

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN

TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH
INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, september 2007, letnik 56, str. 217-240

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9e, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

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

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektorica:

Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3000 izvodov

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

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojece 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran **218**

Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Peter Dobrila, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Miroslav Premrov, univ. dipl. inž. grad.

PRIMERJALNA ANALIZA SOVPREŽNEGA T-PREREZA IZ BETONA IN LESA, OJAČENEGA S CFRP TRAKOM

COMPARISON ANALYSIS OF COMPOSITE T-SECTION MADE OF
CONCRETE AND TIMBER, STRENGTHENED WITH CFRP STRIP

stran **226**

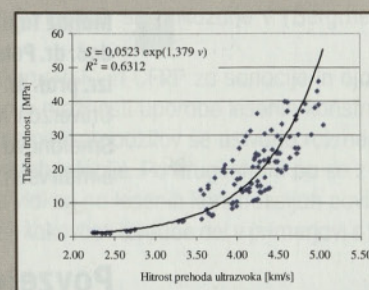
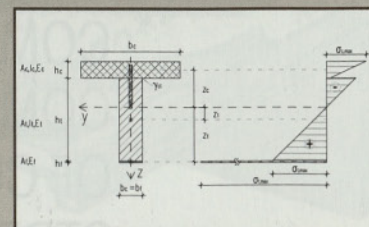
Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.

mag. Franci Kavčič, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.

NUMERIČNI MODEL ZA DOLOČANJE TLAČNE TRDNOSTI MLADEGA BETONA Z ULTRAZVOČNO METODO

NUMERICAL MODEL FOR DETERMINATION OF COMPRESSIVE
STRENGTH OF YOUNG CONCRETE WITH ULTRASONIC PULSE
VELOCITY METHOD



Odmev

stran **235**

Pripombe k članku A. Urevca: Upravljanje z jezerom – primerjava

Bleda s podobnimi kraji v Avstriji (GV, julij 2007)

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.

stran **236**

Odgovor avtorja

Vabilo ZDGIT Maribor

stran **237**

Koledar prireditev

stran **238**

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

Cenik oglasov

stran **239**

Slika na naslovnici: Stari in novi viadukt Peračica na gorenjski avtocesti, foto Janez Duhovnik

PRIMERJALNA ANALIZA SOVPREŽNEGA T-PREREZA IZ BETONA IN LESA, OJAČENEGA S CFRP TRAKOM

COMPARISON ANALYSIS OF COMPOSITE T-SECTION MADE OF CONCRETE AND TIMBER, STRENGTHENED WITH CFRP STRIP

Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.
doc. dr. Peter Dobrila, univ. dipl. inž. grad.
izr. prof. dr. Miroslav Premrov, univ. dipl. inž. grad.
Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,
Smetanova 17, 2000 Maribor,
e-mail vseh: ime.priimek@uni-mb.si

Znanstveni članek
UDK 624.04+624.078.8+69.059.3

Povzetek | V članku je predstavljen matematični model in numerični primer analize sovprežnega nosilca, katerega T-prerez je sestavljen iz betonske plošče in lesenega nosilca, ojačenega na spodnji natezni strani s karbonskim trakom (Carbon Fiber Reinforced Polymer – CFRP). Analiza je izvedena v skladu z evropskimi standardi za lesene, jeklene in betonske konstrukcije. Tako natezna trdnost karbonskega traku kot tlačna trdnost betonske plošče sta višji od upogibne trdnosti lesenega nosilca, zato je takšna sestava materialov še toliko bolj primerna za doseganje višjih nosilnosti. V nadaljnjem je prikazan prispevek karbonskega traku na nosilnost in upogibno togost prereza v odvisnosti od medosne razdalje med veznimi sredstvi.

Summary | This paper provides a mathematical model and a numerical example of a composite T-section composed of a concrete plate and a timber beam, strengthened at the bottom tension side with a carbon fibre-reinforced polymer (CFRP) strip. The analysis is provided in accordance with the European standards for timber, steel and concrete structures. The tensile strength of the carbon strip as well as the compressive strength of the concrete plate are higher than the bending strength of the timber beam, therefore it is convenient to use such a composition of material to gain a higher load bearing capacity. Furthermore, the CFRP strip's contribution to the bending resistance and stiffness of the element is presented as a function of the fastener's spacing.

