2,8	3,6	ML-CL-CH
20,0–23,0	1,91	38	302	0,096	57	5,0	24	114,9	1,2	4,2	CL-CH
23,0–27,0	2,41	14	400	0,110	20	4,6	40	144,9	1,3	5,9	ML-CL-CH
27,0–39,0	2,48	40	1152	0,099	52	4,0	22	148,9	1,5	6,1	ML-CL-CH
39,0–39,2	10,81	19	23	0,557	5	5,2	18	649,5	1,2	21,1	ML-SM

(opomba: prehod v flišno osnovo)

Preglednica 1: Primer interpretacije penetracije na območju Zavarovalnice Triglav v Kopru

Oznaka: ZT3A

Lokacija: ZAV TRIGLAV

Narocnik: GE KOPER

Datum: 24.5.1989

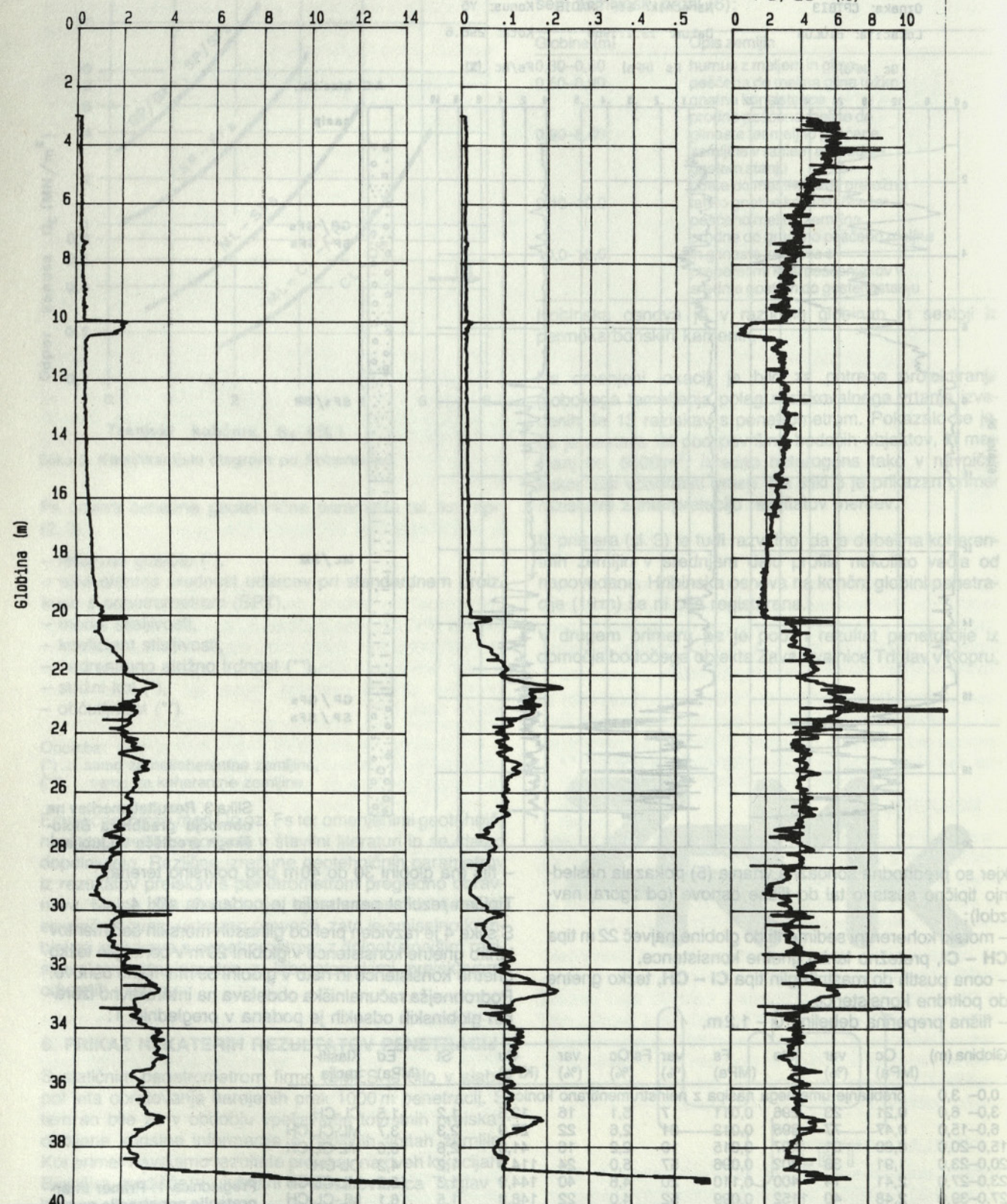
Konus: Y1

Kota: 1.3

Qc (MPa)

Fs (MPa)

Fs/Qc (%)



Slika 4. Rezultati meritev na območju Zavarovalnice Triglav v Kopru

Oznake Qc, Fs, Cu, Ed in St v preglednici 1 so aritmetične sredine odpora na konici, trenja na plašču ter ocen nedrenirane strižne trdnosti, deformacijskega modula in občutljivosti za izbrane globinske intervale. Oznaka »var« pomeni koeficient variacije (aritmetična sredina/standardni odklon $\times 100\%$) in kaže na stopnjo raztrosa rezultatov okoli aritmetične sredine, oznaka »ste« pa pomeni število rezultatov.

Rezultati v preglednici 1 dopolnjujejo napoved o sestavi temeljnih tal: v globini okoli 20 m prehajajo ugotovljene koherentne zemljine skupine **CL-CH, ML-CL-CH ter ML s primesjo zaglinjenega peska** iz lahko gnetne v poltrdno do trdno konsistenco, saj se pri tej globini geotehnični parametri izrazito povečajo. V globini 39 m pa je registriran prehod v flišno osnovo, kar je razvidno iz skokovitega povečanja vrednosti Qc in Fs.

Na sliki 5 je podana primerjava med strižno trdnostjo morske gline do globine 20 m za območje Zavarovalnice Triglav in za območje Luke Koper. Vrednosti za območje Zavarovalnice Triglav smo ocenili na osnovi izvedenih statičnih penetracij (več lokacij in globinskih odsekov) po znanih empiričnih zvezah. Tako dobljenim vrednostim smo po metodi najmanjših kvadratov določili linearno odvisnost nedrenirane strižne trdnosti od globine. Dobljeno regresijsko premico smo primerjali z zakonitostmi spreminjanja strižne trdnosti, dobljenimi na osnovi meritev s krilno sondo v Luki Koper (4).

Primerjava kaže naslednje:

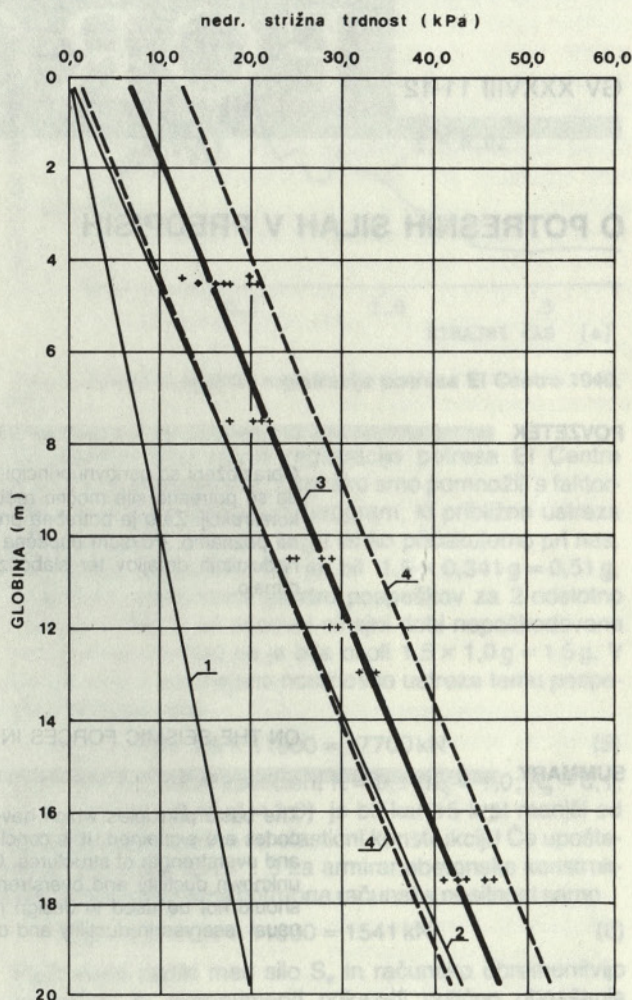
- na območju Zavarovalnice Triglav smo ugotovili dobro linearno odvisnost nedrenirane strižne trdnosti od globine;
- glede na rezultate, dobljene v Luki Koper, smo dobili nekoliko večje vrednosti, in to verjetno zaradi višje stopnje konsolidacije glin.

SKLEP

Dosedanje izkušnje kažejo, da je statični penetrometer firme ISMES zelo uporaben pri predhodnih geotehničnih raziskavah, za dodatna raziskovalna dela med gradnjo samo in za študijske namene. Seveda pa metoda raziskav s statičnim penetrometrom ne more v celoti nadomestiti klasičnih postopkov geomehanskega sondiranja, vzorčenja in laboratorijskih preiskav. Kljub temu pa lahko s kombinacijo obeh metod občutno pospešimo in pocenimo stroške raziskovalnih del.

LITERATURA

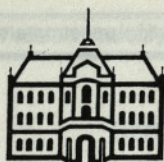
1. Bruzzi D., Battaglio M.: Pore pressure measurements during cone penetration testing; Publikacija ISMES S. P. A. št. 229; Bergamo 1988.
2. Hunt R. E.: Geotechnical Engineering Techniques and Practices, New York, 1986.
3. Meigh A. C.: Cone Penetration Testing, Methods and Interpretation. Ciria 1987.
4. Sovinc I.: O nekim geotehničkim osobinama recentnih obalnih i barovitih glina, Acta geotechnica 4-6, Ljubljana 1963.
5. GZL: poročilo št. J-II-30 d/b1-1/5322, Ljubljana 1989.
6. GZL: poročilo št. J-II-30 d/b1-6/3399-e, Ljubljana 1987.



LEGENDA :

- 1 $C_u = 1 \times z$
- 2 $C_u = 2,14 \times z$
- 3 $C_u = 6,3 + 2,076 \times z$ iz stat. penetr.
- 4 95 % območje za napoved iz stat. penetr.

Slika 5. Primerjava nedreniranih strižnih trdnosti v odvisnosti od globine



GV XXXVIII 11-12

POROČILA 14

O POTRESNIH SILAH V PREDPISIH

MATEJ FISCHINGER, PETER FAJFAR

POVZETEK

Obrazloženi so osnovni principi določanja velikosti računskih potresnih sil v predpisih. Ugotovljeno je, da so potresne sile močno reducirane, saj sta implicitno upoštevani rezervna nosilnost in duktilnost konstrukcij. Zato je potrebna previdnost pri novih konstrukcijskih sistemih, kjer teh rezerv izkustveno ne poznamo. Povsem napačna pa je uporaba reduciranih potresnih sil po predpisih za projektiranje neduktilnih detajlov ter slabo zasnovanih konstrukcij, ki običajne duktilnosti in rezervne nosilnosti nimajo.

