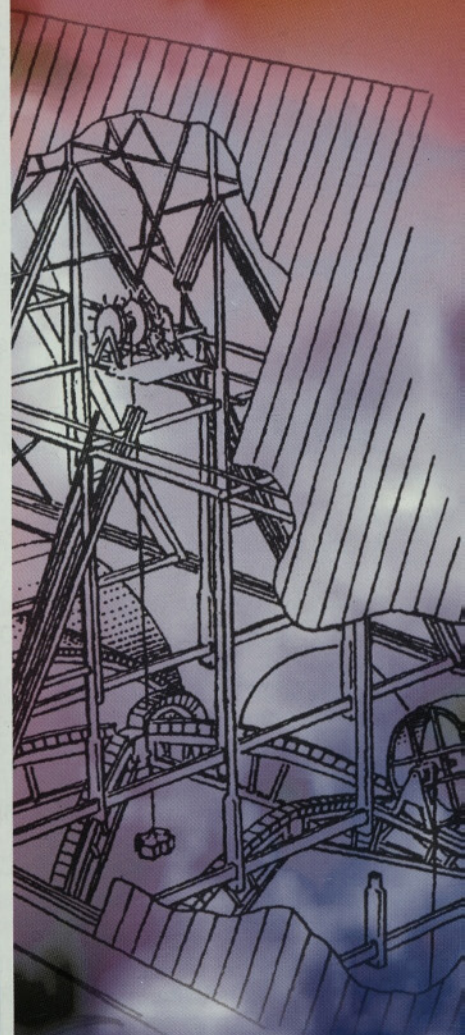
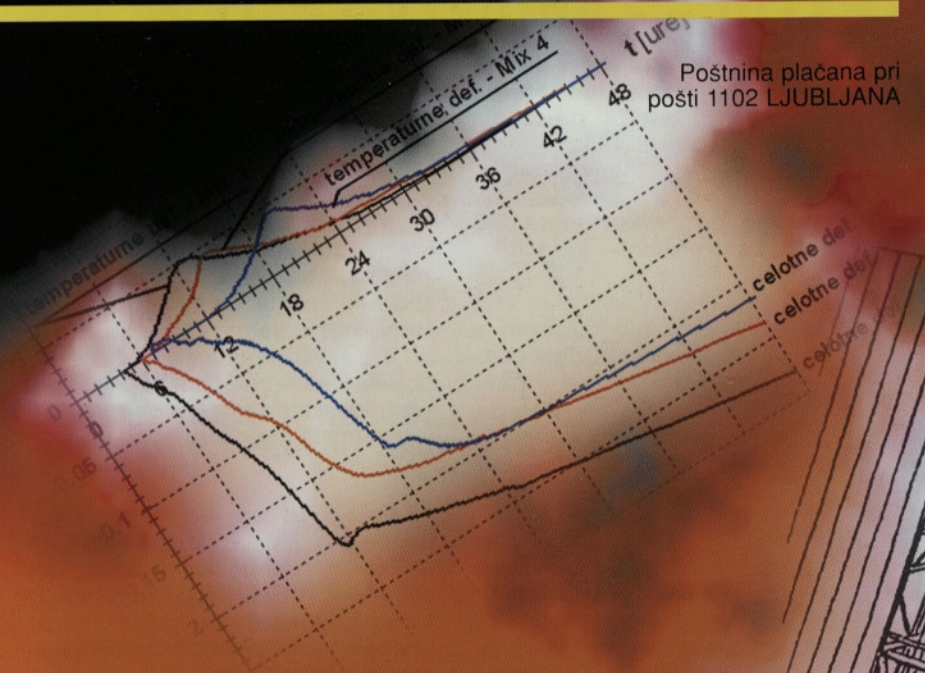


GRADBENI VESTNIK

GLASILO
ZVEZE DRUŠTEV
GRADBENIH
INŽENIRJEV
IN TEHNIKOV
SLOVENIJE

Poština plačana pri
pošti 1102 LJUBLJANA

JULIJ 2001



1951
2001

Glavni in odgovorni urednik:

Prof.dr. Janez **DUHOVNIK**

Lektorica:

Alenka **RAIČ - BLAŽIČ**

Tehnični urednik:

Danijel **TUDJINA**

Uredniški odbor:

Doc.dr. Ivan **JECELJ**

Andrej **KOMEL**, u.d.i.g.

Mag. Gojmir **ČERNE**

Prof.dr. Franci **STEINMAN**

Prof.dr. Miha **TOMAŽEVIČ**

Janja **PEROVIC-MAROLT**, u.d.i.g

Tisk:

TISKARNA LJUBLJANA d.d.

Količina: 900 Izvodov

Revijo izdaja ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, Ljubljana, Karlovska 3, telefon/faks: 01 422-46-22, ob finančni pomoči Ministrstva RS za znanost in tehnologijo, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter Zavoda za gradbeništvo Slovenije.

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5000 SIT; za študente in upokoјence 2000 SIT; za gospodarske naročnike (podjetja, družbe, ustanove, obrtnike) 40500 SIT za 1 izvod revije; za naročnike v tujini 100 USD. V ceni je všteti DDV.

Žiro račun se nahaja pri Agenciji za plačilni promet, Enota Ljubljana, številka: 50101-678-47602.

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.

2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.

3. Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.

4. Besedilo mora biti izpisano z dvojnimi presledki med vrsticami.

5. Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.

6. Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka (velike črke); imena in priimke avtorjev; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, naslov članka v angleščini (velike črke) in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.

7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.

8. Slike, preglednice in fotografije morajo biti oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Slike in fotografije, ki niso v elektronski obliki, morajo biti priložene prispevku v originalu in dveh kopijah.

9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.

10. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki [priimek

prvega avtorja, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.

11. V poglavju LITERATURA so dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime avtorja, priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.

12. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratak opis, npr. v zasebnem pogovoru.

13. Pod črto na prvi strani, pri prispevkih, krajših od ene strani pa na koncu prispevka, morajo biti navedeni obsežnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, naslov.

14. Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v treh izvodih in v elektronski obliki (WORD, EXCEL, AVTOCAD, DESIGNER).

Uredniški odbor

VSEBINA - CONTENTS

Članki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

Stran 154

Marjan Čerin

**SANACIJA OBJEKTA ŠOLSKEGA
CENTRA TOLMIN, POŠKODOVANEGA V
POTRESU V POSOČJU SPOMLADI 1998**

**REPAIR OF THE EARTHQUAKE -
DAMAGED BUILDING OF THE TOLMIN
TRAINING CENTRE**



Stran 161

Domen Kušar

**IZOBRAŽEVANJE, DELO IN
ODGOVORNOST STAVBENIKA V
SREDNJEM VEKU**

**EDUCATION, WORK AND
RESPONSIBILITY OF THE BUILDER IN
THE MIDDLE AGE**



Stran 167

Drago Saje, Franc Saje

**AVTOGENO KRČENJE BETONOV
Z VISOKO TRDNOSTJO**

**AUTOGENOUS SHRINKAGE OF
HIGH-STRENGTH CONCRETE**

M. ČERIN: Sanacija objekta šolskega centra Tolmin, poškodovanega v potresu v Posočju spomladi 1998

SANACIJA OBJEKTA ŠOLSKEGA CENTRA TOLMIN, POŠKODOVANEGA V POTRESU V POSOČJU SPOMLADI 1998

REPAIR OF THE EARTHQUAKE-DAMAGED BUILDING OF THE TOLMIN TRAINING CENTRE

STROKOVNI ČLANEK
UDK 699.841

MARJAN ČERIN

P O V Z E T E K V prispevku je predstavljen način sanacije in protipotresne ojačitve objekta Šolskega centra Tolmin, ki je bil poškodovan v potresu v Posočju 12. aprila 1998. Osnovna nosilna konstrukcija objekta je jeklen skelet s polnilnimi stenami iz siporeks blokov. Stropne konstrukcije so armiranobetonske plošče. V kleti in pritličju je nekaj sten armiranobetonskih. Med potresom je največ poškodb nastalo na polnilnih stenah in oblogah iz siporeksa. Pregled objekta in projektno dokumentacijo sanacije so izdelali sodelavci Državne tehnične pisarne Bovec-Kobarid. Objekt se je saniral v poletnih počitnicah leta 1999. Sanacijo je izvajalo podjetje Primorje iz Ajdovščine pod nadzorom Državne tehnične pisarne.

S U M M A R Y The paper presents the repair and the structural strengthening of the building of the Tolmin Training Centre which was damaged by the earthquake in the Soca Valley region on April 12th, 1998. The basic load bearing structures are steel frames with infilled walls made by lightweight concrete blocks. The floor structures are reinforced concrete slabs. In the basement and in the ground floor some walls are made by reinforced concrete. During the earthquake the most severe damages on the infilled walls and the coverage made by the lightweight concrete were occurred. After the earthquake the building was inspected and then the technical documentation was prepared by experts of the State Technical Office. The repair works on the building were done by company Primorje Ajdovščina in August, 1999 under the State Technical Office supervision.

Avtor:

mag. Marjan Čerin, univ. dipl. inž. grad., I.RA. Inženiring Radovljica, Gorenjska 26, 4240 RADOVLJICA

1. UVOD

Potres v Posočju, ki je stresel tla 12. aprila 1998, je pustil za sabo posledice na dokaj širokem območju. Zaradi večje oddaljenosti od epicentra potres v Tolminu ni povzročil toliko škode kot na Boveškem in Kobarškem. Toda kljub temu je bilo poškodovanih kar nekaj novejših objektov. Pri večini so bile poškodbe posledica napak tako pri zasnovi kot pri gradnji objektov.

Primer takega objekta je Šolski center v Tolminu (slika 1). Zasnovan je tako, da je osrednji del objekta, v katerem je knjižnica (visoka stalna obežba), dvignjen nad drugimi deli (slika 2). Ta del prvotno ni bil povezan z drugimi deli, ampak je stal samostojno na jeklenih stebrih. Nekaj armiranobetonskih sten, ki naj bi horizontalno stabilizirale objekt, je bilo med gradnjo nadomeščenih kar s stenami, pozidanimi iz siporeks blokov. Posledica tega je bilo povečano nihanje objekta med potresom, kar je povzročilo poškodbe predvsem na polnilnih stenah s tem, da je bilo največ poškodb na osrednjem delu objekta na mestu knjižnice.

V skladu z Zakonom o popotresni obnovi in spodbujanju razvoja v Posočju je bil lastnik objekta (Občina Tolmin) upravičen do državne pomoči, to je do izdelave



Slika 1: Zunanost Šolskega centra Tolmin

projektne dokumentacije za obnovo in sanacijo, financiranja določenega dela potrebnih sredstev in strokovnega nadzorstva med izvajanjem sanacije. Tako so pregled objekta in projektno dokumentacijo obnove in sanacije izdelali sodelavci Državne tehnične pisarne Bovec-Kobarid pod strokovnim vodstvom družbe GRAS d.o.o., Tehnološki park Gradbenege inštituta ZRMK. Zato, da ne bi bil moten pedagoški proces, se je objekt saniral v času poletnih počitnic julija in av-

gusta leta 1999. Sanacijo je izvajalo podjetje Primorje iz Ajdovščine pod strokovnim nadzorom Državne tehnične pisarne.

2. OPIS OBJEKTA

Objekt Šolskega centra Tolmin je bil zgrajen po potresu leta 1976. Nahaja se v kompleksu športne dvorane in dijaškega doma v južnem delu Tolmina. Zunanji gabariti delno razgibanega tlorisa znašajo ca. 110 x 60 m. Po višini objekt obsega klet, pritličje in nadstropje.