1 • UVOD

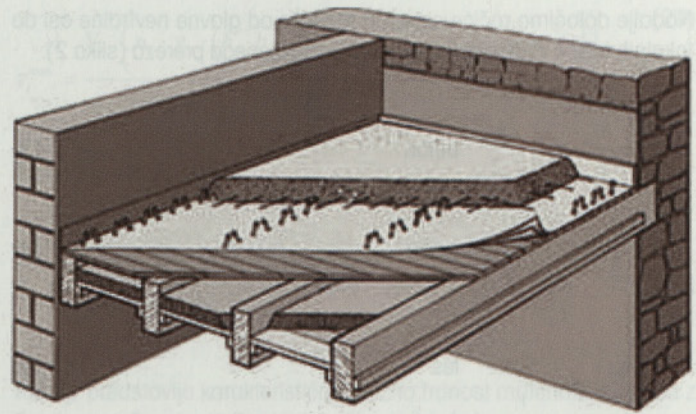
V današnjem času je zaščita in rekonstrukcija starejših in zgodovinskih stavb ena od najpomembnejših nalog pri obnovi mest. Zaradi tega se je pojavil učinkovit sistem stropne konstrukcije, ki je sestavljena iz lesenih nosilcev na spodnji natezni coni in betonske plošče na zgornji tlačeni coni, med njima pa učinkovita vez iz mehanskih veznih sredstev (slika 1). Rezultat tovrstnih ojačitev (rekonstrukcij) obstoječih ali novih lesenih

stropov se kaže predvsem v povečani togosti ter nosilnosti, izboljšani požarni obstojnosti in zvočni izolativnosti.

Obnašanje konstrukcije je odvisno predvsem od povezave med lesenim nosilcem in betonsko ploščo, ki je odvisna od veznih sredstev med njima. Pri tem se je ne glede na vezna sredstva oziroma možnosti bolje od klasičnega betona izkazal mikroarmirani beton (steel fibre reinfor-

ced concrete – SFRC). Holschemacher, Klotz in Weibe (Holschemacher, 2002) so predstavili eksperimentalno študijo z uporabo mikroarmiranega betona. Končna nosilnost veznih sredstev je 27 % višja in duktilnost nekajkrat višja v primerjavi s klasičnim armiranim betonom. Ker natezna trdnost lesa ni veliko manjša od njegove tlačne trdnosti, se uporaba ojačitev s polimernimi vlakni (FRP) oziroma karbonskimi vlakni (CFRP) v lesenih konstrukcijah ni uporabljala tako pogosto kot v zidanih oziroma betonskih. Potencial uporabe mikroarmiranih polimerov v kombinaciji z jeklenimi in lesenimi konstrukcijami se raziskuje šele v zanjem času. Glavna prednost uporabe FRP, še posebno v primerjavi z ostalimi materiali (npr. jeklenimi ploščami), je njihova odpornost proti koroziji, majhna lastna teža in fleksibilnost, ki omogoča enostaven transport na mesto vgraditve in enostavno montažo.

Dostopnost naprednih kompozitov je povečala zanimanje za ojačitev lesenih elementov, še posebej lepljenih nosilcev. Les je sicer neobičajen material za gradnjo avtocestnih mostov, vendar se izkaže, da se z uporabo ojačitev s FRP in CFRP pridobi večja duktilnost in upogibna nosilnost, zaradi česar bi se tudi na tem področju lahko razvila tovrstna gradnja. Dagher in Breton (Dagher, 1998) sta raziskala lesene lepljene nosilce, ojačene s FRP lamelami v natezni coni. Študija je pokazala bistveno povečano upogibno nosilnost. Stevens and Criner (Stevens, 2000) sta izvedla ekonomsko študijo FRP lepljenih nosilcev. Rezultati so pokazali na praktično uporabnost elementov, ojačenih z FRP, še posebej za mostove večjih razponov, kjer so lahko dimenzije nosilcev bistveno zmanjšane z uporabo FRP ojačitev. Rezultati študije uporabe



Slika 1 • Primer načina rekonstrukcije lesenega stropu

karbonskih vlaken v lepljenih nosilcih so prikazane v (Bergmeister, 2001).

Uporaba visokonosilnih vlaken (HSF) in CFRP za sanacije in ojačitve lesenih elementov odpira nove možnosti uporabe lesenih konstrukcij. S padanjem vrednosti polimernih kompozitov se ustvarja razmere za večjo uporabo tovrstne nove tehnologije. Po drugi strani pa se z uporabo kompozitov iz umetnih vlaken na lesenih konstrukcijah povečuje potreba po izkušnosti in višji kakovosti izvedbe del v primerjavi s tradicionalnimi ojačitvami.