ON THE SEISMIC FORCES IN ASEISMIC CODES

SUMMARY

The basic principles which have been used to determine the level of the design seismic forces in codes are explained. It is concluded that the design forces are strongly reduced due to the ductility and overstrength of structures. Caution should be taken, therefore, when new structural systems with unknown ductility and overstrength are designed. In any case the reduced seismic forces in codes should not be used to design nonductile elements and poorly conceived structures which have no usual reserves in ductility and overstrength.

1. UVOD

S potresno varno gradnjo skušamo konstrukcijam zagotoviti nosilnost, duktilnost (sposobnost neelastičnega deformiranja) in togost, ki so večje od zahtev pričakovanega potresa. Natančnejšo določanje teh sposobnosti in zahtev presega možnosti vsakodnevne prakse. Poenostavljeni postopek, ki se danes uporablja v predpisih, je nastal z dolgoletnim opazovanjem obnašanja konstrukcij med močnimi potresi. Temelji na pojmu elastične nosilnosti (definirane s sumarno potresno silo S), ki je projektantu poznan iz vsakodnevne dela. Potresna sila določa minimalno elastično računsko nosilnost, ki praviloma zadošča, da poškodbe (neelastične deformacije) ostanejo

znotraj sprejemljivih vrednosti tudi med najmočnejšimi pričakovanimi potresi.

Zaradi razlogov, ki jih bomo obravnavali v tem članku, so lahko računske potresne sile ($S_{\text{rač}} = S$) reducirane (manjše) glede na vztrajnostne sile, ki bi nastale v elastični konstrukciji (S_e).

$$S_{\text{rač}} = \frac{S_e}{R} \quad (1)$$

Redukcijski faktor R je v naših predpisih implicitno upoštevan v potresnem koeficientu K [1]. Če namreč zapišemo vztrajnostno silo v elastični konstrukciji

$$S_e = m a_{e,\text{maks}} = \frac{G}{g} a_{e,\text{maks}} \quad (2)$$

Avtorja:

Matej Fischinger, asist. dr., dipl. gradb. inž.,
Peter Fajfar, prof. dr. dipl. gradb. inž., FAGG, VTOZD
gradbeništvo in geodezija, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo

m – skupna masa konstrukcije
 G – skupna teža konstrukcije

- g – pospešek prostega pada
 $a_{e,maks}$ – maksimalni pospešek med elastičnim odzivom konstrukcije (pri konstrukciji z več prostostnimi stopnjami je to efektivni/povprečni pospešek za vse mase konstrukcije)

in upoštevamo definicijo potresne sile v predpisih

$$S_{rac} = S = K G \quad (3)$$

dobimo iz (1):

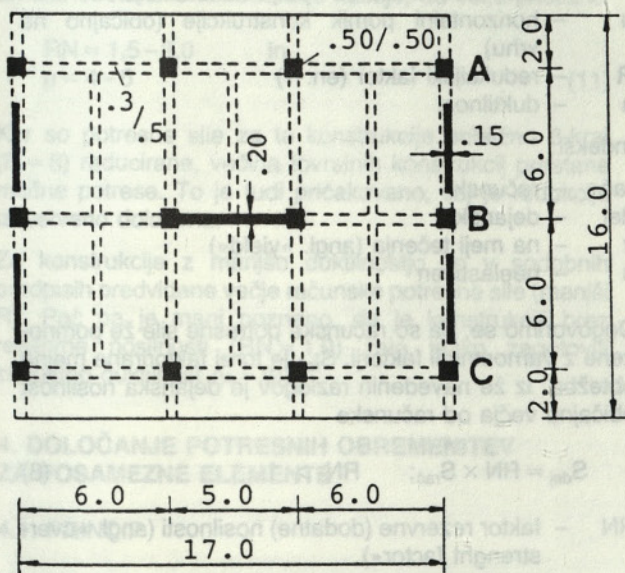
$$K = \frac{a_{e,maks}}{gR} \quad (4)$$

Velikost dovoljene redukcije je za vsako posamezno konstrukcijo drugačna, na splošno pa je odvisna od vrste konstrukcijskega sistema, uporabljenih materialov in pomembnosti objekta (dovoljenih poškodb).

Zavedati se moramo, da uporaba tako enostavnega postopka za opis zapletenega pojava neelastičnega odziva na močno potresno obtežbo ne more biti splošno uporabna. Zato sta razumevanje principa redukcije potresnih sil in poznavanje omejitev postopka, ki jima namenimo ta članek, ključna za pravilno uporabo protipotresnih predpisov.

2. ILUSTRATIVNI PRIMER

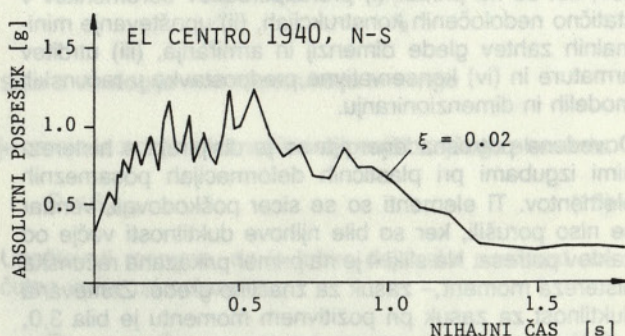
Za lažje razumevanje ozadja potresnih sil v predpisih začnimo prispevek z ilustrativnim primerom.



Slika 1. Tloris 7-nadstropne armiranobetonske stavbe

7-nadstropno armiranobetonsko stenasto-okvirno stavbo (slika 1) smo dimenzionirali po naših predpisih za področje IX. potresne cone in dobra tla [2]. Njen dejanski odziv na potresno obtežbo smo ocenili z neelastično dinamično analizo. Predhodno smo računski model verifikirali z eksperimentalnimi rezultati za podobno zgradbo, dimen-

zionirano po ameriških predpisih, ki je bila preizkušena v naravnem merilu s psevdodinamično metodo [3].



Slika 2. Elastični spekter registracije potresa El Centro 1940, N-S

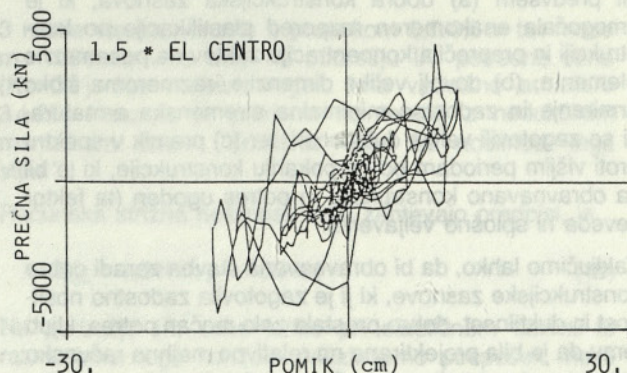
Za obtežbo smo izbrali registracijo potresa El Centro 1940, N-S. Registrirane pospeške smo pomnožili s faktorjem 1,5 ter tako dobili akcelerogram, ki približno ustreza najmočnejšemu potresu, ki ga lahko pričakujemo pri nas. Maksimalni pospešek tal je bil $1,5 \times 0,341 g = 0,51 g$, vrednost v elastičnem spektru pospeškov za 2-odstotno dušenje (slika 2) pri osnovni nihajni dobi nepoškodovane konstrukcije (0,48 s) pa je bila okoli $1,5 \times 1,0 g = 1,5 g$. V konstrukciji z neomejeno nosilnostjo ustreza temu pospešku inercijska sila

$$S_e = 1,5 G = 1,5 \times 11800 = 17700 \text{ kN} \quad (5)$$

Računski seizmični koeficient $K = 0,1$ ($K_0 = 1,0$; $K_s = 0,1$; $K_p = 1,0$ in K_d (0,48 s) = 1,0) je bil kar 15-krat manjši od dejanskega pospeška na elastični konstrukciji! Če upoštevamo varnostni faktor 1,3 za armiranobetonske konstrukcije, je bila minimalna potrebna računaska nosilnost samo

$$S_{rac} = 1,3 \times 0,1 \times 11800 = 1541 \text{ kN} \quad (6)$$

Kljub veliki razliki med silo S_e in računsko obremenitvijo so računi in eksperimenti pokazali odlično obnašanje obravnavane konstrukcije. Razlogi so razvidni iz značilne zveze med prečno silo ob vpetju (ta je enaka sumarni potresni sili S) in pomikom na vrhu konstrukcije (slika 3).



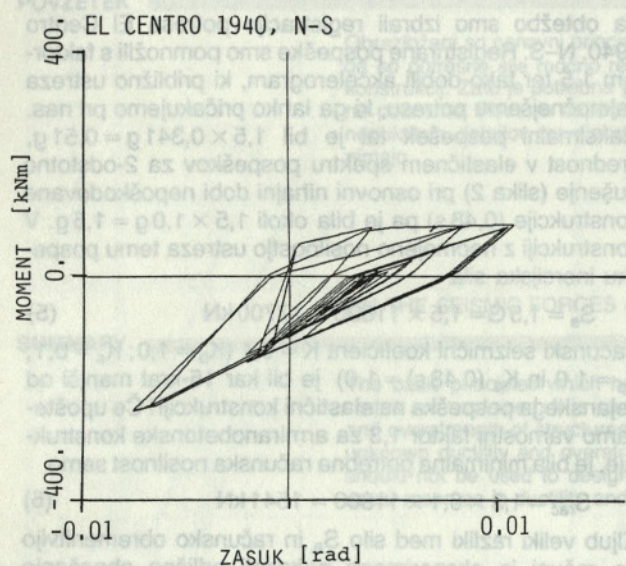
Slika 3. Odziv stavbe s slike 1 (prečna sila spodaj – pomik na vrhu) na potres El Centro 1940, N-S

Dejanska maksimalna nosilnost stavbe pri horizontalni obtežbi

$$Q_{\text{maks}} = 4500 \text{ kN} \quad (7)$$

je bila približno 3-krat večja od računske obtežbe (en. 6). Ta velika rezerva v nosilnosti, ki je na srečo značilna za večino sodobnih konstrukcij, je posledica številnih vzrokov, kot so na primer (i) prerazporeditev obremenitev v statično nedoločenih konstrukcijah, (ii) upoštevanje minimalnih zahtev glede dimenzij in armiranja, (iii) utrditev armature in (iv) konservativne predpostavke v računskih modelih in dimenzioniranju.

Dovedena potresna energija se je dispirala s histereznimi izgubami pri plastičnih deformacijah posameznih elementov. Ti elementi so se sicer poškodovali, vendar se niso porušili, ker so bile njihove duktilnosti večje od zahtev potresa. Na sliki 4 je na primer prikazana računska histereza momenta, zasuka za značilno gredo. Zahtevana duktilnost za zasuk pri pozitivnem momentu je bila 3,0, pri negativnem momentu pa 1,3. Konstruiranje po veljavnih jugoslovaskih predpisih je zagotovilo (groba računska ocena) duktilnost 28,0 in 4,5 pri pozitivnem oziroma



Slika 4. Histereza moment – zasuk za značilno gredo

negativnem momentu. K ugodnemu razultatu so pripomogli predvsem (a) dobra konstrukcijska zasnova, ki je omogočala enakomeren razpored plastifikacije po konstrukciji in preprečila koncentracijo zahtev na posamezne elemente, (b) dovolj velike dimenzije, razmeroma šibko armiranje in zadostna minimalna stremenska armatura, ki so zagotovili velike duktilnosti, ter (c) premik v spektru proti višjim periodam po razpokanju konstrukcije, ki je bil za obravnavano konstrukcijo in potres ugoden (ta faktor seveda ni splošno veljaven!).