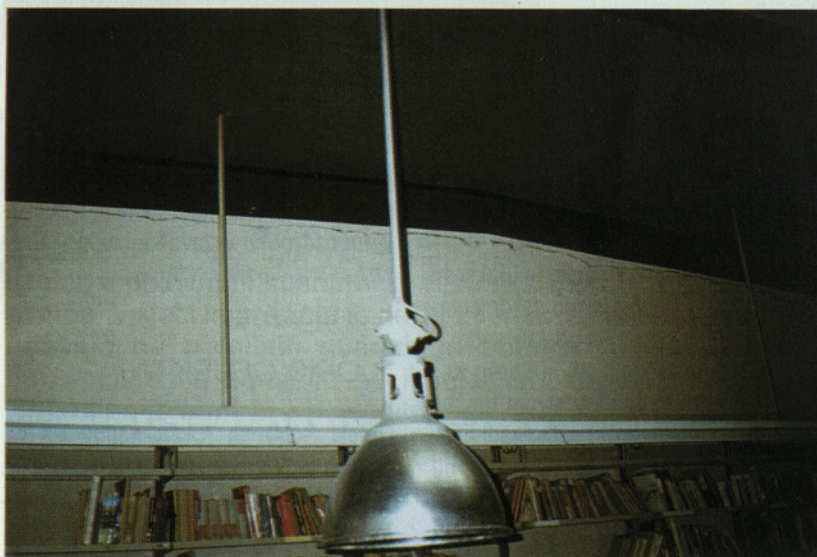
Glavna nosilna konstrukcija je izdelana kot jeklen skelet iz jeklenih stebrov in jeklenih nosilcev. Pod stebri so točkovni armiranobetonski temelji, ki so med seboj povezani z armiranobetonskimi temeljnimi nosilci. Polnilne in predelne stene so pozidane iz siporeks blokov debeline 22,5 in 12,5 cm. V kleti in pritličju je nekaj sten ob hodniku armiranobetonskih (slika 3), debeline 28 in 22 cm. Te rabijo predvsem za horizontalno stabilizacijo objekta. Armiranobetonske stene so temeljene na pasovnih temeljih. Stropne konstrukcije so izdelane kot armiranobetonske plošče debeline 12 cm. Streha je ravna-nepohodna, nosilna kon-



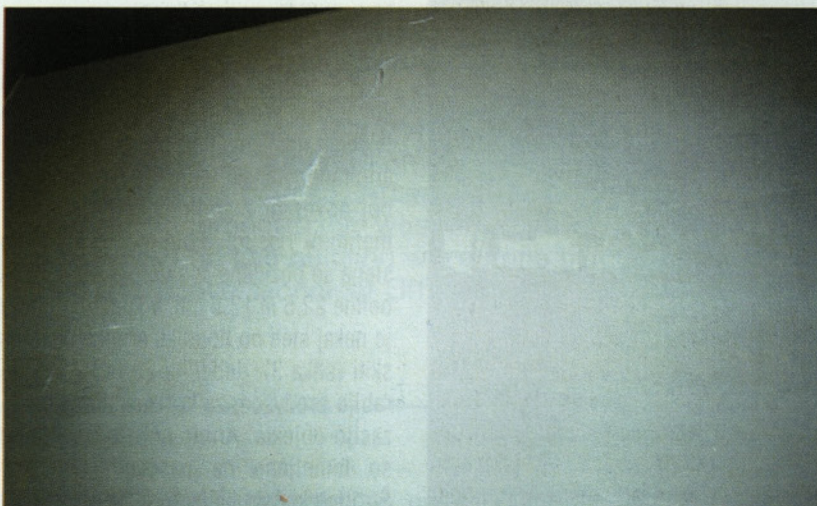
Slika 2: Knjižnica



Slika 3: Stene ob hodniku v kleti



Slika 4: Izpad polnilne stene iz siporeksa v knjižnici



Slika 5: Poševne razpoke na polnilni steni iz siporeksa, nastale na stikih med bloki

strukcija strehe je armiranobetonska plošča.

3. OPIS POŠKODB ZARADI POTRESA

Armiranobetonske stene med potresom niso bile poškodovane. Prav tako ni prišlo do poškodb na nosilni jekleni konstrukciji. Polnilne stene iz siporeksa so bile bolj ali manj razpokane (slike 4-7). Razpoke so nastale pretežno po stikih med bloki, popustili pa so tudi stiki s stebri in nosilci skeleta ter s stropno ploščo. Posamezne stene predvsem v osrednjem delu, kjer je knjižnica, so se nagnile – izmaknile iz okvirja skeletne konstrukcije. Med potresom je izpadlo ca. 40 % lamel obešenega stropa DAMPA.

Zaradi razpok in reg ter že tako relativno lahkega siporeksa polnilne stene niso nudile zadostne zvočne izolacije med posameznimi učilnicami, tako da je bil pouk zelo moten.

Omenjene poškodbe kažejo na to, da se je v fazi projektiranja objekta sicer pazilo na zadostno nosilnost konstrukcij, premalo pozornosti pa je bilo posvečeno podajnosti, kar je imelo za posledico nastanek poškodb med potresom na nenosilnih elementih. Svoje so prispevali še graditelji, ki so predvidene armiranobetonske stene nadomestili s stenami, pozidanimi iz siporeksa blokov.

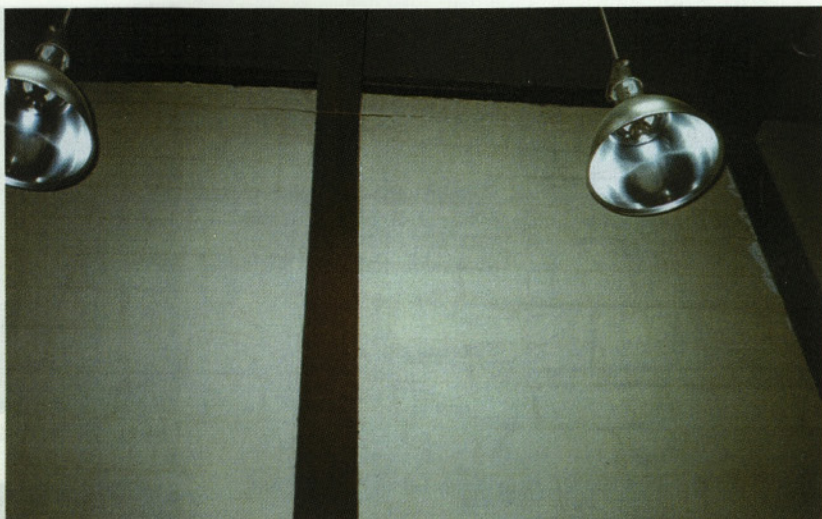
4. IZVEDBA OBNOVITVENIH, SANACIJSKIH IN OJAČITVENIH POSEGOV

Sanacijske posege smo zasnovali tako, da smo poleg saniranja posledic potresa v največji možni meri odpravili tudi vzroke za nastanek tako obsežnih poškodb. Izvedli smo naslednje obnovitvene, sanacijske in ojačitvene posege:

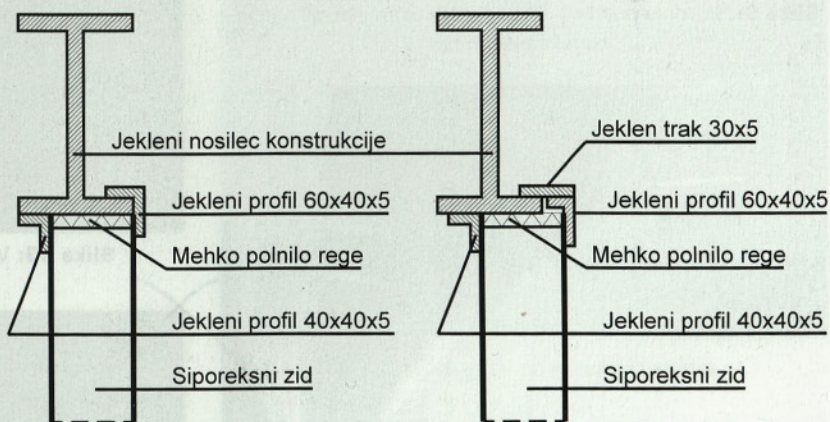
- Z epoksidno smolo smo injektirali razpoke v armiranobetonskih stenah v kletni etaži v območju kotlovnice in telovadnice ter v stropnih ploščah nad pritličjem v garderobah in v nadstrop-

ju nad knjižnico. Razpoke sicer niso bile posledica potresa, ampak so nastale zaradi reologije betona, ker pa zmanjšujejo nosilnost sten in plošč, smo jih sanirali.

- Na mestih, kjer so bile v prvotnem projektu predvidene armiranobetonske stene, dejansko pa so bile izvedene iz siporeksa, smo obstoječe stene najprej porušili ter nato skozi vse etaže izdelali nove armiranobetonske stene. Armiranobetonske stene smo povezali z jekleno konstrukcijo s sidri, privarjenimi na jeklene nosilce in stebre.
- Močno poškodovane siporeksne stene v območju knjižnice smo porušili in nanovo pozidali.
- Močno poškodovano siporeksno oblogo čelne stene v telovadnici smo odstranili in jo nadomestili z opečno steno s horizontalnimi luknjami v prostor, ki ima nalogo toplotne izolacije in absorbirati zvok. Opečno steno smo s sidri povezali z zunanjo armiranobetonsko steno.
- Vse razpokane spojnice med siporeksnimi bloki v polnilnih stenah in oblogah smo očistili in in stike na novo zapolnili (obojestransko oziroma enostransko). Obloge smo še dodatno sidrali v armiranobetonske stene.



Slika 6: Horizontalne razpoke na polnilni steni iz siporeksa

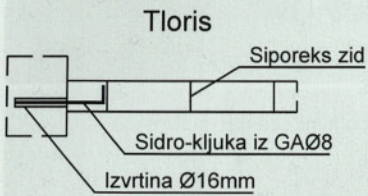
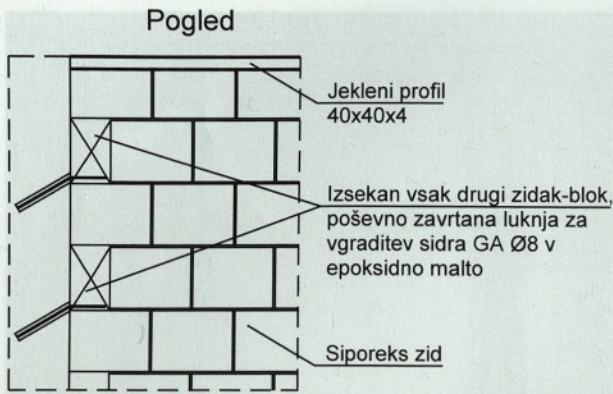


Slika 8: Vpenjanje polnilnih siporeksnih sten v jeklene nosilce



Slika 7: Nagnjena polnilna stena iz siporeksa

- Za preprečitev izpada iz svoje ravnine smo vse polnilne siporeksne stene vpeli na nosilno jekleno konstrukcijo ob straneh in zgoraj (mestoma tudi na armiranobetonsko ploščo). Vpenjanje smo izvedli s privaritvijo jeklenih kotnikov oziroma jeklenih trakov na jeklene nosilce in stebre (slika 8 in 10). Na armiranobetonske plošče smo kotnike privijačili. Gornjo rego – horizontalno fugo med stenami in jeklenimi nosilci smo očistili malte in jo zatesnili z poliuretansko peno.
- Stike med siporeksnimi stenami in armiranobetonskimi stenami oziroma stebri smo sanirali tako, da smo izsekali pol bloka vsakega drugega sklada, rahlo poševno zavrtali v armiranobetonski element in vgradili v epoksidno lepilo sidrne kljuge, slednje prekričili v ravnino horizontalne rege, vgradili siporeksni blok in rege zapolnili z lepilom za siporeks (slika 9).
- Nekatere polnilne stene iz siporeksa večjih dimenzij, kot so dolge in tanke stene v kleti, stene ob stopniščih, stene knjižnice in gornje stene telovadnice, je bilo potrebno dodatno ojačiti



Slika 9: Sidranje polnilnih siporeksnih sten v armiranobetonске elemente



Slika 10: Vpenjanje polnilnih siporeksnih sten v jeklene nosilce z jeklenimi kotniki



Slika 11: Vertikalna jeklena vez in stranska pritrditev polnilnih siporeksnih sten na jeklene stebre