2 • OSNOVNE PREDPOSTAVKE

V analizi bomo uporabili poenostavljeno računsko metodo za mehansko spojene lesene elemente po Evrokodu 5, Dodatek B, tako imenovano »γ-metodo«, z naslednjimi temeljnimi predpostavkami:

- Bernoullijeva hipoteza velja samo za vsako komponento prereza posebej,
- obnašanje materiala vsake komponente prereza je linearno elastično,
- razdalje med veznimi sredstvi vzdolž nosilca so konstantne,
- modul pomikov veznih sredstev je privzet v plastičnem območju za mejno stanje nosilnosti (MSN) ali v elastičnem območju za mejno stanje uporabnosti (MSU)
- potek momentne linije je sinusni ali po kvadratni paraboli.

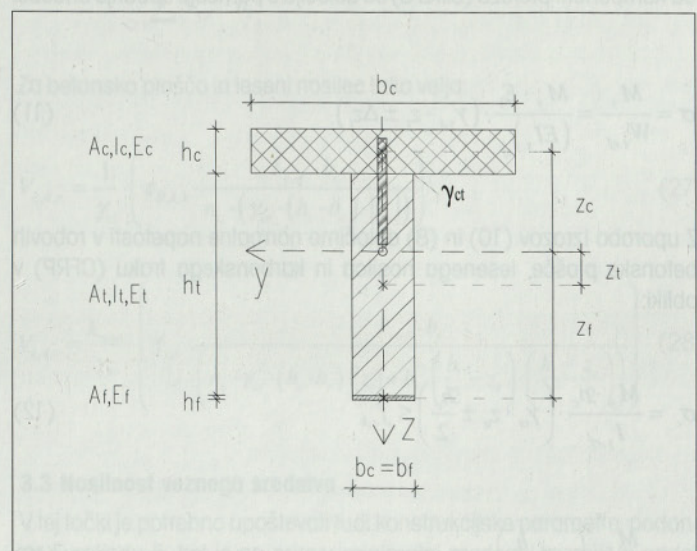
Določitev glavne nevtralne osi sestavljenega prereza je v skladu z Evrokodom 5 za mehansko spojene elemente ob predpostavki, da izhajamo iz težišča lesenega nosilca (slika 2):

$$z_0 = \frac{\sum A_i \gamma_{ct}}{\sum A_i} = \frac{(n_f \cdot A_f \cdot (h_i + h_f) - n_c \cdot \gamma_{ct} \cdot A_c \cdot (h_i + h_c))}{2 \cdot (n_c \cdot \gamma_{ct} \cdot A_c + A_i + n_f \cdot A_f)} \quad (1)$$

Kjer velja za razmerje modulov elastičnosti:

$$n_c = \frac{E_c}{E_t} \text{ za beton; } n_f = \frac{E_f}{E_t} \text{ za CFRP} \quad (2)$$

kjer je primerjalni material les.



Slika 2 • Sovprežni prečni prerez

Nadalje določimo ročice oziroma razdalje od glavne nevtralne osi do lokalnih težišč vsake od komponent sestavljenega prereza (slika 2):

$$z_c = \left(-\frac{h_t}{2} - z_0 \right) - \frac{h_c}{2} \quad \text{beton} \quad (3)$$

$$z_f = \left(\frac{h_t}{2} - z_0 \right) + \frac{h_f}{2} \quad \text{CFRP} \quad (4)$$

$$z_t = -z_0 \quad \text{les} \quad (5)$$

V zgornjih izrazih nastopa koeficient togosti priključne ravnine med betonom in lesom (γ_{ct}), kot je definiran v Evrokodu 5:

$$\gamma_{y,ct} = \frac{1}{1+k_y}; \quad k_y = \frac{\pi^2 \cdot E_{cm} \cdot A_c \cdot s_t}{K \cdot I_{eff}^2} \quad (6)$$

Koeficient togosti priključne ravnine med lesom in prilepljenim karbonskim trakom se šteje kot 1, saj je trak prilepljen na leseni nosilec. Zgornja vrednost modula pomikov veznega sredstva (K) je privzeta iz Evrokoda 5 za trne, kjer velja za stik med betonom in lesom vrednost, ki temelji na srednji gostoti lesa (ρ_m), v končni fazi pa povečana za faktor 2,0. Tako je končna oblika za modul pomikov veznega sredstva naslednja:

$$K_{ser} = 2.0 \cdot \frac{\rho_m^{1.5} \cdot d}{23} \quad \text{za mejno stanje uporabnosti (MSU)} \quad (7)$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} \quad \text{za mejno stanje nosilnosti (MSN)} \quad (8)$$