Zaključimo lahko, da bi obravnavana stavba zaradi dobre konstrukcijske zasnove, ki ji je zagotovila zadostno nosilnost in duktilnost, dobro prestala zelo močan potres, kljub temu da je bila projektirana na relativno majhno računsko potresno obremenitev. Izkušnje med potresi in podatki v literaturi [4,5] kažejo, da so te rezerve značilne za večino sodobnih konstrukcij. V predpisih so implicitno upoštevane pri izbiri velikosti potresnih sil, tako da projektanta številčne vrednosti dejanske nosilnosti ali duktilnosti niti ne

zanimajo. Zavedati pa se mora, da tak način računa (brez povečanja varnostnih faktorjev) ni primeren za konstrukcije, ki teh rezerv nimajo. To so na primer manj duktilni detajli (nekateri montažni stiki, sidranja, elementi, za katere je odločilna strišna obremenitev) ali statično določene konstrukcije, ki imajo majhno rezervo v nosilnosti. Prav tako ni možna direktna uporaba reduciranih sil v predpisih za račun bistveno novih konstrukcijskih sistemov, za katere duktilnosti in dejanske nosilnosti ne poznamo. V praksi se pogosto uporabljajo reducirane potresne sile iz predpisov za »dokazovanje« potresne varnosti konstrukcij z očitno zgrešeno zasnovo ali z grobimi napakami v projektiranju in/ali izvedbi. Pri tem se pozablja, da redukcija potresnih sil v predpisih temelji na predpostavki, da ima konstrukcija zaradi solidne zasnove in izvedbe rezervo v nosilnosti in duktilnosti. Tak »dokaz« je torej kontradiktoren, nesmiseln in nevaren.

3. PRINCIP REDUKCIJE POTRESNIH SIL V PREDPISIH

Za idealno elasto-plastično konstrukcijo si lahko princip redukcije potresnih sil nazorno grafično predstavimo. Zaradi primerne dolžine članka se omejimo na konstrukcije daljših period, za katere velja, da je pomik elastičnega in neelastičnega sistema približno enak. Meja med daljšimi in krajšimi periodami je pri potresnih gibanjih tal z običajnim frekvenčnim sestavom približno 0,7 s. Analogen prikaz za konstrukcije s krajšimi nihajnimi dobami, ki temelji na enakosti energij, je podan v [6].

Dogovorimo se za oznake:

- S – nosilnost pri horizontalni obtežbi, potresna sila, prečna sila ob vpetju konstrukcije
- u – horizontalni pomik konstrukcije (običajno na vrhu)
- R – redukcijski faktor (en. 1)
- μ – duktilnost

Indeksi:

- rač – računski
- dej – dejanski
- y – na meji tečenja (angl. »yield«)
- n – neelastičen

Dogovorimo se, da so računske potresne sile že pomnožene z varnostnimi faktorji. $S_{\text{rač}}$ je torej faktorirana mejna obtežba. Iz že navedenih razlogov je dejanska nosilnost običajno večja od računske

$$S_{\text{dej}} = RN \times S_{\text{rač}}; \quad RN > 1 \quad (8)$$

RN – faktor rezervne (dodatne) nosilnosti (angl. »over-strength factor«)

Z empirično dokazano predpostavko o enakosti pomikov elastične in neelastične konstrukcije lahko prikažemo odnos med potresno obtežbo in pomikom konstrukcije s sliko 5. Globalna duktilnost je po definiciji

$$\mu = u_n / u_y \quad (9)$$

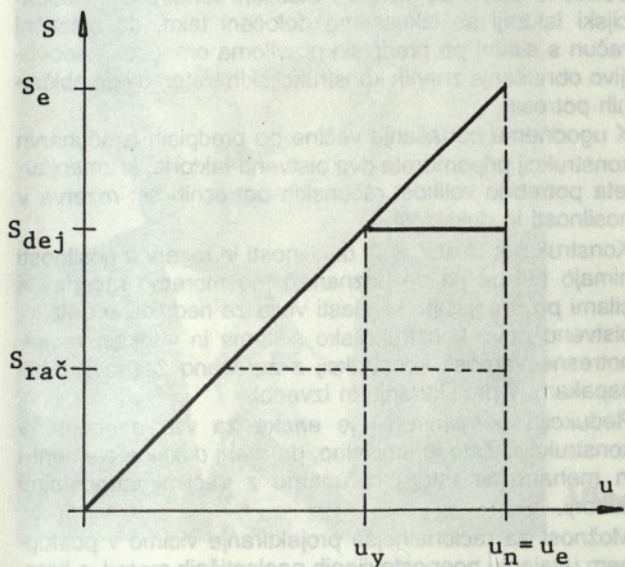
Iz podobnih trikotnikov pa sledi

$$S_e = S_{dej} \mu = RN S_{rač} \mu \quad (10)$$

ter zaradi (1)

$$R = RN \mu \quad (11)$$

Z besedami povedano velja, da je dovoljena redukcija potresnih sil enaka produktu faktorjev rezervne nosilnosti in duktilnosti.



Slika 5. Grafični prikaz principa redukcije potresnih sil

Preliminarne analize za skrbno konstruirane sodobne armiranobetonске konstrukcije kažejo, da velja približno

$$\begin{aligned} RN &= 1,5-3,0 & \text{in} \\ \mu &= 4-5 \end{aligned} \quad (11)$$

Ker so potresne sile za te konstrukcije približno 8-krat ($R=8$) reducirane, večina tovrstnih konstrukcij prestane močne potrese. To je tudi pričakovano, saj je redukcija izkustveno določena.

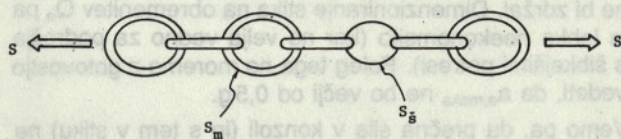
Za konstrukcije z manjšo duktilnostjo so v sodobnih predpisih predvidene večje računske potresne sile (manjši R). Pač pa je manj poznano, da je konstrukciji brez rezervne nosilnosti ($RN=1,0$) zelo težko zagotoviti zadostno duktilnost ($\mu=8$).

4. DOLOČANJE POTRESNIH OBREMENITEV ZA POSAMEZNE ELEMENTE

4.1. PRINCIP

Ker je v predpisih reducirana potresna obtežba za celo konstrukcijo, je redukcija enaka za vse elemente. Če bi bile dejanske nosilnosti posameznih elementov proporcionalne računskim, bi v tako projektirani konstrukciji nastala plastifikacija vseh elementov približno hkrati. Smotno pa je, da se izogibamo plastifikaciji (poškodbam) krhkejših in ključnih elementov v konstrukciji. Zato je potrebno ustrezno korigirati nosilnosti posameznih elementov.

Princip potrebne korekcije lahko lepo razložimo, če si konstrukcijo zamislimo kot verigo [7] (slika 6). Sila v verigi



Slika 6. Analogija med konstrukcijo in verigo

je omejena z dejansko nosilnostjo najšibkejšega elementa

$$S \leq S_{dej,s} \quad (13)$$

Upoštevati moramo, da je lahko dejanska nosilnost občutno večja od računske

$$S_{dej,s} = \phi_0 S_{rač,s} \quad (14)$$

$\phi_0 > 1$ imenujemo faktor dejanske nosilnosti prereza.

Razlike med dejansko in računsko nosilnostjo prereza nastajajo zaradi zahtev ostalih obremenitev, rezerv v materialu, konservativnih postopkov računa ter upoštevanja standardnih dimenzij in minimalne armature.

Če je elastična nosilnost ostalih, močnejših elementov večja od dejanske nosilnosti šibkega člena

$$S_{em} > \phi_0 S_{rač,s} \quad (15)$$

bodo neelastične deformacije (poškodbe) omejene samo na šibki člen (ki deluje kot varovalka), in sicer ne glede na jakost dejanskega potresa, ki je vnaprej ni možno zanesljivo določiti. Pri tem je pomembno, da je lahko preveč konservativno dimenzioniranje šibkih členov (veliki ϕ_0) za konstrukcijo celo škodljivo.

Za šibke člene izbiramo elemente, ki ne ogrožajo globalne stabilnosti konstrukcije (npr. grede v stenah z odprtinami) in ki jim lahko zagotovimo zadostno duktilnost (npr. upogibni elementi). Izognemo pa se plastifikaciji manj duktilnih (npr. strižnih) elementov in/ali elementov, ki ogrožajo globalno stabilnost konstrukcije (npr. stebri).

4.2. PRIMER

3 metre visoka konzola s presekom $0,5/0,5$ m ter maso $m=100$ t na vrhu stoji na področju IX. potresne cone ($K=0,1$). Na vsakem vogalu ima vzdolžno armaturo $3\phi 25$. Konzola je pritrjena na temelj z neduktilnim montažnim stikom. Kolikšna mora biti nosilnost tega stika?

Računska strižna nosilnost, ki jo zahtevajo predpisi, je

$$Q_{rač} = 1,3 K m g = 130 \text{ kN} \quad (16)$$

Na področju IX. cone lahko pri elastičnem odzivu te razmeroma toge konzole pričakujemo pospešek mase okoli

$$a_{e,maks} = 0,5 g \quad (17)$$

Pripadajoča elastična strižna obremenitev je

$$Q_e = 0,5 \times 1000 = 500 \text{ kN} \quad (18)$$

Neduktilen stik, dimenzioniran na 130 kN, te obremenitve ne bi zdržal. Dimenzioniranje stika na obremenitev Q_e pa je lahko neekonomsko (kar ne velja vedno za področja s šibkejšimi potresi). Poleg tega ne moremo z gotovostjo vedeti, da $a_{e,\text{maks}}$ ne bo večji od 0,5 g.

Vemo pa, da prečna sila v konzoli (in s tem v stiku) ne more biti večja od

$$Q = \frac{M}{H} \quad (19)$$

kjer sta:

M – upogibna nosilnost konzole

H – višina konzole

Zavedati se moramo, da dejansko upogibno nosilnost določa dejanska armatura, ne pa računski moment zaradi potresne sile ($M_{\text{rač}} = 1,3 S H = 390 \text{ kNm}$). Dejanska upogibna nosilnost konzole (pri pripadajoči osni sili

$$N = 1,3 \cdot 1000 = 1300 \text{ kN}) \text{ je:}$$

$$M_{\text{dej}} = 1,25 \cdot 709 = 886 \text{ kNm} \quad (20)$$

Vrednost 709 kNm smo odčitali z diagramov v (8), z dodatnim izkustvenim faktorjem 1,25 pa smo upoštevali, da je lahko dejanska trdnost armature tudi do 25 % večja od specificirane meje elastičnosti.

Nosilnost neduktilnega stika mora biti torej večja od maksimalne možne prečne sile v konzoli

$$Q_{\text{dej, maks}} = \frac{M_{\text{dej}}}{H} = 295 \text{ kN} \quad (21)$$

Običajno se vzame varnost vsaj 1,2

$$Q_{\text{stika, min}} = 1,2 \cdot 295 = 354 \text{ kN} \quad (22)$$

V prikazanem primeru deluje torej upogibni moment v konzoli kot varovalka, ki preprečuje, da bi prišlo do nezaželene krhke porušitve stika. Seveda je hkrati treba preprečiti tudi krhko strižno porušitev konzole. Nosilnost konzole na strig mora prav tako znašati 354 kN.