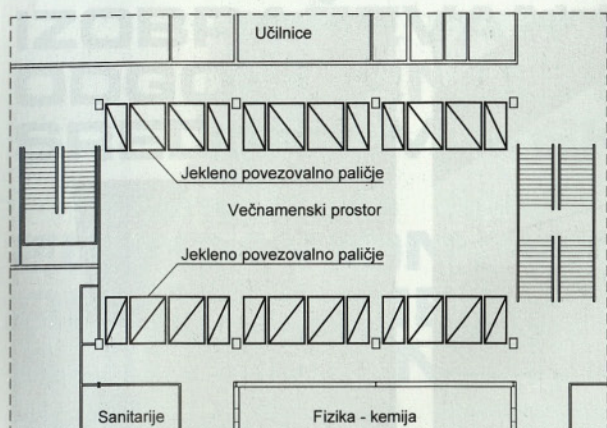
Slika 12: Vertikalna jeklena vez na večji steni ob stopnišču



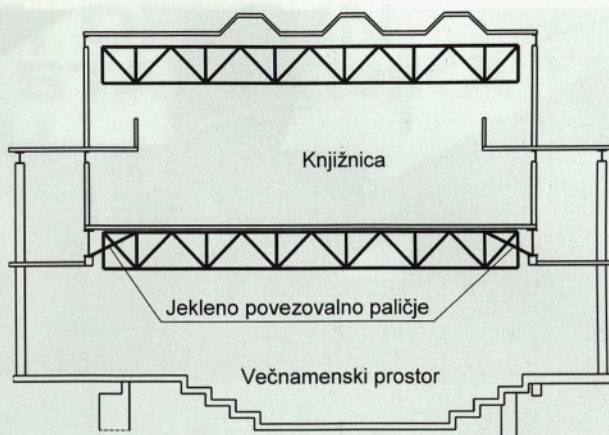
Slika 13: Vertikalna jeklena vez na večji steni ob stopnišču



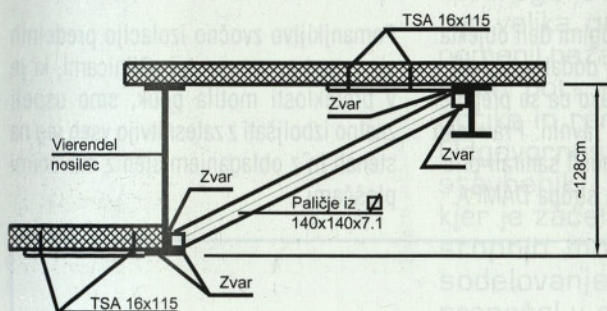
Slika 14: Ojačitev dolge stene ob hodniku



Slika 15: Shematični tloris osrednjega dela objekta



Slika 16: Shematični prerez osrednjega dela objekta



Slika 17: Detajl namestitve jeklenega povezovalnega paličja



Slika 18: Jekleno povezovalno paličje

z jeklenimi vertikalnimi vezmi-stebrički (slike 11 do 14).

- Obsežno popravilo (prefugiranje, sidranje) sten je zahtevalo popravilo površinske obdelave, to je popravilo ometov in ostalih stenskih oblog.
- Tanke polnilne siporeksne stene debeline 10 oziroma 12,5 cm, so tudi večjih dolžin in višin, smo ojačili s tankoslojnim ometom, armiranim s stekleno mrežico.
- Za izboljšanje zvočne izolacije smo na siporeksne predelne stene med učilnicami obojstransko pritrtili mavčne plošče debeline 12,5 mm.
- Na mestu dilatacije med šolskim objektom in telovadnico smo izdelali pravilno dilatacijsko rego. Iz dilatacije smo očistili malto in beton, pravilno

ravno oblikovali robove ter dilatacijo zaprli s trajno elastičnim kitom.

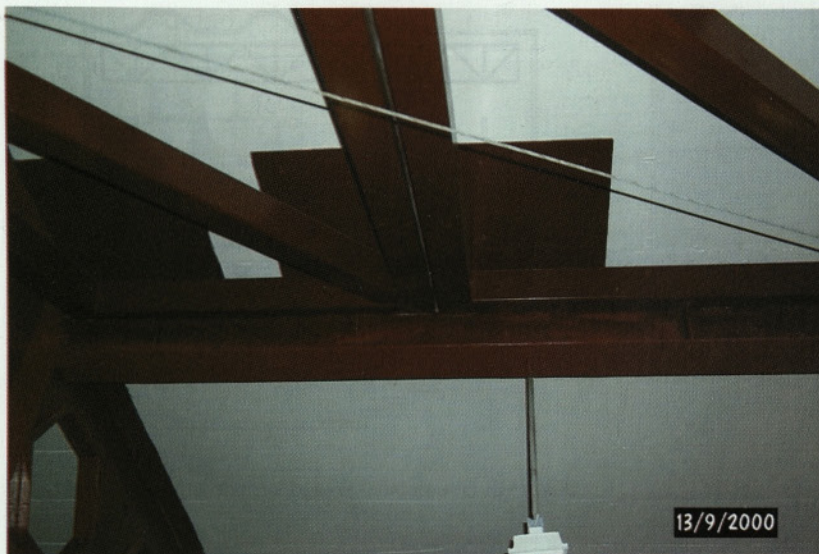
- Obešen strop DAMPA smo obnovili in dodatno učvrstili. Demontirali smo pločevinaste lamele in jih ponovno namestili z varovalkami, ki se sicer uporabljajo pri montaži in preprečujejo izpadanje, prvotno pa niso bile nameščene. Poškodovane lamele pa smo nadomestili z novimi.
- Osrednji del objekta, kjer je knjižnica, smo togo povezali v višini stropnih konstrukcij z drugimi deli objekta, ki vsebujejo armiranobetonske stene (slike 15 in 16). Ker je stropna armiranobetonska plošča knjižnice ca. 1,28 m višje od stropne plošče ostalega dela, smo togo povezavo izvedli na dveh mestih s poševnim jeklenim

paličjem (sliki 17 in 18). Oblika paličja se je prilagodila razpoložljivemu prostoru med jeklenima nosilcema knjižnice in ostalega dela objekta. Paličje smo z zvari pritrtili na jeklene nosilce ter nato na jeklene pločevine, ki smo jih s sidrnimi vijaki TSA M16 (8 kom na vozlišče) pritrtili na armiranobetonske plošče (sliki 19 in 20).

5. SKLEP

Z obnovitvenimi in sanacijskimi posegi na objektu Šolskega centra v Tolminu smo ne samo sanirali posledice potresa, ampak tudi izboljšali njegovo potresno

M. ČERIN: Sanacija objekta šolskega centra Tolmin, poškodovanega v potresu v Posočju spomladi 1998



Slika 19: Pritrditev paličja na zgornjo ploščo pod knjižnico

objekta je povzročila znatne poškodbe na polnilnih stenah in oblogah iz siporeksa. Zato smo z vgraditvijo novih armiranobetonskih sten povečali horizontalno togost, hkrati pa smo v nivoju stropne konstrukcije nad pritličjem povezali še osred-

nji del (knjižnico) z drugimi deli objekta. Polnilne stene smo še dodatno sidrali v nosilne konstrukcije, tako da se prepreči izpad sten iz njihovih ravnin. Prav tako smo za povečanje varnosti sanirali pritrditev lamel obešenega stropa DAMPA.



Slika 20: Pritrditev jeklenega paličja na spodnjo ploščo objekta

Pomanjkljivo zvočno izolacijo predelnih sten med posameznimi učilnicami, ki je v preteklosti motila pouk, smo uspeli znatno izboljšati z zatesnitvijo vseh reg na stenah in z oblaganjem sten z mavčnimi ploščami.

LITERATURA

PREDLOG ZA OBNOVO IN SANACIJO objekta Šolski center Tolmin, poškodovanega v potresu v Posočju spomladi 1998, projekt št. 34A, april 1999, Vlada republike Slovenije - Državna tehnična pisarna Bovec-Kobarid

IZOBRAŽEVANJE, DELO IN ODGOVORNOST STAVBENIKA V SREDNJEM VEKU

EDUCATION, WORK AND RESPONSIBILITY OF THE BUILDER IN THE MIDDLE AGE

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 69-051 "653" (091)

DOMEN KUŠAR

POVZETEK

S propadom Rimskega imperija se je končalo obdobje, za katerega je bila značilna urejenost, visoko tehnično znanje ter velika gradbena aktivnost. Srednji vek je na začetku pomenil nazadovanje gradbene dejavnosti, kasneje pa iskanje novih poti in novih rešitev, ki naj bi ustrezale zahtevam gotike in renesanse.

Odgovornost za kakovostno in varno zgradbo je imel glavni stavbenik¹. Znanje in spretnost si je nabral med ukom, kjer je začel kot vajenec ter lahko prek pomočnika dosegel stopnjo mojstra. Osnovno znanje si je izpopolnjeval s sodelovanjem pri večjih gradbenih podvigih in ga nato prenašal v svoje okolje, kjer je delal kot član ceha.

SUMMARY

The collapse of Roman Empire had great consequences to the building activities. The centuries of settledness, high technical knowledge and big building projects ended. The middle age means retrogression of building activities, but it also means searching new ways and possibilities of the building requested by the gothic and renaissance.

The builder had been responsible for the quality and safety building. He got knowledge and the skill during the teaching process. He started as an apprentice and through the assistant he could reach the position of the master. He could improve his basic knowledge at the bigger projects. He use this knowledge in his own milieu where he work as a member of the local guild.

Avtor:

Asistent, Domen Kušar, univ.dipl.inž.arh., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, Ljubljana.

D. KUŠAR: Izobraževanje, delo in odgovornost stavbenika v srednjem veku

UVOD

Propad Rimskega imperija je pomenil propad enotnosti celotnega prostora, ki ga je obsegal. Države, ki je z dobro notranjo ureditvijo, razvito trgovino, tehnologijo in vojsko omogočala blagostanje prebivalstva, ni bilo več. Sledilo je nekaj burnih stoletij negotovosti, ki so pometle z ostanki rimske zapuščine. Zaradi slabih varnostnih razmer je bil glavni cilj prebivalstva, vsaj na začetku srednjega veka, golo preživetje. Ko so se v 11. stoletju razmere počasi umirile, je bilo več možnosti za tehnični in gospodarski razvoj. Žal pa je bilo takrat veliko antičnega znanja že pozabljenega.

Gradbena dejavnost je po propadu Rimskega cesarstva nazadovala oziroma skoraj zamrla. Preživeli staroselci so po begu pred novimi zavojevalci gradili na hitro zidana in lesena bivališča na težko dostopnih utrjenih krajih, vendar so tudi te naselbine sčasoma propadle oziroma so bile uničene.

Arhitektura novonastalih zgradb je bila skromna. Večinoma so bile to lesene kočice. Nekoliko večjo ambicijo je doživela le gradnja obzidij, utrd in cerkva. Ti objekti so bili grajeni iz kamna in opeke. Gradbena dejavnost se je razmahnila šele kasneje, ko se je preseljevanje narodov končalo in so spet nastale močne državne tvorbe. Začela se je gradnja samostanov, katedral in mest. Slednja so največkrat nastala na ostankih nekdanjih rimskih naselij. Rimske ruševine so pomenile tudi priročno skladišče gradbenega materiala, ki so ga s pridom izkoriščali. Z njim so gradili predvsem najpomembnejše zgradbe. Ostale zgradbe, predvsem hiše, so bile še dolgo časa pretežno lesene. Eden od razlogov za opuščanje gradnje v kamnu ali opeki je bila visoka cena, saj ta način zahteva več znanja, spretnosti, orodja in dražji material. Za postavitev preproste lesene kočice je bil v

skrajnem primeru dovolj le gozd in sekira. Poleg tega so gozdovi prekrivali znaten del Evrope. Kritina je bila lesena ali slamnata.