Efektivno upogibno togost ($EI_y)_{eff}$ prereza iz mehansko spojenih elementov določimo v skladu z Evrokodom 5 – Dodatek B in jo lahko analogno zapišemo v obliki:

$$(EI_y)_{eff} = E_c \cdot \left(\frac{h_c^3 \cdot b_c}{12} + \gamma_{y,ct} \cdot A_c \cdot z_c^2 \right) + E_t \cdot \left(\frac{h_t^3 \cdot b_t}{12} + A_t \cdot z_t^2 \right) + E_f \cdot (A_f \cdot z_f^2) \quad (9)$$

Z uporabo izrazov za razmerje med moduli elastičnosti (2) lahko zapišemo efektivno upogibno togost kot:

$$E_t \cdot I_{y,eff} = E_t \cdot \left(n_c \cdot \left(\frac{h_c^3 \cdot b_c}{12} + \gamma_{y,ct} \cdot A_c \cdot z_c^2 \right) + \left(\frac{h_t^3 \cdot b_t}{12} + A_t \cdot z_t^2 \right) + n_f \cdot (A_f \cdot z_f^2) \right) \quad (10)$$

3 • DOLOČITEV NOSILNOSTI

3.1 Upogibna nosilnost

Normalne napetosti v sestavljenem prerezu za poljubno vlakno vsake od komponent prereza (Slika 3) se določijo s pomočjo spodnje enačbe:

$$\sigma = \frac{M_y}{W_{y,ef}} = \frac{M_y \cdot E_i}{(EI_y)_{ef}} \cdot (\gamma_{y,i} \cdot z_i \pm \Delta z_i) \quad (11)$$

Z uporabo izrazov (10) in (8) določimo normalne napetosti v robovih betonske plošče, lesenega nosilca in karbonskega traku (CFRP) v obliki:

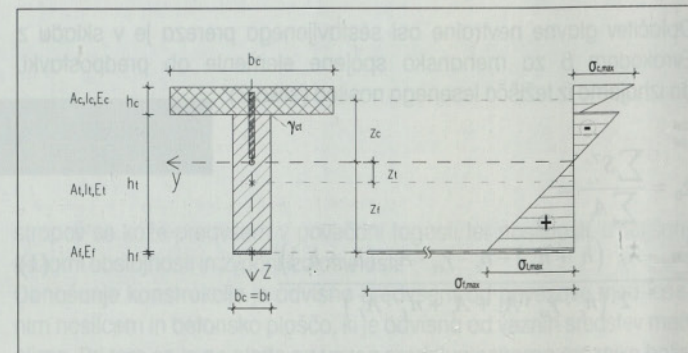
$$\sigma_c = \frac{M_y \cdot n_c}{I_{y,ef}} \cdot \left(\gamma_{ct} \cdot z_c \pm \frac{h_c}{2} \right) \leq f_{c,k} \quad (12)$$

$$\sigma_t = \frac{M_y}{I_{y,ef}} \cdot \left(z_t \pm \frac{h_t}{2} \right) \leq f_{m,k} \quad (13)$$

$$\sigma_f = \frac{M_y \cdot n_f}{I_{y,ef}} \cdot \left(z_f + \frac{h_f}{2} \right) \leq f_{f,k} \quad \text{ali} \quad \sigma_f = \sigma_t \cdot n_f \leq f_{f,k} \quad (14)$$

kjer $f_{i,k}$ predstavljajo karakteristične trdnosti vsakega od materialov komponent v prerezu.

V izrazu (14) lahko privzamemo zaradi izredno majhne debeline traku poenostavljeno različico.



Slika 3 • Potek normalnih napetosti v prečnem prerezu

V skladu z izrazi (12) – (14) se projektna upogibna nosilnost določi kot:

$$M_{y,d} = \sigma_d \cdot W_{y,ef} = f_{i,d} \cdot \frac{I_{y,ef}}{n_i \cdot (\gamma_{y,i} \cdot z_i \pm \Delta z_i)} \quad (15)$$

V skladu z enačbo (15) določimo projektne upogibne nosilnosti glede na betonsko ploščo, lesenem nosilcu in CFRP (kjer je enačba (18) odločilna za leseni nosilec samo v primeru izpolnjenosti izraza (19)):

$$M_{y,d,c} = \frac{\alpha}{\gamma_c} \cdot \left(f_{c,k} \cdot \frac{I_{y,ef}}{n_c \cdot \left(\gamma_{ct} \cdot z_c - \frac{h_c}{2} \right)} \right) \quad (16)$$

$$M_{y,d,l} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot \left(f_{m,y,k} \cdot \frac{I_{y,ef}}{z_l + \frac{h_l}{2}} \right) \quad (17)$$

$$M_{y,d,l} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot \left(f_{t,0,k} \cdot \frac{I_{y,ef}}{z_l} \right) \quad (18)$$

$$1 + \frac{h_l}{2 \cdot z_l} > \frac{f_{m,k}}{f_{t,0,k}} \quad (19)$$

$$M_{y,d,f} = \frac{1}{\gamma_f} \cdot \left(f_{f,k} \cdot \frac{I_{y,ef}}{n_f \cdot \left(z_f + \frac{h_f}{2} \right)} \right) \quad (20)$$