5. SKLEPI

Računske potresne sile, določene s predpisi, niso dejanske sile, ki nastajajo v konstrukciji med močnim potresom. Dejanske potresne sile so namreč določene z maksimalno (polnoplastično) nosilnostjo konstrukcije, ne morejo pa biti večje od potresnih (vztrajnostnih) sil, ki bi nastale v elastični konstrukciji.

Računske potresne sile so močno reducirane glede na potresne sile, ki so možne v elastični konstrukciji. Redukcijski faktorji so izkustveno določeni tako, da elastični račun s silami po predpisih praviloma omogoča zadovoljivo obnašanje znanih konstrukcijskih sistemov pri običajnih potresih.

K ugodnemu obnašanju večine po predpisih izračunanih konstrukcij pripomoreta dva bistvena faktorja, ki zmanjšujeta potrebno velikost računskih potresnih sil: rezerva v nosilnosti in duktilnost.

Konstrukcije, ki običajnih duktilnosti in rezerv v nosilnosti nimajo (ali pa jih ne poznamo), ne moremo računati s silami po predpisih. To zlasti velja za neduktilne detajle, bistveno nove konstrukcijske sisteme in »dokazovanje« potresne varnosti konstrukcij z zgrešeno zasnovo in/ali napakami v projektiranju in izvedbi.

Redukcija potresnih sil je enaka za vse elemente v konstrukciji. Zato je smiselno, da manj duktilne elemente in mehanizme (strig) računamo z večjimi varnostnimi faktorji.

Možnost za racionalnejše projektiranje vidimo v postopnem uvajanju poenostavljenih neelastičnih metod, s katerimi bo možno realneje oceniti tako dejansko velikost potresne obtežbe kakor tudi realno nosilnost in duktilnost konstrukcij.

ZAHVALA

Članek je nastal na osnovi raziskovalnega dela, ki ga financirata Raziskovalna skupnost Slovenije in Skupni jugoslovansko – ameriški odbor za znanstveno in tehnološko sodelovanje v sodelovanju z National Institute of Standards and Technology, Washington D. C.

LITERATURA

1. P. Fajfar, Dinamika gradbenih konstrukcij, učbenik, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 550 strani (1984).
2. P. Fajfar, M. Fischinger, Č. Remec, Evaluation of the aseismic provisions in the U.S.A. and Yugoslavia, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, publikacija 28A, 217 strani (1985).
3. U.S.–Japan Cooperative Research Programs, Test of reinforced concrete structures, 8. svetovna konferenca o potresnem inženirstvu, San Francisco, ZDA, 21.–28. 7. 1984, zbornik del, Vol. 6, strani 593–706, Prentice Hall (1984).
4. G. W. Housner, P. C. Jennings, Earthquake design criteria, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, ZDA, 140 strani (1982).
5. V. V. Bertero, Evaluation of response reduction factors recommended by ATC and SEAOC, 3. nacionalna konferenca o potresnem inženirstvu v ZDA, Charleston, ZDA, 24.–28. 8. 1986, zbornik del, Vol. 3, strani 1663–1674 (1986).
6. M. Fischinger, Neelastična dinamična analiza armaranobetonskih zgradb pri potresni obremenitvi – Razvoj metod projektiranja, doktorska disertacija, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 236 strani (1989).
7. T. Paulay, Seismic design in reinforced concrete – The state-of-the-art in New Zealand, 9. svetovna konferenca o potresnem inženirstvu, Tokyo-Kyoto, Japonska, 2.–9. 8. 1988, zbornik del, Vol. 8, strani 687–692, Maruzen (1989).
8. R. Rogač, F. Saje, M. Lozej, Priročnik za dimenzioniranje armaranobetonskih konstrukcij po metodi mejnih stanj, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 361 strani (1989).



Vlado Cimperšek, dipl. inž. gradb.

Povsem nepričakovano nas je 23. 9. 1989 zapustil kolega Vlado Cimperšek, dipl. inž. gradb. Rodil se je leta 1930 v Sevnici v ugledni družbeno aktivni družini. Po šolanju v domačem kraju in Celju se je vpisal na gradbeno fakulteto v Ljubljani in leta 1957 diplomiral z odliko.

Svojo strokovno pot je začel v projektivnem biroju SGP Pionir v Novem mestu. Krog strokovno ambicioznih in optimističnih kolegov ga je pritegnil v Maribor v podjetje Tehnogradnja. Z njemu lastno širino in podjetnostjo se je kmalu vključil v timsko delo pri projektiranju takratnih najzahtevnejših nalog, kot npr. Titov most preko Drave v Mariboru in mostovi preko Efrata v Siriji.

S pridobitvijo del na hidroelektrarni Srednja Drava 1 leta 1964 je kot glavni inženir za hidrogradnje prevzel naloge vodje projekta. Veliko strokovno znanje in odlična komunikativnost sta mu omogočila suvereno obvladovanje zahtevnega vodenja in učinkovito sodelovanje tudi z investitorjem zlasti pri razreševanju številnih tehnoloških zahtev gradnje.

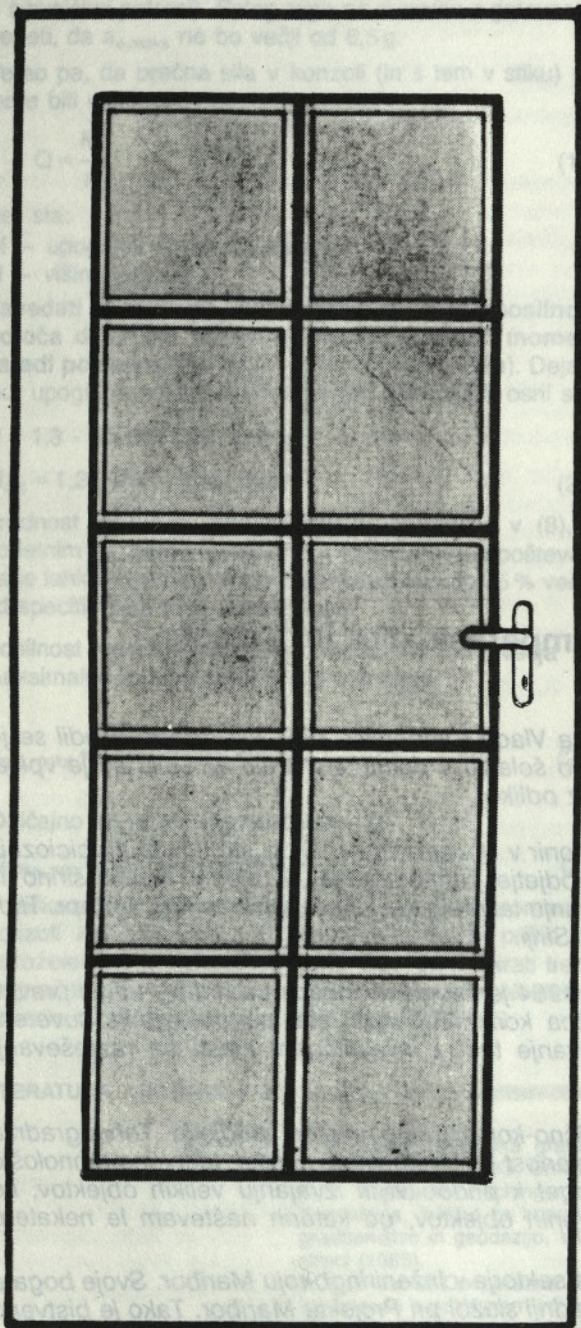
Sledeč svojim nagnjenjem je leta 1966 prevzel tehnično-komercialno službo podjetja Tehnogradnja. Dotedanje bogate in pestre izkušnje ter izrecna nagnjenost k poglobljeni analizi tehnično-tehnološke problematike mu je omogočila, da je bistveno pripomogel k pridobitvi in izvajanju velikih objektov, kot so HE SD-1, HE Kruščica v Liki, in množici premostitvenih objektov, od katerih naštevam le nekatere:

Od leta 1973 do 1977 je bil vodja tehnično komercialnega sektorja v Inženiringbiroju Maribor. Svoje bogate izkušnje in poklicno spretnost je zavzeto koristil v svoji zadnji službi pri Projektu Maribor. Tako je bistveno prispeval pri realizaciji kompleksa STTC in Carinarnice v Mariboru.

Kolegi smo ga poznali kot pronicljivega in zavzetega strokovnjaka. Odlikovala sta ga prodorna domiselnost in veder značaj, obogaten z duhovitim humorjem. Vse to mu je omogočilo hiter in neposreden stik s sogovornikom in tako si je ustvaril širok krog prijateljev in znancev. Pridobil si je tudi številne prijatelje med poslovnimi partnerji po celi Jugoslaviji. Prav te lastnosti in njegov večni optimizem nam ostajajo v spominu na njegovo osebnost. Široko znanje in iskrena zavzetost pri delu bosta ostala trajno vgrajena v nekaterih največjih objektih v naši domovini in tujini.

Danilo Bevc, dipl. inž. gradb.

MASIVNA SOBNA VRATA INLES VM-D



Značilnosti:

- podboji, kakor tudi krila so izdelana iz masivnega lesa jelke/smreke
- so lakirana v naravni barvi lesa, po naročilu so lahko tudi lužena
- vratno krilo in podboj sta pakirana ločeno, ker je podboj v demontažnem stanju
- vrata so opremljena s ključavnico, kljuko in ščiti ter z nasadili; vsi deli okovja so eloksirani

61310 Ribnica, Kolodvorska 22, tel. (061) 861-212
 25260 Apatin, Sončanska bb., tel. (025) 772-041
 22330 Nova Pazova, Lenjinova 103, tel. (022) 331-155
 35230 Čuprija, Cara Lazara 92, tel. (035) 461-409
 51213 Jurdani-Opatija, tel. (051) 741-330
 18000 Niš, Mramorska bb., tel. (018) 65-335
 55000 Slavonski Brod, Matoševićeva bb., tel. (055) 231-026, 241-510
 55300 Slavonska Požega, Beogradska bb., tel. (055) 72-845, 73-323
 56000 Vinkovci, Moše Pijade 101, tel. (056) 11-367
 14220 Lazarevac, Janka Stajčića 50, tel. (011) 813-217
 88000 Mostar, Bišće polje bb., (088) 33-665
 91000 Skopje – Dračevo, Ratka Mitrovića bb., tel. (091) 581-056



**Industrija stavbnega
pohištva**

61310 Ribnica
 telefon: (061) 861-441
 telegram: Inles-Ribnica
 telex: 31-262 inles Yu
 telefax: (061) 861-603

INFORMACIJE 290

ZAVODA ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ V LJUBLJANI

LETNIK XXX – 11-12

NOVEMBER-DECEMBER 1989

LEPLJENI LESENI LAMELIRANI NOSILCI V SPREMENLJIVI VLAGI

UDK 694.4:53.093

JELENA SRPČIČ, MLADEN HOUŠKA

POVZETEK

Na les kot gradbeni material močno vpliva vlažnost okolja: absorpcija vlage povzroči nabrekanje lesa, spremenijo se mehanske lastnosti, poveča se lezenje pri dolgotrajni obremenitvi. Pri lepljenem lesu pa je zaradi togih lepilnih spojin ta vpliv nekoliko manjši. Prikazane so meritve lezenja in preiskave trdnosti nateznih ter tlačnih epruvet iz čistega lesa, obremenjenih v normalni in visoki vlagi, preiskave strižnih trdnosti dolgotrajno obremenjenih vzorcev lepljenih spojev in preiskave 20 ravnih lepljenih lameliranih nosilcev normalne velikosti ($0,10 \times 0,19 \times 3,65$ m) v treh različnih relativnih vlažnostih okolja.