V dobi gotike je gradbeništvo dobilo nov polet. Izziv je ponujala gradnja cerkva, predvsem katedral. Burgundski menih Radulf Glaber (1050) je veliko gradbeno dejavnost tistega časa označil s prispevkom, da se je Evropa pomladila in okrasila z belim okrasjem cerkva. To kaže na to, da so cerkve gradili predvsem iz kamna in ne več iz lesa. Poleg velikih cerkva

so gradili tudi samostane, manjše cerkvice in kapele (slika 1). Kolikšen obseg je pomenila ta gradnja, pove podatek, da je bilo za gradnjo sakralnih stavb med 11. in 14. stoletjem samo v Franciji porabljenega več kamna kot za vse gradnje v starem Egiptu. Zgrajeno je bilo 80 katedral in prek 500 velikih cerkva (Marinko, 1999: 169). Pri tem so graditelji nemaleokrat tudi precenjevali svoje zmožnosti in poznavanja tehnike ter konstrukcije. Posledice tega so bile porušitev dela ali celotne zgradbe oziroma večstoletna grad-



Slika 1: Srednjeveško gradbišče.

Miniatura iz 15. stoletja prikazuje gradnjo samostana v Schoenau (Kušar, 1999: 32).

¹ Pri opisih graditve naletimo na več poimenovanj vodje gradnje, kot na primer: magister operis, magister fabricae, operarius, massarius... Slednja dva največkrat pomenita stavbni vodja. Včasih so operarius dosledno prevajali s stavbenikom. Pri gradnji cerkvene arhitekture so bili operariusi večkrat duhovniki. Posvetni arhitekt je bil caput magister ali protomagister (Mušič, 1965: 167). V nadaljevanju je zaradi večje preglednosti uporabljeno ime stavbenik oziroma glavni stavbenik.

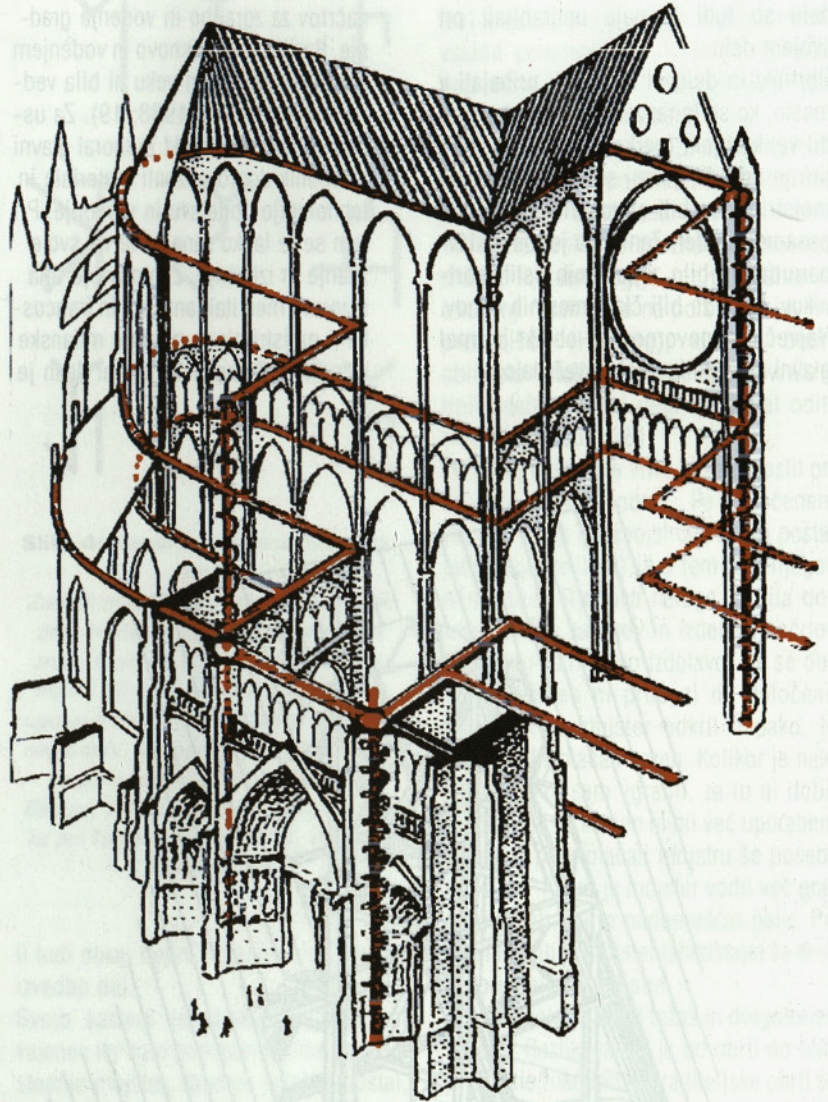
nja oziroma celo njeno nedokončanje. Tako velika gradbena aktivnost je zaposlovala množico ljudi različnih poklicev, od kamnosekov, tesarjev, krovcev, steklarjev, kovačev, do mizarjev in čisto navadnih fizičnih delavcev. Najbolj odgovorno in tudi najbolje plačano delo so imeli glavni graditelji. Ti so bili posebni ljudje, ki so imeli za seboj zahtevno šolanje, ter so se med svojim delom morali spopadati z različnimi težavami, ki so se pojavljale med gradnjo.

NEVARNOSTI IN VARNOSTNI PRINCIPI V GRADNJI

Potresi, porušitev in požar so bile poglavitne nevarnosti, ki so ogrožale zgradbe med gradnjo in uporabo. Potresi pravzaprav niso povzročali prehudih preglastic. Ohranili so se v ljudskem spominu, večjega vpliva na nadaljnjo gradnjo pa niso imeli. Ob tem je treba poudariti dejstvo, da je bila večina zgradb preprostih – lesenih, grajenih iz kladnih sten ali v predalčni konstrukciji, ki učinke potresa dobro prestanejo. Kljub temu pa je bilo nekaj katastrofalnih potresov, ki so povzročili žrtve in naredili precej škode, predvsem na zidanih zgradbah. Pri nas je bil zlasti hud potres 1511, ki je porušil večino zgradb na Kranjskem (Fister, 1986: 127).

Bolj pogosta je bila porušitev zgradbe med gradnjo. Nekakovosten material in izvedba ali pomanjkljivo znanje so večkrat ogrožali varno gradnjo. Predpisov, ki bi urejali to področje, še ni bilo. Zato je bila pomembna osebna odgovornost graditelja. Ta se je lahko zanašal le na samega sebe, svojo izobraženost, izkušnje in spretnost.

Uporaba odprtih ognjišč za kuhanje in ogrevanje ter lesa kot glavnega gradbenega materiala je bila velikokrat vzrok požara. Ogenj je ogrožal tako posamezne hiše kot celotna mesta. Ljudje so se zato že zgodaj zavedali tega problema in ga skušali na različne načine rešiti. Različne rešitve pa so vplivale tudi na gradnjo in podobo zgradb.



Slika 2: Shema komunikacij katedrale.

Katedrala je bila povezana s sistemom stopnic in horizontalnih poti, katere so delavci uporabljali za prihod na delovišče. Pri delih na velikih višinah so imeli tam tudi improvizirane kuhinje, da delavci niso izgubljali preveč časa s hojo na tla in nazaj (Fitchen, 1961: 22).

GRADITEV VEČJIH ZGRADB IN ODGOVORNOST GLAVNEGA GRADITELJA

Pri gradnji moramo vsekakor ločiti gradnjo velikih javnih objektov, kot so bile na primer katedrale, palače in utrdbe, od majhnih stanovanjskih objektov. Gradnja katedral je bila vsekakor vrhunski dogo-

dek, ki je imel velik vpliv na širšo okolico. Pomenila je zbor najboljših zamisli tistega časa in izmenjavo izkušenj. Pri tem so sodelovali tudi strokovnjaki iz drugih dežel. S tem lahko razložimo enotnost posameznih arhitekturnih slogov. Ideje in znanje so se namreč le tako lahko širile po vsej Evropi. Poleg te širše razsežnosti je bila gradnja morda še bolj pomembna za kraj in njegovo okolico. Pomenila je odlično šolo za lokalne graditelje in druge obrtnike, ki so pri tem sodelovali.

D. KUŠAR: Izobraževanje, delo in odgovornost stavbenika v srednjem veku

Novo pridobljeno znanje in izkušnje ob delu so tudi kasneje uporabljali pri svojem delu.

Obrtniki in delavci so začeli prihajati v mesto, ko se je razvedelo, da se bo gradil velik objekt (cerkev, most, ...). Delo jim je odredil glavni stavbenik oziroma mojstri, ki so bili odgovorni za izvedbo posameznih del. Zanimivo je, da v stavbarnicah ni bilo zaposlenih tistih obrtnikov, ki so že bili člani mestnih cehov. Največjo odgovornost za objekt je imel glavni stavbenik. Imel je več nalog:

1. Najvažnejša naloga je bila izdelava načrtov za zgradbo in vodenje gradnje. Razlika med zasnovo in vodenjem gradnje v srednjem veku ni bila vedno jasna (Fitchen, 1988: 19). Za uspešno izveden projekt je moral glavni stavbenik dobro poznati materiale in tehnologijo obdelave in vgradnje. Pri tem se je lahko zanašal le na svoje znanje in izkušnje. Zanimiva je bila razprava med italijanskimi in francoskimi mojstri glede gradnje milanske katedrale. Francoski mojster Jean je

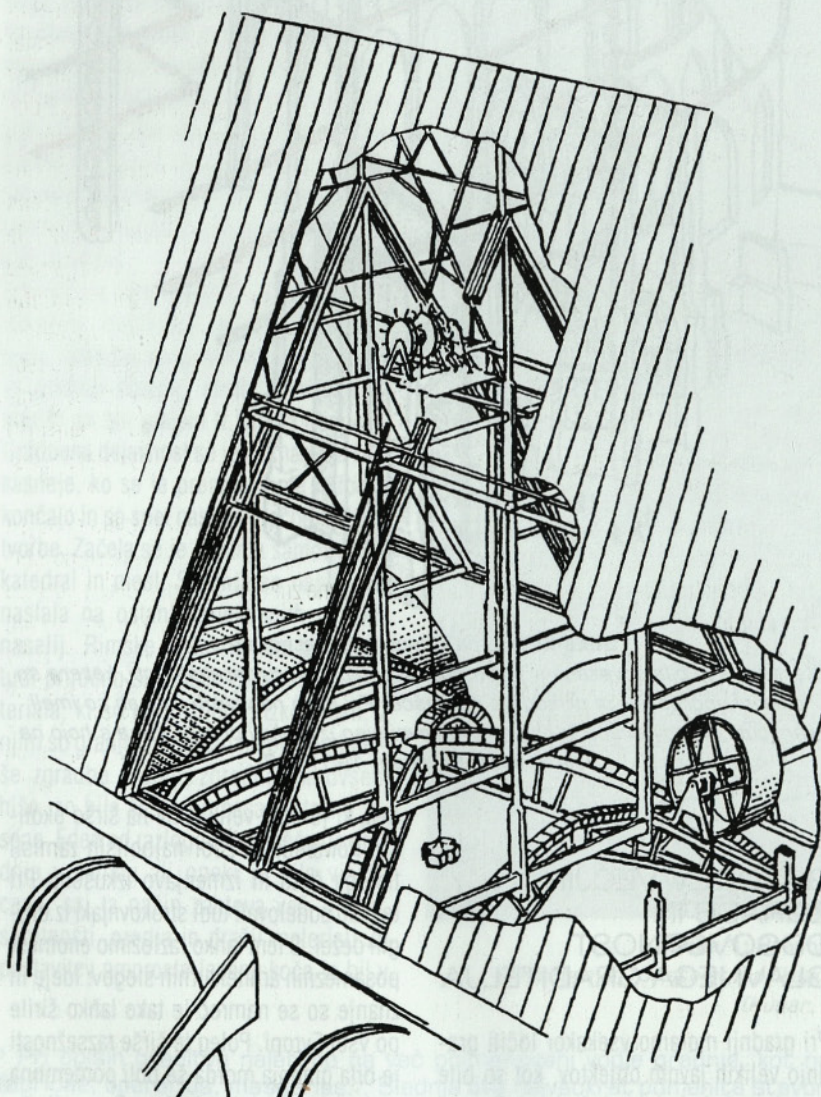
opozarjal stavbni odbor, da so oporniki prešibki. Italijanski mojstri so temu nasprotovali, češ da je italijanski kamen boljši-trdnejši od francoskega (Mušič, 1965: 217).

2. Načrtovanje in organiziranje redne oskrbe z gradbenim materialom je bila druga naloga glavnega stavbenika. Izbrati je moral ustrezen sistem prevoza, posebno tam, kjer je bilo več različnih možnosti (voda, kopenske poti). Poleg glavne preskrbovalne poti je imelo gradbišče navadno še rezervne poti za primer raznih nezgod (slika 2).

3. Nabava ali izdelava potrebnega orodja, ki so ga potrebovali na gradbišču (na primer vrvi in lestev). Tudi razni škripci, vitli in podobne naprave različne teže, oblike in zmogljivosti so imele stalno mesto v skladišču orodja vsakega stavbenika. Graditelj je prav tako moral voditi pomožna inženirska dela, kot je bila postavitve pomožnih konstrukcij, vitlov, odrov, opažev in podobno (slika 3).

4. Vrhovni nadzor nad podizvajalci in kakovostjo njihovega dela je imel glavni stavbenik. Da je uspešno opravljal nadzor, je moral poznati način dela in zmožnosti drugih obrtnikov (kamnosekov, zidarjev, tesarjev, rezbarjev, polagalcev mozaikov in marmorja, slikarjev). Zato je razumljivo, da je moral obvladati različne poklice (zidar, kamnosek, tesar, kipar, pasar in drugo).

5. Skrb za varnost na gradbišču in varnost zgradbe. Stavbenik je odgovarjal za celotno gradnjo od zamisli do konca izvedbe. Zavedati se je moral tudi vseh morebitnih nevarnosti ter poskrbeti za ukrepe, da do nesreč ne bi prišlo. Poleg tega je moral stavbenik poskrbeti za primerno pritrditev odrov, da jih ni podrl veter, pri izkopu gradbene jame je moral poskrbeti za zavarovanje brežin, da se niso sesedale, oziroma da ni gradbišč zalila talna voda. Njegovo delo je bilo tudi določiti



Slika 3: Shema dvigovanja težkih bremen med gradnjo katedrale (Fitchen, 1961: 139).

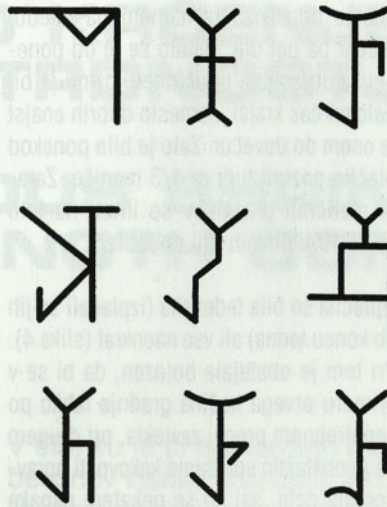
tev in ureditev mest za posebna orodja in naprave (škripci). Prav tako je moral predvideti način razodranja, zlasti pri izgradnji obokov (Fitchen, 1988: 24-25).

CEHI V GRADITELJSTVU

Pri obravnavi izobraževanja, dela in odgovornosti graditelja ne moremo mimo cehov. Tako kot druge stroke tistega časa so se tudi graditelji v posameznih mestih združevali v obrtniške skupine (zadruge), ki so se imenovale cehi. Pojav cehov je bil povezan s preobratom v načinu vodenja in vladanja (Keen, M., 1993: 86, 91).

Cehi so imeli na začetku vlogo vzgoje meščanskih vrlin (delovne discipline, solidarnosti, poštenosti) in strokovne usposobljenosti za določeno delo. Tvornili so jedro meščanstva in so močno vplivali na tradicijo. Velik poudarek je bil na poštenosti in časti. V rokah cehov je bila tudi obrtna oblast. Preganjali so delo na črno (šušmarstvo) in sodili v sporih med člani ter v primerih kršitev cehovskih pravil. Znak uradne moči je bil cehovski pečat. Cehovska pravila in listine so hranili v cehovski skrinji (Mohorič, 1957: 36).

Med svojim delovanjem je cehovstvo dosegalo vzpone in padce. Zaradi načina organiziranja in monopolnega obnašanja so imeli precejšnjo moč. Žal pa so bili večkrat tudi zaviralni dejavnik pri uveljavljanju novih postopkov gradnje. Oblast se je zato pogostokrat vmešavala v delovanje in organiziranost cehov, s čimer je skušala zmanjšati moč cehov. Cehi so svoje pravice in privilegije bolj ali manj uspešno branili do 19. stoletja, ko so bili leta 1859 na področju Avstro-Ogrske razpuščeni. Zamenjale so jih obrtne zadruge, ki so posodobile obrtništvo ter prinesle tudi drugačen, modernejši način urejanja odnosov med mojstrom, pomočnikom in vajencem (Mohorič, 1957: 44- 52). Kljub temu lahko rečemo, da so cehi odigrali pozitivno vlogo pri širjenju gradbenega znanja in varnostnih principov. Obenem so zagotavlja-



Slika 4: Klesarski oziroma mojstrski znaki.

Zaradi lažjega pregleda opravljenega dela in plačila so imeli mojstri svoj znak, ki so ga vklesali v izdelan element. Po tem znaku je vodja točno ugotovil količino in kvaliteto opravljenega dela. Gornja znaka sta iz Ptujске gore, sledijo znaki iz Mengša, Begunj, Viča-Ljubljane, Malega Ločnika pri Turjaku, Ingolstadta, Cerknice in Admonta.

li tudi dokaj dobro organizirano in varno izvedbo del.

Svojo kariero je stavbenik začel kot vajenec ter nato prek pomočnika dosegel stopnjo mojstra. Vajenec je lahko postal, kdor je dopolnil 14 let in ni bil nezakonski otrok. Preden je postal vajenec, je moral biti vsaj tri tedne na preizkušnji. Ob sprejemu je bilo potrebno plačati takso, ki so jo plačali starši ali skrbniki. Revežem je bila taksa lahko znižana ali pa so je bili oproščeni. Vajenci so morali imeti tudi poroka, ki je jamčil, da bo vajenec ostal pri mojstru tako dolgo, kot je bilo dogovorjeno. Po državni odločbi 5. januarja 1785 so morali imeti vsaj dve leti šolskega pouka. Vajenci so navadno živeli pri mojstru. Ko so se že nekaj naučili, so dobili tudi plačilo. Učna doba je bila različna. Če se je na primer učil za kamnoseka le tri leta, je lahko nato samostojno delal kot zidar, kar je bilo pomembno za gradnjo tako imenovane

“ljudske arhitekture”. Zaključek (*oprostitvev*) je za vajence potekal v skladu s cehovskimi ceremonijami. Vajenec je dobil tudi učno pismo, ki sta ga podpisala mojster in dva člana ceha.

Po koncu večletnega uka je moral vajenec vsaj za eno leto po svetu. Potovanja so bila uradno zahtevana do 30. marca 1776. Pomenila so spoznavanje novega znanja in tehnologije ter pridobivanja izkušenj. Vsak se je na potovanju javil v prenočišču (Herberg), kjer je dobil običajno “darilo” za kritje stroškov. Če v treh dneh ni našel dela, je moral oditi (Mohorič, 1957: 38).

Po nekaj letih se je vrnil in se zaposlil pri mojstru kot pomočnik. Po določenem času je lahko (na mojstrovo željo) postal palir (*appareilleur*) in s tem tudi njegov namestnik. Njegova naloga je bila določanje mer kamnov in izdelava načrtov in šablon za njihovo izdelavo. Če se obdelani kamen ni prilegal na določeno mesto in je mojster odkril napako, je moral palir plačati kazen. Kolikor je nato palir kamen sam vgradil, za to ni dobil plačila. Če pa kamen ni bil več uporaben, je moral palir plačati mojstru še posebno kazen. Kadar je mojster vodil več gradenj hkrati, ga je nadomeščal palir. Pri večjih delih je mojster lahko najel še druge prijateljske mojstre.

Postati mojster je bil težak in dolgotrajen proces. Razlikoval se je od obrti do obrti. Glavne značilnosti graditeljske obrti so bile: najprej je moral bil vajenec, potem pomočnik, nato je moral leto dni delati v kraju, kjer je želel postati mojster. Če je želel pomočnik postati mojster, ni bilo nujno, da je bil prej tudi palir. Vendar pa je moral služiti še dve leti pri vodji gradbišča (delovodji). Tu je moral voditi izpeljavo (projekta) od (kiparskega) modela, zasnove in risanja načrtov do izvedbe šablon, po katerih so nato kamnoseki klesali sestavne dele in okraske. Voditi so morali tudi kamnoseški dnevnik.

Po dveh letih dela je pomočnik načeloma lahko postal mojster. Pred tem pa so morali biti izpolnjeni tudi drugi pogoji. Ti so se od mesta do mesta razlikovali. Glavni pogoji so bili: poroka, mojstrski izpit in mojstrsko delo ter plačilo drage poje-

D. KUŠAR: Izobraževanje, delo in odgovornost stavbenika v srednjem veku

dine. V tem času je moral postati še lastnik hiše, v kateri se je opravljala ta obrt. Ko je dobil mojstrsko pravico, so oblasti obvestile ceh, naj ga sprejme. Tu je imel ceh možnost ugovorov. Določanje števil mojstrov in pomočnikov je bilo v pristojnosti cesarja. Sprejem v ceh je velikokrat stal mnogo denarja (takse, pojedine). Zato so se proti tej razsipnosti oblasti bojevale z uredbami (Mohorič, 1957: 48).

Pomočnike in vajence je lahko imel le mojster, ki je imel mojstrsko pravico. Število vajencev in pomočnikov je bilo natančno določeno. (Lexikon des Mittelalters I, 1980: 1557). Prvotno je lahko imel mojster le enega vajenca. Če pa je hkrati vodil delo na več objektih, jih je imel lahko največ pet. Z okrožnico 13. avgusta 1776 je bila odpravljena določba, da se je sprejelo novega vajenca, ko je bil predhodni že oproščen. Po dekretu 29. maja 1816 je smel imeti mojster neomejeno število vajencev (Mohorič, 1957: 44; Lexikon des Mittelalters I, 1980: 1554).

Delovni čas je bil poleti od pete ure zjutraj do sedme ure zvečer. Zjutraj in pol-

dne je bila ena ura namenjena obedu, zvečer pa pol ure. Delalo se je od ponedeljka do sobote popoldne. Pozimi je bil delovni čas krajši, namesto dobrih enajst le osem do devet ur. Zato je bilo ponekod plačilo pozimi tudi za 1/3 manjše. Zaradi različnih praznikov so imeli na leto okoli 40 delovnih dni dopusta.

Izplačila so bila tedenska (izplačali so jih ob koncu tedna) ali vse naenkrat (slika 4). Pri tem je obstajala bojazen, da bi se v primeru prvega načina gradnja lahko po nepotrebnem precej zavlekla, pri drugem pa je obstajalo vprašanje kakovosti opravljenega dela, saj so se nekatere napake lahko pokazale šele kasneje. Višina plačila je bila predvsem odvisna od izobrazbe. Tako so dobivali zidarji in mizarji dvojno do petorno plačilo, podajachi 1,5 do 2-kratno in ženske enkratno plačilo. Pomočniki stavbarnic v Strassburgu, Freiburgu in Regensburgu so dobivali enako plačilo. V Regensburgu so poznali tudi dodatek za bolj nevarno višinsko delo. Kamnoseki so dobivali boljše plačilo kot pomočniki drugih poklicev. Tako je leta 1414 kamnoseški pomočnik teden-

sko zaslužil 9 šillingov, kovač pa le 5,4. Najbolje je bil plačan glavni stavbenik. Plačilo je bilo tedensko, letno ali oboje. Poleg denarnega plačila so bili plačani tudi v blagu in oskrbi. Tudi palirji so lahko dobivali letno nagrado, ki je bila seveda nižja od mojstrove. Njihov tedenski zaslužek pa je bil primerljiv z zaslužkom pomočnikov.