GLUED LAMINATED BEAMS IN CHANGING HUMIDITY CONDITIONS

SUMMARY

Wood is a building material which is sensitive to the humidity of its environment: the moisture causes it to swell, changes its mechanical properties, and increases creep at long-term load. In the case of glulam structures, due to the stiff glued joints these phenomena are somewhat reduced. In the article, creep measurements and tests for defining the tensile and compressive strength of clear wood specimens are presented, as well as tests for defining the shear strength of long-term loaded glued joint specimens. The results of tests of 20 full-size, glued laminated beams ($0.10 \times 0.19 \times 3.65$ m) loaded under three different climatic conditions are included.

1. UVOD

Vpliv neugodnih zunanjih pogojev (temperature, vlage, agresivnih plinov oz. tekočin) na nosilnost gradbenih konstrukcij je odvisen predvsem od materiala, iz katerega so konstrukcije izdelane, pa tudi od njihove statične zasnove. Lesene konstrukcije so za nekatere vplive skoraj neobčutljive (npr. za normalne temperaturne spremembe, tj. počasne spremembe zaradi podnebnih vplivov), večji vpliv pa imajo hitre temperaturne spremembe (npr. pri sušenju), ki povzročajo izgubo vlage v celicah, krčenje in razpoke. Seveda pa na lastnosti lesa vplivajo tudi zelo visoke temperature (npr. pri požaru), pri katerih se spremeni struktura lesa.

S pojmom temperature okolice je v veliki meri povezana tudi relativna vlaga prostora, v katerem je konstrukcija, ker je od nje neposredno odvisna ravnotežna vlaga lesa. Les namreč tako dolgo vsrkava vlago iz okolice, dokler ni vzpostavljeno ravnotežje med vlago lesa in vlago okolice. Ravnotežna vlaga je odvisna od vrste lesa, čas za vzpostavitev ravnotežja pa od dimenzij konstrukcijskih elementov.

Za izdelavo sodobnih konstrukcij v veliki meri uporabljamo lepljen lameliran les, pri katerem so pojavi absorpiranja vlage in notranje napetosti, ki jih ta pojav povzroča, spremenjeni. V prečnih prerezih so namreč tudi toge lepilne spojnice, ki onemogočajo neovirano krčenje in nabrekanje lesa.

Z vlago se spremenijo tudi mehanske lastnosti lesa. Vrednosti vseh značilnih trdnosti (tlačne, natezne, upogibne, strižne) se z vlago zmanjšujejo vse do točke zasičenosti vlaken. Padec trdnosti je odvisen od specifične teže lesa in po podatkih iz literature doseže tudi do 70 %. Vlaga prav tako vpliva na togost konstrukcije – modul elastičnosti se s povečevanjem vlažnosti lesa po nekaterih podatkih

Avtorja:

*Jelena Srpčič, dipl. gradb. inž., ZRMK Ljubljana, razisk. svetnik,
doc dr. Mladen Houška, dipl. inž. stroj., Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za matematiko in mehaniko, Ljubljana*

zmanjša do 25 %. Vsi ti pojavi so izrazitejši, kadar se vlažnost lesa spreminja.

Vlaga nadalje vpliva na odpornost proti trohnenju, na toplotno prevodnost in na druge lastnosti lesa, tako da je pri projektiranju treba vsekakor upoštevati, v kakšnem okolju bo konstrukcija med uporabo. Nezaželen vpliv vlage lahko zmanjšamo z različnimi zaščitnimi premazi, ki pa jih je treba redno vzdrževati. Ker v praksi pogosto naletimo na nevzdrževane konstrukcije, smo s preiskavami želeli ugotoviti, kolikšen je vpliv spreminjanja vlage na nezaščiteno konstrukcijo, ki pa je ob enem obremenjena – enako kot med uporabo – s stalno obtežbo.

2. CILJ IN OPIS PREISKAV

Kakor smo že omenili, je obnašanje lesa v lepljenih konstrukcijah drugačno kot pri monolitnih lesenih konstrukcijah. Po podatkih iz literature ima lepljeni les pri normalni vlažnosti zaradi izbranih delov lamel brez napak večje trdnosti oz. veljajo zanj višje dopustne napetosti (upogibna trdnost iglavcev je pri lameliranih konstrukcijah okrog 40 % večja), prav tako imajo lamelirane lepljene konstrukcije večjo togost (upogibni modul elastičnosti je po naših predpisih za lamelirane konstrukcije okrog 10 % večji).

Les je material z zelo izraženimi reološkimi pojavi; njegove deformacije se pri stalni obremenitvi povečujejo, prav tako se spremeni struktura lesa oz. poslabšajo mehanske lastnosti, če je dalj časa izpostavljen visokemu nivoju obremenitve. Tudi ti pojavi so zaradi kombinacije lesa in lepila pri lameliranem lesu drugačni kot pri monolitnem.

Vpliv vlage so raziskovalci do sedaj preučevali v glavnem na monolitnem lesu oz. na izdelkih iz lesnih tvoriv (iverne plošče, panelne plošče, furnir), manj pa na lameliranem lesu. Ker menimo, da lepilne spojnice vplivajo na krčenje in nabrekanje lesa, s tem pa tudi na nagnjenost lesa k povečevanju deformacij pri dolgotrajni obremenitvi, smo želeli z našimi preiskavami zajeti prav ta pojav.

Preiskave smo izvajali na dveh inštitutih: preiskave osnovnega materiala - lesa iglavcev, izpostavljenega dolgotrajni obremenitvi in spremenljivi vlagi – na Biotehniški fakulteti, VTOZD za lesarstvo, preiskave lepljenih spojin ter upogibne preiskave lameliranih lepljenih nosilcev v naravni velikosti pa na ZRMK, TOZD Inštitut za konstrukcije in potresno inženirstvo. Preiskave so bile dolgotrajne – faza obremenjevanja je trajala leto dni, da bi se pojavi stabilizirali in da bi dobili kot rezultat krivulje lezenja v čim daljšem časovnem obdobju.

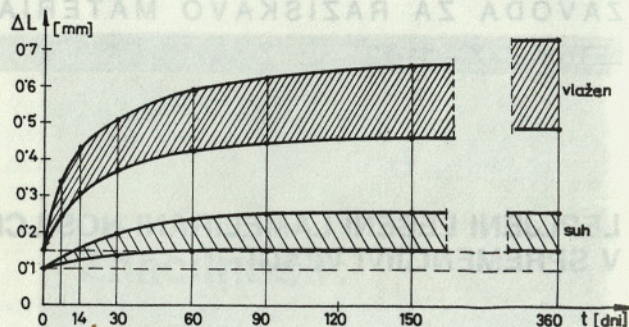
3. PREISKAVE LESA Z DOLGOTRAJNO OBREMENITVIJO V RAZLIČNI VLAGI

Material za preiskave je bil statistično izbran iz tekoče proizvodnje podjetja HOJA iz Ljubljane: to je bil les iglavcev – smreke in jelke. Izbrali smo tri deske, iz katerih smo izžagali 40 vzorcev za določitev tlačne trdnosti po standardu JUS D.A1.045 in 40 vzorcev za nateg po standardu JUS D.A1.048.

V podzemnem zaklonišču Biotehniške fakultete sta bila pripravljena dva klimatizirana prostora: v prvem je bila vlaga konstantno nizka (suh prostor s 65-odstotno vlažnostjo), v drugem je bila vlaga prostora visoka (vlažen prostor s 95-odstotno vlažnostjo pri temperaturi

$T = 17^{\circ}\text{C}$). Na pripravah, ki smo jih tudi sami izdelali, smo polovico vzorcev obremenili približno do meje dopustnih napetosti (tlak 11,0 MPa, nateg 10,5 MPa) in 12 mesecev spremljali ter analizirali lezenje lesa.

Rezultati lezenja tlačno obremenjenih vzorcev so prikazani na sliki 1.



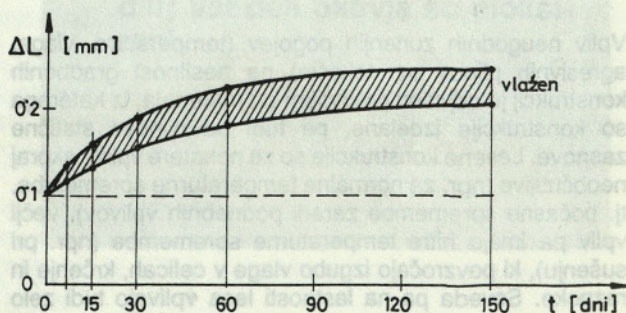
Sl. 1. Lezenje tlačno obremenjenih vzorcev

Z diagrama vidimo, da so se pomiki vzorcev v visoki vlagi v prvih dveh mesecih – v fazi primarnega lezenja – v primerjavi s trenutnimi elastičnimi pomiki povečali za okrog 200–300 %, medtem ko je bilo lezenje v suhem prostoru manj opazno.

Na sliki 2 so prikazani diagrami lezenja vzorcev, obremenjenih z natezno obremenitvijo (prikazali smo le pomike vzorcev v vlažnem prostoru, ker so bili rezultati preiskav vzorcev v suhem prostoru netipični). Pri teh vzorcih je bilo primarno lezenje končano šele po 5 mesecih, pomiki pa so dosegli dvojno vrednost elastičnih.

Po enoletnem obremenjevanju in izpostavitvi različni vlagi smo določili mehanske lastnosti vseh vzorcev in dobili tlačno oz. natezno trdnost σ_{maks} na $2 \times 40 = 80$ vzorcih.

Vplivi enoletnega obremenjevanja in vlažnosti na tlačno nosilnost lesa so prikazani v preglednici I. Ker so bili vzorci skupin A, B, C izrezani iz iste deske s praktično identičnimi lastnostmi, lahko neposredno primerjamo obremenjene in neobremenjene vzorce ter vzorce v suhem in vlažnem okolju.



Sl. 2. Lezenje natezno obremenjenih vzorcev

Viden je močan vpliv vlage na nosilnost, saj se je tlačna trdnost zmanjšala skoraj za 50 %, vpliv dolgotrajne obremenitve pa je zanemarljiv (nekaj %). V preglednici je prikazano tudi zmanjšanje tlačnega modula elastičnosti pri vlažnih vzorcih (E_v/E_s). Rezultati preiskav natezne trdnosti so prikazani v preglednici II.