SKLEP

Od sredine srednjega veka naprej se je gradbena dejavnost živahno razvijala. Konec brezpravja in relativen mir je pomenil tudi spodbudo za izobraževanje graditeljev. Cehovski sistem izobraževanja, ki je povezoval prakso, timsko delo, "strokovna potovanja" in tudi sistem napredovanja, je bil v osnovi zastavljen zelo sodobno. Morda na koncu zato tudi ni preveč drzna trditev, da je bilo prav gradbeništvo tisto, ki je s svojim razvojem in iskanjem novih boljših rešitev povzročila v renesansi razcvet tudi na drugih področjih znanosti.

LITERATURA

- Fister, P.: Umetnost stavbarstva na Slovenskem. Cankarjeva založba, Ljubljana, 1986.
 Fitchen, J.: The Construction of Gothic Cathedrals. The University of Chicago Press. Chicago, 1961.
 Fitchen, J.: Mit Leiter, Strick und Winde. Birkhäuser. Basel, 1988.
 Garrison, E.: A History of Engineering and Tehnology, 1998.
 Gospodarska in družbena zgodovina Slovencev. SAZU, DZS, Ljubljana, 1970.
 Keen, M.: Srednjeveška Evropa (Naslov izvirnika: The Pelican History of medieval Europe). Cankarjeva založba, Ljubljana, 1993.
 Kušar, J.: Konstruiranje in dimenzioniranje: osnove. Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 1999.
 Lance, D.: Bibliographical dictionary of the history of Technology. London, N.Y, 1996.
 Lexikon des Mittelalters I (10. Izdaja), Artemis Verlag, Munchen, 1980.
 Maclean, J., Scott, J.: The Penguin Dictionary of Building. Penguin books, London, 1993.
 MacNeil, I.: An Encyklopedia of the History of Technology. London, New York, 1996.
 Marinko, J.: Vloga izvajalcev v sodobni sakralni arhitekturi (Sakralna arhitektura v slovenskem prostoru). Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani in Krščanska kulturna zveze Celovec, Ljubljana, 1999.
 Mohorič, I.: Zgodovina obrti in industrije v Trziču. Mestni muzej Trzič, DZS Ljubljana, 1957.
 Mušič, M.: Veliki arhitekti I. Založba Obzorja Maribor, 1965.
 Mušič, M.: Veliki arhitekti II. Založba Obzorja Maribor, 1966.
 Smith, M., R.: Does Technology drive History? MIT Cambridge, 1994.
 Sagadin, M.: Ajdna nad Potoki. Ministrstvo za kulturo, Uprava Republike Sloveije za kulturno dediščino, Ljubljana.
 Zadnikar, M.: Romanika v Sloveniji. DZS, Ljubljana, 1982.

AVTOGENO KRČENJE BETONOV Z VISOKO TRDNOSTJO

AUTOGENOUS SHRINKAGE OF HIGH-STRENGTH CONCRETE

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 691.34 : 620.1 : 539.5

DRAGO SAJE, FRANC SAJE

POVZETEK

V članku je predstavljen časovni razvoj avtogenega krčenja betonov visoke trdnosti. Pri betonih visoke trdnosti ta oblika krčenja predstavlja znaten delež celotnega krčenja betona, zato smo velikost avtogenega krčenja primerjali z velikostjo celotnega krčenja betonov visoke trdnosti. Za primerjavo smo predstavili tudi delež avtogenega krčenja glede na celotno krčenje betona običajne trdnosti. Pri preiskovanih betonih smo spreminjali količino veziva in vrsto kemičnega dodatka ter uporabili mikrosiliko. Vodovezivna razmerja teh betonov so se spreminjala med 0.28 in 0.52.

SUMMARY

The paper deals with the time development of autogenous shrinkage of high-strength concrete. At high-strength concretes this type of shrinkage presents a considerable share of the total concrete shrinkage. For this reason the amount of autogenous shrinkage was compared to the amount of the total shrinkage of high-strength concretes. For a comparison we presented also the share of autogenous shrinkage compared to the total shrinkage of normal concrete. At the tested concretes we were changing the quantity of the binder, the type of chemical admixture and silica fume was used. The water-binder ratios of these concretes varied between 0.28 and 0.52.

Avtorja:

mag. Drago Saje, univ. dipl. inž. grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Jamova 2, Ljubljana
izredni profesor, dr. Franc Saje, univ. dipl. inž. grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Jamova 2, Ljubljana

1. UVOD

Mehanske in reološke lastnosti betonov se zaradi dolgotrajnega procesa hidratacije s časom spreminjajo. Hidratacija cementa, katere izvor je kemijska reakcija portland cementa z vodo, ima za posledico formiranje hidratizirane cementne

paste, ki je bistveni element trdnosti betona. Med eksotermnim procesom hidratacije se sprošča toplota, ki povzroča toplotno deformiranje betona. Istočasno pa je kemijska reakcija cementa z vodo vzrok za zmanjšanje volumna cementne paste in za zmanjšanje volumna betona.

Če izvzamemo krčenje zaradi karbonati-

zacije, plastično krčenje in temperaturno krčenje, razdelimo krčenje betona na avtogeno krčenje in krčenje zaradi sušenja [Aitcin, 1997]. Avtogeno krčenje betona, ki ga nekateri avtorji imenujejo tudi hidratacijsko krčenje, je posledica samoizsuševanja v porah cementne paste oziroma porabe vode pri hidrataciji

cementa. To je krčenje zapečatenega betona, ki predstavlja notranjost debelih betonskih elementov ali notranjost masivnih betonov, kjer ni izmenjave vlage med betonom in okolico. Kemično krčenje cementne paste predstavlja zmanjšanje volumna cementne paste, ki se pojavi zaradi kemičnega vezanja vode v procesu hidratacije cementa. Rezultirajoča prostornina produktov, ki se formirajo pri reakciji vode in cementa, je manjša od prostornine vhodnega cementa in vode skupaj [Le Chatelier, 1904]. Pri določeni stopnji procesa strjevanja prične nosilna mikrostruktura cementne paste preprečevati, da bi se le-ta krčila enako kot v primeru prostega kemičnega krčenja. To oviranje krčenja povzroči dodatne prazne pore, kar prispeva k povečanju skupne prostornine por v strjujoči se cementni pasti. Pore, nastale zaradi kemičnega krčenja, igrajo pomembno vlogo pri avtogenem krčenju.

Med procesom hidratacije se voda porablja za tvorbo hidratacijskih produktov. Z napredovanjem procesa hidratacije se povečuje volumen por, ki so posledica kemičnega krčenja cementne paste. Po Boylovem zakonu je porast volumna zaprtih por povezan s padanjem tlaka zraka v porah. Padanje tlaka posredno vpliva na relativno vlažnost v porah. Ob vzpostavljanju termodinamičnega ravnotežja v

porah cementne paste izhlapeva najprej prosta kapilarna voda, nato pa voda iz adsorpcijske ravnine stene pore. Tanjšanje adsorpcijske plasti vode na stenah por povzroča natezne napetosti v adsorpcijski ravnini. Te natezne napetosti v adsorpcijski ravnini povzročajo znatne deformacije, ki se jim struktura upira s svojo trenutno togostjo. V začetnem obdobju procesa strjevanja, ko je modul elastičnosti še razmeroma nizek, lahko omenjene natezne napetosti povzročijo velike zunanje deformacije, ki jih imenujemo avtogeno krčenje.

Ker je vzrok vseh oblik krčenja, razen krčenja zaradi karbonatizacije, izguba oziroma poraba vode v betonu, sta velikost in stopnja krčenja betona močno odvisna od vodocementnega oziroma vodovezivnega razmerja betonske mešanice oziroma od trdnosti betona. Z zniževanjem vodovezivnega oziroma vodocementnega razmerja se povečuje delež avtogenega krčenja betona [Le Roy, 1993]. Pri betonih visoke trdnosti, pri katerih je vodovezivno razmerje razmeroma nizko, avtogeno krčenje predstavlja pomemben del celotnega krčenja betona. Avtogeno krčenje betona je izotropen proces [Aitcin, 1998] in je praviloma neodvisno od oblike in velikosti vzorca. Večji del avtogenega krčenja, ki se začne že po nekaj urah po zamešanju, odvisno od vr-

ste mešanice, se izvrši že v prvem mesecu oziroma prvih dneh po betoniranju. Časovni potek avtogenega krčenja betona visoke trdnosti je podoben poteku hidratacijske krivulje cementa v betonu. Možnost nastanka finih notranjih razpok v času intenzivnega procesa hidratacije je zaradi velikega avtogenega krčenja betona visoke trdnosti sorazmerno velika, kar posledično zmanjšuje odpornost betona na zunanje agresivne vplive in tako se zmanjšuje trajnost celotne konstrukcije. Da pa bi bila življenjska doba konstrukcije čim daljša, je potrebno beton primerno negovati.

2. EKSPERIMENTALNI PROGRAM

2.1 UPORABLJENI SESTAVNI MATERIALI BETONA

Preiskovani betoni so bili izdelani iz pravega drobljenega agregata z nominalnim maksimalnim zrnom 16 mm in mivke. Večji del kamnine, iz katere je prani drobljeni agregat, predstavlja apnenec, mivka pa je pretežno iz kremenca. Pri izdelavi betonskih mešanic smo uporabljali cement CEM II / A-S 42.5 R iz cementarne v Anhovem. Za doseganje višjih trdnosti smo del cementa nadomeščali z mineralnim dodatkom mikrosilikom. Primerno vgradljivost smo pri nizkih vodovezivnih razmerjih betonskih mešanic dosegali z dodajanjem kemičnih dodatkov. Uporabili smo tekoči superplastifikator nove generacije Cementol Zeta S, ki je po kemijski sestavi polikarboksilat, in Antikorodin, ki je praškasta mešanica mikrosilike in superplastifikatorja, ki je po kemični sestavi sulfonirani naftalen - formaldehid kondenzat. Vsi dodatki so iz kemične tovarne TKK Srpenica.

Skupno izhodišče vseh betonskih mešanic je bila enaka vgradljivost izražena s posedom sveže betonske mešanice. Izbrana konsistenca ima po evropskih standardih prEN 206 [European Committee for Standardization, 1999] oznako S4, kar predstavlja posed v mejah med 160 in

Oznaka mešanice	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
Fini agregat 0-4 [kg/m ³]	1080	1133	1134	1130	1054
Grobi agregat 4-16 [kg/m ³]	719	755	755	752	702
Količina veziva [kg/m ³]	500	400	400	400	400
Količina mikrosilike [% veziva]	10	10	-	10	-
Vrsta superplastifikatorja	(1)	(1)	(2)	(2)	-
Vodovezivno razmerje	0.28	0.36	0.40	0.40	0.52
f _{cm,28dni} [MPa]	88.98	81.36	67.42	81.88	48.35

(1) sulfonirani naftalen-formaldehid kondenzat

(2) polikarboksilat

Preglednica 1: Karakteristike preiskovanih betonov.

210 mm z odstopanjem ± 30 mm.

2.2 POSTOPEK MERENJA KRČENJA BETONA

Po zamešanju betona smo le-tega vgradili v jeklene kalupe. Za določitev tlačne trdnosti smo uporabili kocke z robom 15 cm, za merjenje krčenja pa prizme dimenzij 100 mm x 100 mm x 400 mm. Vzorce za merjenje avtogenega krčenja smo hermetično zatesnili s polietilensko folijo. Pri tem smo med vzorec in kalup položili teflonsko ploščo tako, da smo čim bolj zmanjšali trenje med vzorcem in podlago. Takoj ko je cement v betonu začel vezati in se je beton toliko strdil, da smo lahko odprli stranice kalupa, ne da bi se vzorec poškodoval, to je, ko je temperatura v betonu začela naraščati, smo začeli z elektronskimi meritvami vzdolžnih deformacij. Temperaturo betona smo merili v sredini vzorca s pomočjo termo člana [Saje, 2000]. Vzdolžno deformacijo smo merili s pomočjo induktivnega deformetra z natančnostjo 0.0001 mm. Po enem oziroma po nekaj dneh avtomatskega merjenja, ko prirastek krčenja ni bil več tako izrazit, smo na vzorec namestili merilne reperje in meritev krčenja betona nadaljevali z nasadnim deformetrom. Sistem zatesnitve vzorca se je pokazal kot zelo dober, saj je vzorec z maso približno deset kilogramov izgubil na teži manj kot 1 g na mesec (preglednica 2), kar je skladno z japonskimi standardi, ki dovoljujejo izgubo mase 0.05 % v času merjenja [Japan Concrete Institute, 1999].

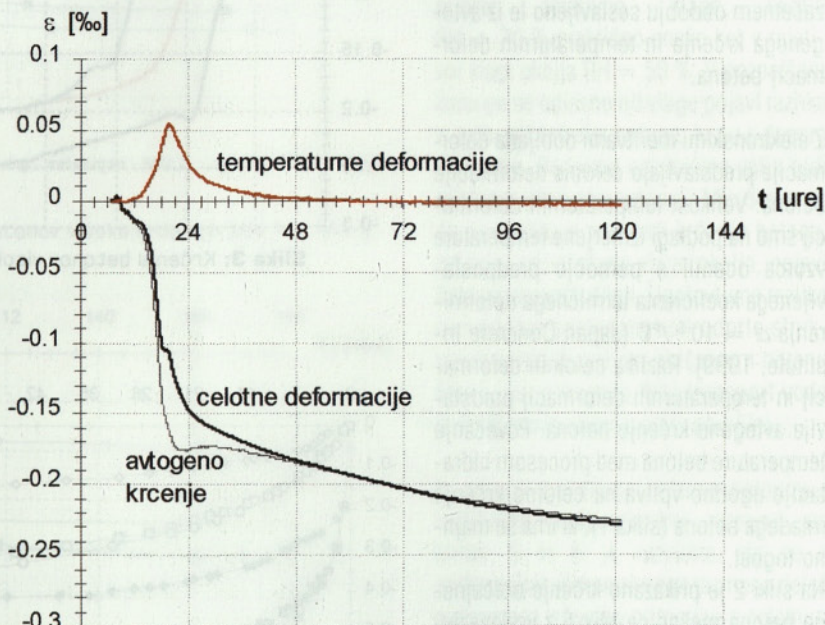
Vzorce, na katerih smo merili celotno krčenje, smo po 24-ih urah razkalupili, nanje namestili merilne reperje in jih izpostavili okolju z relativno vlažnostjo 50 oziroma 70 % in temperaturi 20 °C.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI IN DISKUSIJA

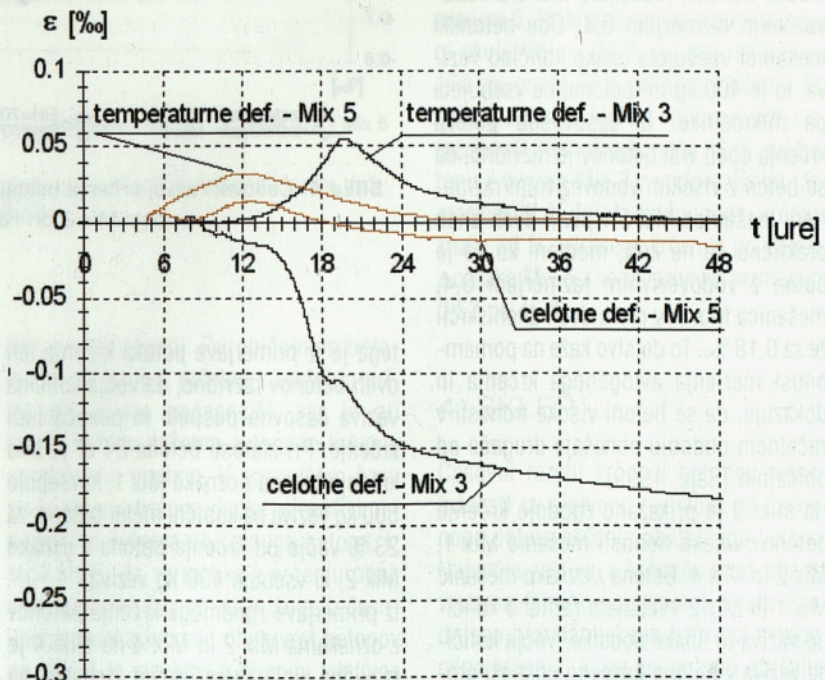
3.1 KRČENJE BETONA V ZAČETNI FAZI

Starost [dnevi]	0.3	2	3	4	5	6	7	8	57	186
Teža - izsuševanje	9802.7	9787.2	9781.5	9779.0	9778.9	9777.8	9777.4	9776.9	9761.8	9751.7
[g] / [%]	100.000	99.841	99.783	99.758	99.757	99.746	99.742	99.736	99.582	99.479
Teža - zatesnjen	9693.4	9693.4	9693.3	9693.1	9693.7	9693.7	9693.8	9693.9	9691.8	9688.8
vzorec [g] / [%]	100.000	100.000	99.999	99.998	100.004	100.003	100.004	100.006	99.983	99.953

Preglednica 2 - izguba teže betonske prizme (Mix 1), RH=70%.



Slika 1: Potek krčenja zatesnjenega betona Mix 3 v prvih petih dneh



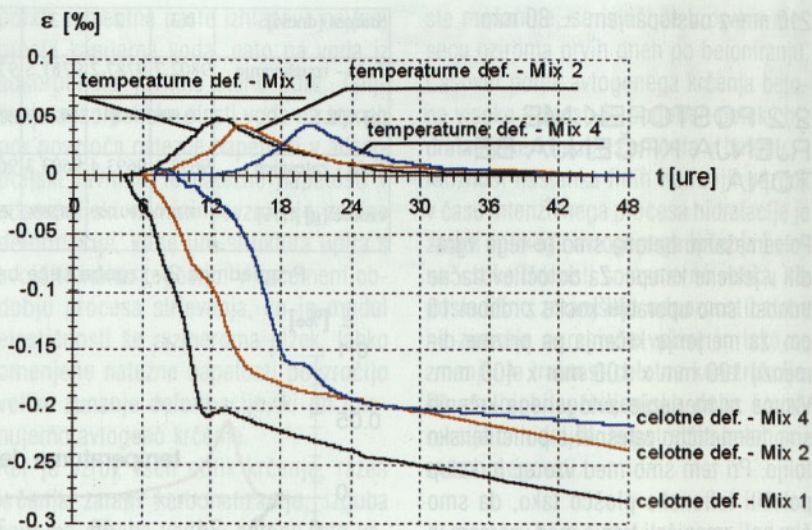
Slika 2: Krčenje betona visoke trdnosti Mix 3 in običajnega betona Mix 5

Proces krčenja preiskovanih betonov se je začel, odvisno od vrste betonske mešanice, 4 do 10 ur po zamešanju. Pri tej starosti beton v splošnem še ni izpostavljen izsuševanju, ker je v kalupu oziroma opažu in ga negujemo oziroma pokrivamo s folijami, s čimer preprečujemo izhlapevanje vode. Zato lahko trdimo, da je krčenje oziroma deformiranje betona v začetnem obdobju sestavljeno le iz avtogenega krčenja in temperaturnih deformacij betona.

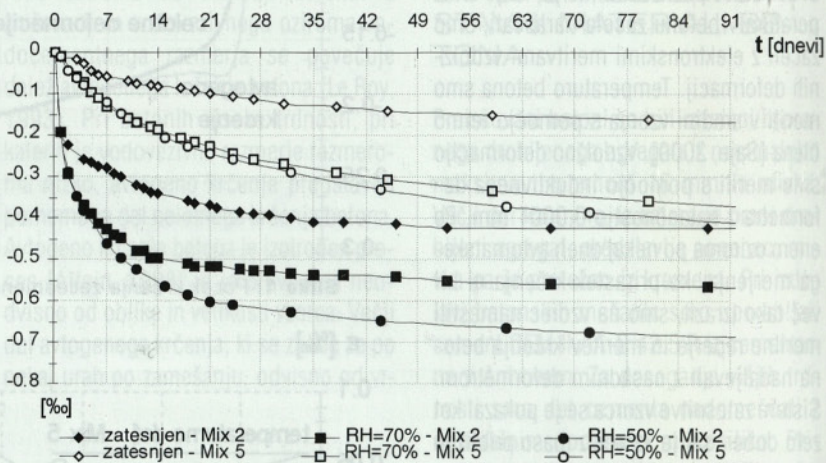
Z elektronskimi meritvami dobljene deformacije predstavljajo celotne deformacije betona. Velikost temperaturnih deformacij smo na podlagi izmerjene temperature vzorca ocenili s pomočjo predpostavljenega koeficienta termičnega deformiranja $\alpha = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ [Japan Concrete Institute, 1999]. Razlika celotnih deformacij in temperaturnih deformacij predstavlja avtogeno krčenje betona. Povečanje temperature betona med procesom hidratacije ugodno vpliva na celotno krčenje mladega betona (slika 1), ki ima še majhno togost.

Na sliki 2 je prikazano krčenje običajnega betona mešanice Mix 5 z vodovezivnim razmerjem 0,52 in krčenje betona visoke trdnosti mešanice Mix 3 z vodovezivnim razmerjem 0,4. Obe betonski mešanici vsebujeta enako količino veziva, to je 400 kg/m^3 betona, ne vsebujeta pa mikrosilike. Iz časovnega poteka krčenja obeh vrst betonov je razvidno, da se beton z visokim vodovezivnim razmerjem mešanice Mix 5 v prvih dveh dneh praktično še ne krči, medtem ko se je beton z vodovezivnim razmerjem 0,4, mešanica Mix 3, v prvih dveh dneh skrčil že za 0,18 ‰. To dejstvo kaže na pomembnost merjenja avtogenega krčenja in dokazuje, da se betoni visoke trdnosti v začetnem obdobju obnašajo drugače od običajnih [Saje, 1999].

Na sliki 3 je prikazano zgodnje krčenje betonov visoke trdnosti mešanic Mix 1, Mix 2 in Mix 4. Betona z oznako mešanice Mix 1 in Mix 2 vsebujeta različno količino veziva in enake dodatke. Večja količina veziva v betonu časovno pospeši proces hidratacije cementa v betonu. Poleg



Slika 3: Krčenje betonov visoke trdnosti Mix 1, Mix 2 in Mix 4



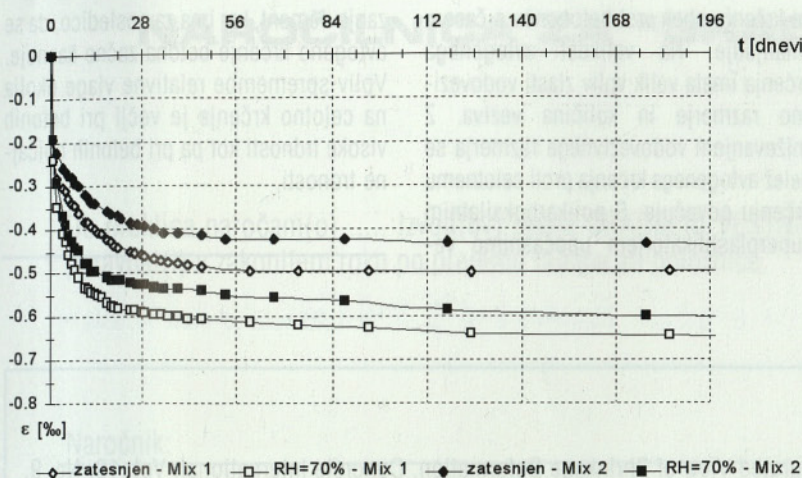
Slika 4: Časovni razvoj krčenja običajnega betona Mix 5 in betona visoke trdnosti Mix 2 pri različnih pogojih vlage

tega je iz primerjave poteka krčenja teh dveh betonov razvidno, da večja količina veziva časovno pospeši in poveča tudi krčenje. Pri starosti betona 24 ur je bilo krčenje betona z oznako Mix 1, ki vsebuje 500 kg veziva na kubični meter betona, za 23 % večje od krčenja betona z oznako Mix 2, ki vsebuje 400 kg veziva. Iz primerjave zgodnjega krčenja betonov z oznakama Mix 2 in Mix 4 na sliki 4 je razviden vpliv kemijskega dodatka na krčenje. Polikarboksilatni superplastifika-