Preglednica I: Tlak, konstantna obremenitev $\sigma_0 = 10,8 \text{ MPa}$

Deska	Pogoji		ρ (kg/m^3)	v_l (%)	σ_{maks} (MPa)	K_{v_l}	K_o	E (MPa)	$\frac{E_{v_l}}{E_s}$	ΔL_o (mm)	ΔL_{360} (mm)
A	V	N	439	25,2	26,4	0,50		2940	0,52	–	–
	V	O			23,0			2120		0,147	0,631
	S	N		13,2	46,0	0,97		4150		–	–
	S	O			44,7			4460		0,104	
B	V	N	429	25,8	26,1	0,56		2870	0,43	–	–
	V	O			24,1			1840		0,150	0,454
	S	N		14,2	42,7	0,99		4319		–	–
	S	O			42,3			4080		0,100	
C	V	N	398	25,9	22,5	0,53		2910	0,53	–	–
	V	O			20,2			1980		0,141	0,724
	S	N		14,2	38,2	0,97		3740		–	–
	S	O			37,0			3630		0,115	
povprečje	V	N	422	25,6	25,1	0,53		2900	0,49		
	V	O			22,4			1980			
	S	N		13,9	42,3	0,97		4070			
	S	O			41,3			4090			

Legenda: V, S... vlažen, suh
N, O... neobremenjen, obremenjen

$K_{v_l} = \frac{\sigma_{v_l, o}}{\sigma_{s, N}}$
 $K_o = \frac{\sigma_o}{\sigma_N}$
 ΔL_o ... elastični pomik
 ΔL_o ... celotni pomik po 12 mesecih

Deska	Pogoji		ρ (kg/m^3)	v_l (%)	σ_{maks} (MPa)	K_{v_l}
A	V	N	439	25,1	156,5	0,75
	V	O			127,4	
	S	N		13,1	170,8	
	S	O			168,8	
B	V	N	429	25,7	133,8	0,83
	V	O			130,4	
	S	N		14,2	156,8	
	S	O			148,9	
C	V	N	398	25,8	100,2	0,72
	V	O			81,6	
	S	N		14,2	112,3	
	S	O			135,3	
povprečje	V	N	422	25,6	130,2	0,77
	V	O			113,1	
	S	N		13,9	146,6	
	S	O			151,0	

Preglednica II: Nateg, konstantna obremenitev $\sigma_0 = 9,7 \text{ MPa}$

4. PREISKAVE LEPLJENIH SPOJEV

S preiskavami strižne trdnosti lepljenih spojev smo želeli ugotoviti dvoje: prvič, ali dolgotrajna obtežba in vlažnost okolja vplivata na strižno nosilnost spoja in, drugič, ali s standardnimi – kratkotrajnimi preiskavami s hitrimi ostrimi klimatskimi spremembami na neobremenjenih vzorcih

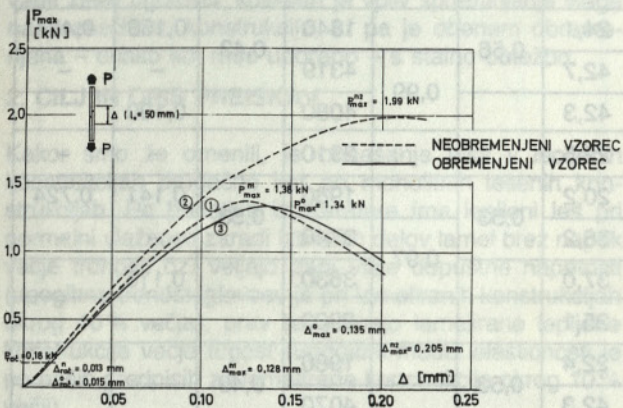
lahko ocenimo dejansko dogajanje v spojih, ki so izpostavljeni počasnejšim klimatskim spremembam, vendar tudi stalni obremenitvi. Nadalje smo na istih vzorcih želeli izmeriti morebitne spremembe dolžine lepljenega spoja pod vplivom vlage in obremenitve. Standardni vzorci za določitev strižne trdnosti so bili za te meritve premajhni, zato rezultati niso bili uporabni. Pač pa smo o spremembi togosti lepljene spojnice sklepali na osnovi meritev deformacij ob določitvah trdnosti neobremenjenih in obremenjenih vzorcev.

Preiskave strižne trdnosti lepljenih spojev so bile opravljene na vzorcih, zlepljenih z enakim lepilom kakor upogibni nosilci (sintetično rezorcin-fenol-formaldehidno lepilo, odporno proti vodi), uporabljen pa je bil tudi enak les. Oblika vzorcev je bila standardna (JUS H.K8.024) – površina zlepljenja je znašala $2,0 \text{ cm}^2$. Za primerjavo s standardiziranimi preiskavami je bilo izdelanih tudi okrog 100 vzorcev iz bukovega lesa, ki so bili poleg standardiziranim pogojem TD 0, TD 3-3, TD 3-4, TD 4-5 in TD 4-6 po standardu JUS H.K8.024 izpostavljeni tudi vlagi in dolgotrajni obremenitvi.

Vzorci za dolgotrajne preiskave so bili obremenjeni v treh prostorih z različnimi klimatskimi pogoji: v normalni relativni vlagi, ki se je počasi spreminjala od 50 % poleti do 85 % pozimi, v konstantno visoki relativni vlagi (90–95 % pri $T = 18^\circ \text{C}$) in v ciklično spremenljivi vlagi (v mesečnih ciklikih od 65 % do 90 % po diagramu na sliki 4). Vzorci iz smrekovega lesa so bili obremenjeni z obtežbo, ki je v spoju povzročala napetosti, enake dopustnim strižnim napetostim za lepljene lamelirane konstrukcije (0,9 MPa), vzorci iz bukovega pa z obtežbo, ki je povzročala napetost v spoju, enako dopustni strižni napetosti za rezorcinsko lepilo (1,2 MPa). Poleg obremenjenih vzorcev je bilo v vsakem prostoru izpostavljenih enakim vlažnostnim pogojem tudi po pet neobremenjenih vzorcev iz obeh vrst lesa, izžaganih iz istih delov desk kot obremenjeni, ki so rabili za ugotavljanje vpliva obremenitve.

Po enoletni izpostavitvi opisanim pogojem so bili vsi vzorci v trgalnem stroju obremenjeni do porušitve (konstantna hitrost povečevanja sile je znašala 50 mm/min). Pri porušitvi smo poleg porušnih obremenitev registrirali tudi način porušitve in pri nekaterih vzorcih deformacijo spoja na bazi 50 mm.

Značilen diagram, ki prikazuje deformacijo spoja v odvisnosti od obremenitve za vzorce iz smrekovega lesa, izpostavljene konstantno visoki vlagi, je prikazan na sliki 3.



Sl. 3. Diagram sila – deformacija pri preiskavi strižne trdnosti spojev

Primerjava strižnih trdnosti obremenjenih in neobremenjenih vzorcev, izdelanih iz obeh vrst lesa, je za različne dolgotrajne izpostavitve vlagi prikazana v preglednici III.

Preglednica III: Strižna trdnost lepljenih spojev (MPa)

Opomba: $\bar{\tau}$... povprečna strižna trdnost vzorcev
 τ_{maks} ... maksimalna izmerjena vrednost

Vrsta lesa, pogoji		Normalna vlaga		Visoka vlaga		Spremenljiva vlaga	
		$\bar{\tau}$	τ_{maks}	$\bar{\tau}$	τ_{maks}	$\bar{\tau}$	τ_{maks}
Bukev	Obremenjeno	9,7	16,0	9,8	12,0	11,7	16,1
	Neobremenjeno	6,4	10,2	7,4	7,9	7,3	8,1
Smreka	Obremenjeno	7,2	8,2	6,7	8,7	6,9	8,2
	Neobremenjeno	6,4	6,5	6,6	9,8	6,9	8,1

Na osnovi rezultatov preiskav ugotavljamo, da na povprečne vrednosti strižnih trdnosti vlažnostni pogoji bistveno ne vplivajo. Prav tako ni opazno vidno zmanjšanje trdnosti po enoletni obremenitvi (pri vzorcih iz bukovega lesa smo v spremenljivi vlagi dobili celo najvišjo vrednost τ_{maks}). Na splošno bi lahko trdili, da so pri epruvetah iz bukovega lesa povprečne trdnosti pri izpostavitvi visoki vlagi nekoliko manjše (vendar je tudi raztros rezultatov manjši), medtem ko dobimo pri vzorcih iz smrekovega lesa največje vrednosti pri obremenjenih vzorcih pri normalni vlagi (največje so sicer vrednosti pri neobremenjenih vzorcih v visoki vlagi, vendar je pri teh velik raztros rezultatov – 33%).

Primerjava togosti strižnih spojev obremenjenih in neobremenjenih epruvet pri preiskavah do porušitve kaže sicer minimalne razlike (obremenjeni spoji so nekoliko bolj deformabilni, prav tako so minimalno večji izmerjeni pomiki pri spojih iz vlažnega okolja), vendar pa na tej osnovi težko sklepamo o povečevanju deformabilnosti pri trajni obremenitvi.

Na osnovi rezultatov preiskav lepljenih spojev smo tako ugotovili, da je vpliv obremenitve in vlage na strižno

trdnost oz. deformabilnost minimalen, da pa smo verjetno opazovali prekratek čas (ta je bil izbran glede na čas obremenjevanja nosilcev). Preiskave ameriških raziskovalcev (6) namreč kažejo, da pride do degradacije spojev v kasnejših obdobjih (pri vzorcih iz vezane plošče, zlepjene z rezorcin-fenol-formaldehidnim lepilom, je trajalo zmanjševanje trdnosti celo do 15 let). Ker rezultatov dolgotrajnih preiskav lepljenih spojev na lesu iglavcev v literaturi praktično še ni, menimo, da so za boljše poznavanje obnašanja obremenjenih spojev pri različni vlažnosti potrebne še nadaljnje preiskave.

5. PREISKAVE LAMELIRANIH NOSILCEV

Preiskave nosilcev v naravni velikosti smo izvajali na ZRMK, kjer je bilo v okviru mednarodnega raziskovalnega projekta (sodelovanje z ZDA) izpostavljenih dolgotrajni obremenitvi in vlagi 20 upogibnih elementov z dimenzijami 0,10 × 0,19 × 3,65 m. Nosilci so bili eno leto obremenjeni s t.i. računsko obremenitvijo, pri čemer smo spremljali naraščanje pomikov in specifičnih deformacij, po enoletni obremenitvi pa so bili v laboratoriju preiskani do porušitve. Vzorci so bili razdeljeni na 4 skupine po 5 elementov, od katerih so bile 3 skupine (15 elementov) obremenjene s stalno težo pri različnih relativnih vlažnostih okolja, četrta, t.i. kontrolna skupina, pa je ostala neobremenjena v normalni vlagi.

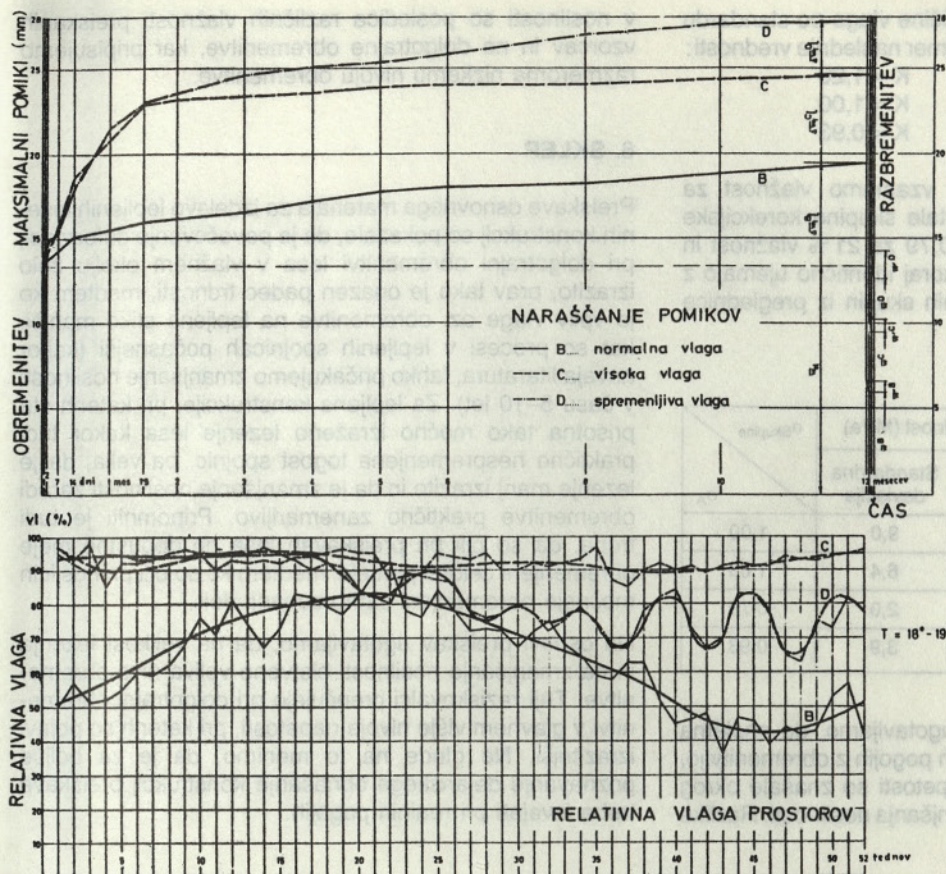
Zaradi boljše primerjave je bil izbran en nivo obremenitve – obtežba, ki je delovala v obeh tretjinah razpona in je bila tolikšne intenzitete, da je v robnih vlaknih povzročila

dopustne upogibne napetosti po standardu JUS U.C9.300 za normalno vlažnost lesa (18%), tj. 14,0 MPa.