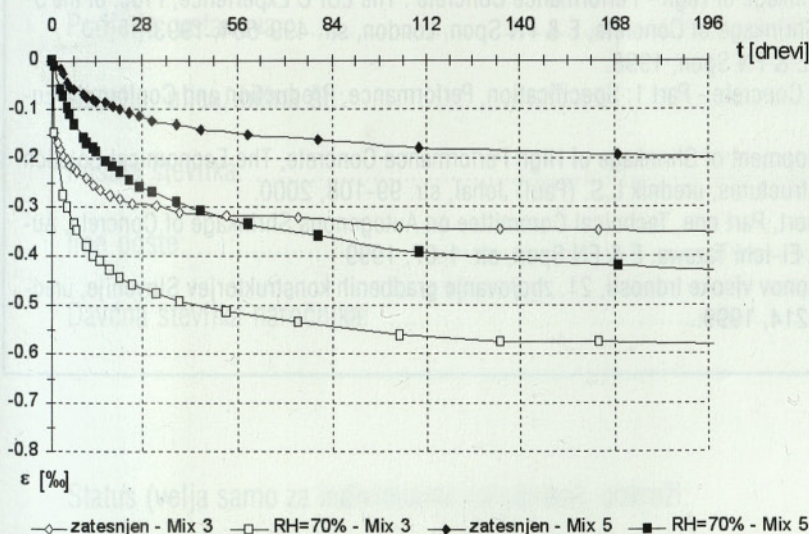
tor v betonu z oznako Mix 4 upočasnjuje proces vezanja cementa v betonu. To ima za posledico, da se tudi krčenje prične kasneje.

3.2 ČASOVNI RAZVOJ CELOTNEGA KRČENJA BETONA

Na slikah 4, 5 in 6 je za različne mešanice (Mix 1, Mix 2, Mix 3 in Mix 5) prika-



Slika 5: Časovni razvoj krčenja dveh betonov visoke trdnosti Mix 1 in Mix 2



Slika 6: Časovni razvoj krčenja običajnega betona Mix 5 in betona visoke trdnosti Mix 3

zan časovni razvoj avtogenega krčenja zatesnjenih betonskih vzorcev in krčenja sušenju izpostavljenih vzorcev, to je celotnega krčenja. Iz slike 4 je razvidno, da beton visoke trdnosti Mix 2 v splošnem izkazuje večje celotno krčenje kot beton običajne trdnosti Mix 5. Prirastek krčenja pri betonu visoke trdnosti Mix 2 je velik v začetnem obdobju, kasneje pa se umiri. Pretežni del začetnega krčenja betona visoke trdnosti tvori namreč avtogeno krčenje, ki se v veliki meri razvije že prvi

dan po zamešanju. Pri običajnem betonu Mix 5 pa je v začetnem obdobju prirastek krčenja počasnejši, ker je pri takem betonu začetno avtogeno krčenje sorazmerno majhno. V poznejšem času pa se krčenje betona visoke trdnosti umiri hitreje od krčenja običajnega betona. Iz tega sledi, da se razlika v krčenju obeh vrst betonov s časom zmanjšuje. Iz časovnega poteka krčenja obeh vrst betonov na sliki 4 je razviden tudi vpliv relativne vlage okolja na velikost in časovni potek

krčenja, ki je pri visokotrdnih betonih večji kot pri običajnih. Po 91 dneih je krčenje betona visoke trdnosti Mix 2, ki se nahaja v relativni vlažnosti 50 % za 22 % večje od krčenja enakega betona, ki se nahaja v relativni vlažnosti 70 %. Pri običajnem betonu Mix 5 pa ta razlika krčenja po 91 dneih znaša le 11 %. Pri tem je krčenje betona visoke trdnosti v prvih dneh za primer relativne vlage okolja $RH = 70\%$ praktično enako kot v relativni vlažnosti okolja $RH = 50\%$. V poznejšem času pa se odvisno od vlage pojavi razlika v velikosti krčenja betona, ki se s časom povečuje. Podobna ugotovitev velja tudi za beton običajne trdnosti Mix 5 s tem, da se razlika v velikosti krčenja betona, odvisno od relativne vlage okolja, pojavi šele po enajstih dneh. Ugotovljene razlike so verjetno posledica bolj odprte strukture kapilarnih por pri običajnem betonu Mix 5, kar omogoča lažji transport vode iz notranjosti vzorca proti površini.

Iz prikaza celotnega krčenja betonov z različnimi vodovezivnimi razmerji na slikah 5 in 6 je razvidno, da se z zniževanjem vodovezivnega razmerja delež avtogenega krčenja v primerjavi s celotnim krčenjem betona povečuje. Avtogeno krčenje betona Mix 1 z vodovezivnim razmerjem 0,28, ki ga hranimo v relativni vlažnosti okolja $RH = 70\%$ pri starosti betona 170 dni, znaša 77 % celotnega krčenja. Pri betonu z oznako Mix 2 z vodovezivnim razmerjem 0,36 ta delež znaša 73 %, pri betonu z oznako Mix 3 z vodovezivnim razmerjem 0,4 delež avtogenega krčenja znaša 60 % celotnega krčenja, pri betonu z oznako Mix 5 z vodovezivnim razmerjem 0,52 pa 46 %.

4. SKLEP

Časovni razvoj krčenja betonov visoke trdnosti se bistveno razlikuje od časovnega poteka krčenja običajnega betona. Največja razlika v krčenju med obema vrstama betonov se pojavi zaradi zgošnjega hidratacijskega oziroma avtogenega krčenja, ki ga pri betonu običajne trdnosti z relativno visokim vodovezivnim

razmerjem skorajda ni opaziti. Betoni visoke trdnosti imajo v prvem mesecu prav zaradi velikega zgodnjega avtogenega krčenja betona bistveno večji prirast celotnega krčenja kot običajni betoni. V poznejšem času pa se krčenje betonov visoke trdnosti umiri hitreje od krčenja običajnega betona in se razlika celotne-

ga krčenja obeh vrst betonov s časom zmanjšuje. Na velikost avtogenega krčenja imata velik vpliv zlasti vodovestno razmerje in količina veziva. Z zniževanjem vodovestnega razmerja se delež avtogenega krčenja proti celotnemu krčenju povečuje. S polikarboksilatnim superplastifikatorjem upočasnimo ve-

zanje cement, kar ima za posledico, da se avtogeno krčenje betona začne kasneje. Vpliv spremembe relativne vlage okolja na celotno krčenje je večji pri betonih visoke trdnosti kot pa pri betonih običajne trdnosti.

LITERATURA

Aïtcin, P.-C., Neville, A. M., Acker, P., Integrated View of Shrinkage Deformation, Concrete International, Vol. 19, No. 9, str. 35-41, 1997.

Le Chatelier, H., Recherches Expérimentales sur la Construction des Mortiers Hydrauliques, Dunod, Paris, str. 163-167, 1904.

Le Roy, R., de Larrard, F., Creep and Shrinkage of High - Performance Concrete : The LCPC Experience, Proc. of the 5th International Symposium on Creep and Shrinkage of Concrete, E & FN Spon, London, str. 499-504, 1993.

Aïtcin, P.-C., High-Performance Concrete, E & FN Spon, 1998.

European Committee for Standardization, Concrete - Part 1: Specification, Performance, Production and Conformity, European Standard, prEN 206-1/25, 1999.

Saje, F., Saje, D., Kavčič, F., Time Development of Shrinkage of High Performance Concrete, The Economical Solution for Durable Bridges and Transportation Structures, urednik L.S. (Paul) Johal, str. 99-108, 2000.

Japan Concrete Institute, Committee Report, Part one, Technical Committee on Autogenous Shrinkage of Concrete, Autogenous Shrinkage of Concrete, urednik Ei-ichi Tazawa, E & FN Spon, str. 1-67, 1999.

Saje, D., Saje, F., Kavčič, F., Krčenje betonov visoke trdnosti, 21. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, urednika Saje F. in Lopatič J., Bled, str. 207-214, 1999.

NAROČILNICA ZA "GRADBENI VESTNIK"

Do preklica naročam(o) izvod(ov) revije GRADBENI VESTNIK in se obvezujem(o), da bom(o) naročnino poravnal(i) v zakonitem roku po prejemu računa ali položnice.

Naročnik: _____

Ime in priimek:

Podjetje, ustanova:

Naselje, ulica, hišna št.:

Poštna številka:

Ime pošte:

Davčna številka naročnika:

Status (velja samo za individualne naročnike), obkroži:

- zaposlen

- upokojenec

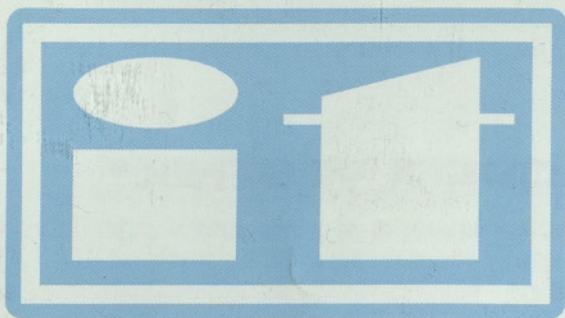
- študent

.....
Kraj in datum

.....
Podpis

Naročilnico izrežite in pošljite v kuverti na naslov:

GRADBENI VESTNIK,
Karlovska 3
1000 Ljubljana



PRIPRAVLJALNI SEMINARJI TER IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE V GRADBENIŠTVU, ARHITEKTURI IN KRAJINSKI ARHITEKTURI V LETU 2001

MESEC	SEMINAR	IZPITI	
		GRADBENIKI	ARHITEKTI KRAJINARJI
September	17. - 21.		
Oktober	8. - 12.	pisni: 27.10.	
November	12. - 16.	ustni: 5. - 8.11.	pisni: 7.11.
		pisni: 24.11.	ustni: 19. - 21.11.
December	17. - 21.	ustni: 3. - 7.12.	

A. PRIPRAVLJALNE SEMINARJE

organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška 3, 1000 Ljubljana (telefon/fax: 01 / 422-46-22), E-mail: gradb.zeza@siol.net

Seminar za GRADBENIKE poteka 5 dni (46 ur) in pripravlja kandidate za splošni in posebni del strokovnega izpita, Cena seminarja znaša 65.000,00 SIT z DDV.

Seminar za ARHITEKTE IN KRAJINSKE ARHITEKTE poteka (prve) 3 dni in jih pripravlja za splošni del strokovnega izpita. Cena seminarja je 33.000,00 SIT z DDV.

K seminarju vabimo tudi kandidate, ki so že opravili strokovni izpit po določeni stopnji izobrazbe, pa so si pridobili višjo in morajo opravljati dopolnilni strokovni izpit. Ponujamo jim predavanje iz področja "Investicijski procesi in vodenje projektov". Cena predavanja in literature je 10.000,00 SIT z DDV.

Seminar ni obvezen! Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20 kandidatov). Udeleženec prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, samoudeleženec ...). Prijavo v obliki dopisa je potrebno poslati organizatorju **najkasneje 20 dni** pred pričetkom določenega seminarja. Prijava mora vsebovati: priimek, ime, poklic (zadnja pridobljena izobrazba), in naslov prijavitelnega kandidata ter naslov in davčno številko plačnika. Samoplačnik mora k prijavi priložiti kopijo dokazila o plačilu. Žiro račun ZDGITS je 50101-678-47602; davčna številka 79748767.

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS)**, Dunajska 104, 1000 Ljubljana. Informacije je mogoče dobiti pri Ge. Terezi Rebernik od 10.00 do 12.00 ure, po telefonu 01 / 568-52-76.