Med celoletnim obremenjevanjem so bili z merilno urico, vgrajeno v posebej izdelani togi okvir, merjeni pomiki nosilcev v sredini razpetine, z mehanskim deformetrom pa tudi raztezki oz. skrčki robnih vlaken srednjega prereza. Merili smo v obdobju intenzivnejšega naraščanja deformacij v manjših intervalih, po 6 mesecih pa v presledku 2 mesecev. Po razbremenitvi so bili izmerjeni trenutni preostali pomiki in specifične deformacije, po stabilizaciji, ki je trajala 1–2 dni, pa še končne vrednosti preostalih pomikov.

Meritvam lezenja so sledile laboratorijske preiskave vseh vzorcev do porušitve, da bi ugotovili morebitno zmanjšanje nosilnosti, ki ga je povzročila dolgotrajna obtežba oz. spreminjajoča se vlažnost. Zaradi neposredne primerjave so bili nosilci preiskani z različno količino vlage, ki je bila pred porušno preiskavo natančno izmerjena.

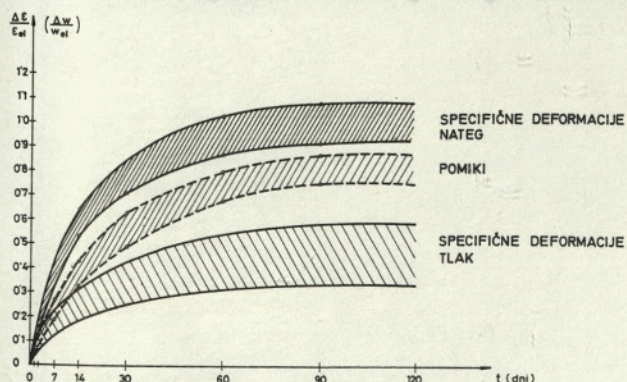
Rezultati meritev pomikov – povprečne vrednosti skupin – so prikazani na sliki 4 skupaj z meritvami spreminjanja vlage prostorov.



Sl. 4. Izmerjeni pomiki in relativna vlažnost prostorov med enoletno obremenitvijo

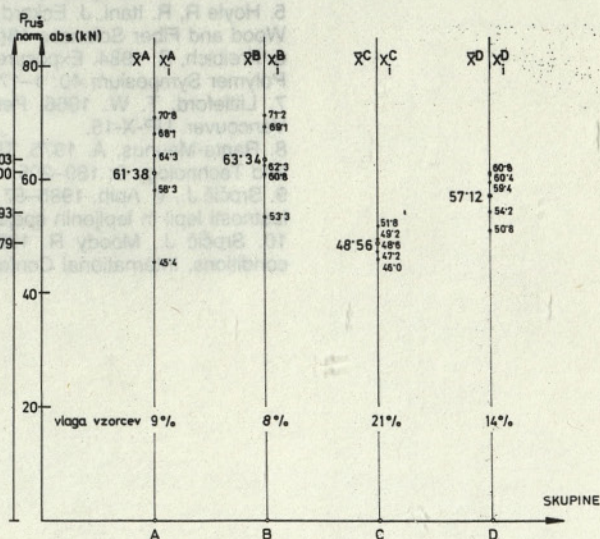
Dobljeni rezultati so potrdili pričakovanja: povečevanje deformacij je največje pri cikličnem spreminjanju vlage okolja (skupina D), kjer dosežejo prirastki pomikov v enem letu 105 % vrednosti elastičnih pomikov. V visoki vlagi (skupina C) so prirastki deformacij enaki 85 % elastičnih, pri vzorcih v normalni vlagi (skupina B) pa 50 %. Tudi preostali pomiki so odvisni od vlage okolice: trajne preostale deformacije so znašale 31–45 % maksimalnih vrednosti oz. 46–92 % elastičnih vrednosti.

Naraščanje pomikov ter specifičnih deformacij v tlačni oz. natezni coni za vzorce, izpostavljene visoki vlagi, je za prve štiri mesece prikazano na sliki 5. Razvidno je, da se specifične deformacije v natezni coni povečujejo bolj kakor v tlačni coni, medtem ko je naraščanje pomikov kombinacija obeh.



Sl. 5. Naraščanje pomikov in specifičnih deformacij v visoki vlagi

Končno nosilnost po enoletni obremenitvi in izpostavitvi vlagi smo ugotavljali s kratkotrajnimi laboratorijskimi preiskavami do porušitve, pri čemer je bila izbrana enaka obremenitvena shema kakor pri dolgotrajnem obremenjevanju (dve koncentrirani sili na tretjinah razpetine). Rezultati meritev in povprečne vrednosti skupin so prikazani na sliki 6.



Sl. 6. Porušne obremenitve vzorcev

Razvidno je, da se dobljene nosilnosti razlikujejo po skupinah, pri čemer moramo upoštevati, da so bili vzorci preiskani pri različnih vlažnostih. Če upoštevamo korekcij-

ske faktorje za razne stopnje količine vlage po standardu JUS U.C9.200, dobimo za naš primer naslednje vrednosti:

8 % vlažnost	K = 1,20
18 % vlažnost	K = 1,00
21 % vlažnost	K = 0,93

Če kot osnovo za primerjavo vzamemo vlažnost za skupino A (9%), dobimo za ostale skupine korekcijske faktorje (1,02 za 8 % vlažnost, 0,79 za 21 % vlažnost in 0,92 za 14 % vlažnost), ki se skoraj identično ujemajo z razlikami v nosilnosti posameznih skupin iz preglednice IV.

Preglednica IV. Nosilnost vzorcev

Skupina	Vlažnost (%)	Upogibna trdnost (MPa)		σ_{Skupine} σ_A
		Povprečje	Standardna deviacija	
A	9	61,4	9,0	1,00
B	8	63,3	6,4	1,03
C	21	48,6	2,0	0,79
D	14	57,1	3,9	0,93

Na osnovi rezultatov preiskav ugotavljamo, da enoletna obremenitev v raznih vlažnostnih pogojih z obremenitvijo, ki je enaka računski (robne napetosti so znašale okrog 30 % trdnosti), ni povzročila zmanjšanja nosilnosti. Razlike

v nosilnosti so posledica različnih vlažnosti preiskanih vzorcev in ne dolgotrajne obremenitve, kar pripisujemo razmeroma nizkemu nivoju obremenitve.

6. SKLEP

Preiskave osnovnega materiala za izdelavo lepljenih lesenih konstrukcij so pokazale, da je povečevanje deformacij pri dolgotrajni obremenitvi lesa v vlažnem okolju zelo izrazito, prav tako je opazen padec trdnosti, medtem ko je vpliv vlage oz. obremenitve na lepljene stike manjši, ker so procesi v lepljenih spojinah počasnejši (kakor navaja literatura, lahko pričakujemo zmanjšanje nosilnosti v času 5–10 let). Za lepljene konstrukcije, pri katerih sta prisotna tako močno izraženo lezenje lesa kakor tudi praktično nespremenjena togost spojin, pa velja, da je lezenje manj izrazito in da je zmanjšanje nosilnosti zaradi obremenitve praktično zanemarljivo. Pripomniti je tudi treba, da so bili pri preiskavah lesa do dopustne meje obremenjeni celotni preseki, medtem ko so bili pri nosilnih močnejše obremenjeni samo zunanji deli.

Na osnovi preiskav ugotavljamo, da na velikost lezenja in na zmanjšanje nosilnosti bistveno vpliva nivo obremenitve. Tuji raziskovalci preučujejo pri dolgotrajni obremenitvi v glavnem višje nivoje napetosti, pri katerih so pojavi izrazitejši. Ne glede na to menimo, da je za boljše poznavanje dejanskega obnašanja konstrukcij preiskave treba izvajati pri realnih pogojih.

LITERATURA

1. Forest Products Laboratory. 1987. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, USDA Forest Service, Madison, W. I.
2. Gerhards, C. 1977. Effect of duration and rate of loading on strength of wood and wood – based materials, Research Paper FPL 283.
3. Gerhards, C. 1979. Time related effects of loading on wood strength: A linear cumulative damage theory, Wood Science: 139–144.
4. Gerhards, C. 1980. Effect of temperature and moisture content on duration of load characteristics of lumber. Workshop on Environmental Effect, Madison WI: 125–131.
5. Hoyle R, R. Itani, J. Eckard, 1986. Creep of Douglas-Fir beams due to cyclic humidity fluctuations, Wood and Fiber Sciences 18(3): 486–477.
6. Kreibich, R. 1984. Exposure of glue lines to weather, Journal of Applied Polymer Science; Applied Polymer Symposium 40: 1–17
7. Littleford, T. W. 1966. Performance of glued laminated beams under prolonged loading. FPL Vancouver. UP-X-15.
8. Ranta-Maunus, A. 1975. The viscoelasticity of wood at varying moisture content. Wood Science and Technology 9: 189–205.
9. Srpcič J., V. Apih, 1986–87: Vpliv trajne obtežbe in spremenljivih klimatskih pogojev na mehanske lastnosti lepil in lepljenih spojev (raziskovalna naloga).
10. Srpcič J., Moody R. 1988: Creep of small glulam beams under changing relative humidity conditions, International Conference on Timber Engineering, Seattle, Proceedings: 523–530.

GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

LETO XXXVIII

Revija izdaja:

ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE V LJUBLJANI

Glavni in odgovorni
urednik:

FRANC ČAČOVIČ

Lektor:

ALENKA RAIČ, Irena Furlani, Nada Zupanc, Irena Puhar

Tehnični urednik:

DANE TUDJINA

Uredniški odbor:

**SERGEJ BUBNOV, VLADIMIR ČADEŽ, VOJTEH VLODYGA, STANE PAVLIN,
GORAZD HUMAR, IVAN JECELJ, ANDREJ KOMEL, BRANKA ZATLER-ZUPANČIČ,
JOŽE ŠČAVNIČAR, dr. MIRAN SEJE**

Tisk:

TISKARNA TONE TOMŠIČ V LJUBLJANI

LJUBLJANA 1989

KAZALO ZA LETNIK XXXVIII, 1989

ČLANKI, ŠTUDIJE RAZPRAVE ARTICLES, STUDIES, PROCEEDINGS

APIH Vera:	
AKERMAN Janko, MAGLAJ Jože:	
Silos za moko v Celju	227
Flour silo	
Polimeri in sanacije	318
Polymers and the repair of structures	
BUBNOV Sergej:	
Potres v Armeniji	58
Earthquake of Armenia	
BATISTIČ Brane, DURINI Janez:	
Izgradnja HE Lomščica in uporaba visokoaeriranega betona	103
Construction of HE Lomščica and application of high-aerated concrete	
BLAGUS Matija:	
Montažni prostorski sistem »DOM 101« GIP VEGRAD Titovo Velenje	218
Prefabricated system "DOM 101"	
ČERNELČ Samuel, ŽLAJPAH Dejan:	
Montažni sistem »INGRAD« – projektiranje (CAD) konstruiranje armature in izdelava dokumentacije (AR-CAD)	210
Prefabricated system "INGRAD" – designing (CAD), reinforcement structuring and elaboration of documentation (AR-CAD)	
ČREPINŠEK Elza:	
Lahek montažno-demontažni sistem – »LMD INGRAD«	234
"LMD INGRAD" building system	
DIMIC Damijana, ŠUPUT Jerneja, PELAN Matjaž:	
Titanova sadra iz CINKARNE Celje v proizvodnji cementa	287
Titanogypsum from the Celje ZINC-WORKS for the production of cement	
FAŠALEK Matej, AJDIČ Igor:	
Predstavitve sodobnega statičnega penetrometra	327
Introducing the modern static penetrometer	
GUŠTIN Josip:	
Večnamenska akumulacija RIŽANA	173
Multi-purpose reservoir of RIŽANA river	
GOSTIČ Borut:	
40 let razvoja zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana	268
GJURA Janez, FLIS Andrej:	
Visokoaerirani betoni v sanacijskih in restavratorskih delih	284
Highly aerated concretes in repair and restoration works	
IVANETIČ Jurij:	
Predlog metode ocenjevanja nahajališč mineralnih surovin za potrebe gradbeništva glede na njih možnost smotnega izkoriščanja	69
The proposal of an estimation method of the possibilities for practical exploitation of deposits of mineral raw materials for the needs of building industry	
KRŽIČ Franci:	
Težnje k racionalizaciji proizvodnje jeklenih in sovprežnih konstrukcij v razvitih državah	3
The tendencies for the rationalization of production of steel and composite structures in developed countries	
KOCIČ Hranislav:	
Titanokovna pločevina v gradbeništvu	240
Titanium-zinc metal sheets	
LITERA Leander:	
Trideset let gradbene tehniške šole v Celju	206
Technical school of civil-engineering in Celje – 30 th anniversary	
LEBENIČNIK Branko:	
Nova generacija dimnikov	237
Newtype of chimney	
LEBAR Jelka:	
Toplotna zaščita zgradb	301
MIKOŠ Matjaž:	
Metode vrednotenja srednjih pretočnih hitrosti v naravnih vodotokih	16
Methods for evaluating average flow velocities in natural streams	
MIKOŠ Matjaž:	
Metode vrednotenja zrnastosti združb plavin v naravnih vodotokih	158
Methods for analysing coarse-gravel, cobble sediments	
MALI Edvard, ZAJC Andrej, GJURA Janez st., ŠUŠTERŠIČ Jakob, GEČEV Tomo, KORLA Jadran:	
Highly(micro)aerated small-grained concretes in the construction industry	
PŠUNDER Mirko:	
Organizacijski in metodološki pristop k izvajanju kontrole projektov gradbenih objektov	63
Organizational and methodological approach to quality control of construction projects	
PLANINŠEK Marko:	
Kamnita drča – primer hidravlične stopnje na Savinji	232
Sto runway-an example of hydraulic level on Savinja	
POLUTNIK Friderik, KOCUVAN-POLUTNIK Alenka:	
Zreče – Rogla – Unior	245
REFLAK Janez:	
Sistemska zagotavljanje kontrole kakovosti izdelave in montaže jeklenih konstrukcij	8
Systemic assurance of quality control for manufacture and assembly of bearing steel structures	

RAIČ Gorazd: Sestavljanje naložbenih predračunov z ekspertnim sistemom za upravljanje podatkov	109
Bill of quantities within investment cost-estimating supported by data management expert system	
RAIČ Gorazd Uvajanje projektiranja na računalniškem sistemu »COMPUTERVISION«	139
Implementing a computervision system in a design engineering firm	
SKUBIC Marjeta: Program za račun opornih zidov »ROZI«	114
Computer program "ROZI" for calculating retaining walls	
SLOKAN-DUŠIČ Darja: Zagotovitev kvalitete (QA)	122
Quality assurance (QA)	
SVETLIČ Janez: Hladilni stolp – računalniški program za izračun geometrije in količin	143
Cooling tower-computer supported geometric design and the related bill of quantities	
ŠUBIC Lojze: Električna energija in okolje	30
Electrical energy and the environment	
ŠUBIC Lojze: Proizvodnja električne energije in varstvo okolja v Sloveniji	125
Electrical energy generation environmental protection in the SR Slovenia	
ŠPACAPAN Igor: Lahke hitropostavljive stolpne palično-žične konstrukcije	184
Metal truss-cables column structures with elastic joints	
ŠUSTERŠIČ Jakob, URBANČIČ Stanislav, MALI Edvard: Mikroarmirani betoni s poudarkom na visoko aeriranih betonih	280
Micro-reinforced concretes, with special emphasis on highly aerated concretes	
ŠOBA Jurij, ELERŠEK Andrej, KOVAČEVIČ Mihaela: 13 let razvoja na področju temperaturno obstojnih izolacijskih materialov	294
13 years of development of high-temperatures resistant insulating materials	
ŠIMENKO Peter: Preventivna gradbena požarna zaščita zgradb	303
TOMAŽEVIČ Miha, VELECHOVSKAY Tomaž, WEISS Polona: Raziskave potresne odpornosti zidanih zgradb z mešanim konstrukcijskim sistemom	311
Investigation of the seismic resistance of masonry buildings with a mixed structural system	
TRINKAUS Ernest, GODEC Boštjan, KENDA David: Korozija armature v betonu	322
The corrosion of reinforcement in concrete	
VEHOVAR Leopold: Vpliv kloridov v betonu na korozijo jeklene armature	24
Influence of chlorides on corrosion of reinforcing steel in concrete	
VEHOVAR Leopold: Napetostno korozijsko pokanje visokotrdnostnih jekel v prednapetih betonskih konstrukcijah	74
Stress corrosion cracking of strength steels in prestressed concrete constructions	
VEHOVAR Leopold: Katodna zaščita prednapetih konstrukcij, DA? NE! – vpliv blodečih električnih tokov	188
The cathodic protection of prestressed structures, YES, NO! – the influence of stray electrical currents	
VOLOVŠEK Savo: Gradbena akustika	305
ZADNIK Branko: Analiza stabilnosti konstrukcij pri potresnem vzbujanju, stanje raziskav december 1988	133
Seismic stability analysis of structures subjected to strong ground motions, state-of-the-art december 1988	
ZUPAN Matjaž: Pasivno izkoriščanje sončne energije	307
ŽNIDARIČ Jaš, TERČELJ Stane, MAROLT Janja: Ocenjevanje stanja in zanesljivosti betonskih konstrukcij	166
Performance assessment of existing concrete structures	
ŽARGI Peter: Hidrozaščita zgradb	308
BERTONCELJ Hedi: Zaključki kamnosekov in predstavnikov kamnarskih DO, sprejeti na seminarju 9. 2. 1989	195
DEBELJAK Miran: IBE-inženirski biro ELEKTROPROJEKT – 40 let	102
DGIT – Celje: Dejavnost društva DGIT – Celje	255
JUVANC Alojz: Pojasnilo k članku »Geodetske podloge za projektiranje cest«	148
STRMOLE Feliks, BOJC Janez, ČAČOVIČ Franc: Iz redne skupščine zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije z dne 16. 5. 1989	
UREDNIŠKI odbor: Navodila za pripravo člankov in poročil za »GRADBENI VESTNIK«	38
VREČKO Franc: Ob jubileju gradbene srednje šole v Mariboru	47
ZDGIT: Zapisnik redne skupščine Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov	191

IZ NAŠIH KOLEKTIVOV FROM OUR ENTERPRISES	CEPUŠ Lojze: Kronika 82 Kronika 249	
POROČILA FAKULTETE ZA ARHITEKTURO, GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO PROCEEDINGS OF THE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY E. KARDELJ, LJUBLJANA	Št. 9 BANOVEC Jure, BEG Darko, MARTINČIČ Matjaž: Program dimj za kontrolo nosilnosti jeklenih konstrukcij 40 A computer program dimj for dimensioning of stell structures Št. 10 KRŽIČ Franci: Približni račun mejne nosilnosti nezvarjenih in zvarjenih tlačnih aluminijastih palic 89 The approximate calculation of ultimate capacity of unwelded and welded compressed alu members Št. 11 CIMPERŠEK Jernej: Račun vkopanih cevi 150 Št. 12 DUHOVNIK Janez: Stanje in razvojne težnje pri uporabi računalnika v konstrukcijskem gradbenem inženirstvu State-of-the-art and development trends in computer-aided structural civil engineering Št. 13 DUHOVNIK Janez: Ekspertni sistemi v gradbeništvu 256 Expert systems in civil engineering Št. 14 FISCHINGER Matej, FAJFAR Peter: O potresnih silah v predpisih 334 On the seismic forces in aseismic codes	
INFORMACIJE ZAVODA ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ V LJUBLJANI PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE FOR MATERIAL AND STRUCTURES RESEARCH LJUBLJANA	Št. 285 VOLOVŠEK Savo: Vpliv kakovosti izvedbe gradbenih del na zvočno zaščito stanovanjskih zgradb 51 The influence of the quality of construction on achievable dound-insulation conditions in residential buildings Št. 286 FAŠALEK Marko: Temeljenje bločnih nizov v soseski GMAJNA Črnuče v Ljubljani 97 Foundation of a complex of block-of-flats at the GMAJNA housing estate, Črnuče near Ljubljana Št. 287 DIMIC Damijana: Elektrofiltrski pepel kot pucolan 155 Fly-ash as pozzolana Št. 288 DIMIC Damijana: Elektrofiltrski pepel kot pucolan 201 Fly-ash as pozzolana Št. 289 ŠUSTERŠIČ Jakob, Ada de Costa: Vpliv parametrov sestave elektroporovno gretje betonov 263 The influence of composition parameters on the electrical-resistand heating of concretes Št. 290 SRPČIČ Jelena, Houška Mladen: Lepljeni leseni lamelirani nosilci v spremenljivi vlagi 341 Glued laminated beams in changing humidity conditions	

IZOIT

industrija izolacijskih materialov, n. sol. o.
61110 Ljubljana, ob železnici 18

telefon (061) 443 096, 442 402

telex: 31585 yu izo

telefax: (061) 445 182

izdelujemo:

bitumenske strešne lepenke
pergamin
izoval – hidroizolacijski trakovi
izotekt – bitumenski varilni trakovi
izokrit – bitumenska skodla
izostik – bitumensko lepilo
bitumenske emulzije in raztopine
bitumenske mase in kite
tesnilne trakove
kombi – S plošče
stryopor plošče in embalažo
izomat plošče
mineralno volno
protipožarna vrata

nudimo:

storitve s področja protipožarnega inženiringa
strokovno vgradnjo vseh vrst izolacijskih materialov
z jamstvom

za dodatne informacije pokličite našo
informativno službo – tel. (061) 443 096
int. 36 ali 59