3.2 Strižna nosilnost

Strižne napetosti v prerezu za poljubno vlakno (slika 4) so dane z izrazoma:

$$\tau = \frac{V_z \cdot S_i \cdot E_i}{(EI_y)_{ef} \cdot b_i} \quad \tau^{i-i} = \frac{V_z \cdot \sum S_{y,i}^{(\gamma)} \cdot n_i}{I_{y,ef} \cdot b_i} \quad (21)$$

S pomočjo enačbe (21) določimo stišne napetosti v spodnjem robu betonske plošče (ob predpostavki, da se ne pojavi sekundarna nevtralna os v plošči):

$$\tau_c = \frac{V_z \cdot n_c \cdot (\gamma_{ct} \cdot (h_c \cdot b_c) \cdot |z_c|)}{I_{y,ef} \cdot b_c} \leq \tau_{R,k,1} \quad (22)$$

Prav tako s pomočjo enačbe (21) določimo maksimalne stišne napetosti v lesenem nosilcu v območju glavne nevtralne osi:

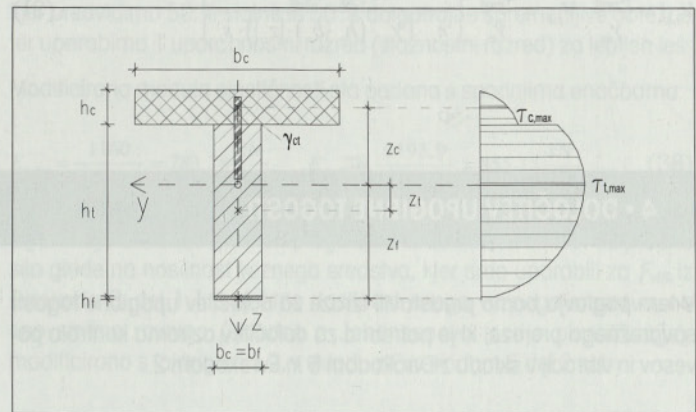
$$\tau_t^{max} = \frac{V_z \cdot \left(n_c \cdot \gamma_{ct} \cdot (h_c \cdot b_c) \cdot |z_c| + b_l \cdot \left(\frac{h_l}{2} - z_l \right) \cdot \left(\frac{h_l}{4} - \frac{z_l}{2} \right) \right)}{I_{y,ef} \cdot b_l} \leq f_{v,k} \quad (23)$$

Analogno velja za CFRP:

$$\tau_f = \frac{V_z \cdot (n_f \cdot (h_f \cdot b_f) \cdot z_f)}{I_{y,ef} \cdot b_f} \leq \tau_{Rf,k} \quad (24)$$

Kjer f_{vk} predstavlja karakteristično strižno trdnost materiala v skladu z Evrokodom 5 za les in Evrokodom 2 za beton kot:

$$\tau_{R,k,1} = \tau_{R,k} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_1) \quad (25)$$



Slika 4 • Potek strižnih napetosti v prečnem prerezu

V skladu z enačbami (22) – (24) določimo projektno strižno nosilnost:

$$V_{z,d,i} = f_{i,d} \cdot \frac{I_{y,ef} \cdot b_i}{\sum S_{y,i}^{(\gamma)} \cdot n_i} \quad (26)$$

Za betonsko ploščo in lesenem nosilcu tako velja:

$$V_{z,d,c} = \frac{1}{\gamma_c} \cdot \left(\tau_{R,k,1} \cdot \frac{I_{y,ef} \cdot b_c}{n_c \cdot (\gamma_{ct} \cdot (h_c \cdot b_c) \cdot |z_c|)} \right) \quad (27)$$

$$V_{z,d,l} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot \left(f_{v,k} \cdot \frac{I_{y,ef} \cdot b_l}{\left(n_c \cdot \gamma_{ct} \cdot (h_c \cdot b_c) \cdot |z_c| + b_l \cdot \left(\frac{h_l}{2} - z_l \right) \cdot \left(\frac{h_l}{4} - \frac{z_l}{2} \right) \right)} \right) \quad (28)$$

3.3 Nosilnost veznega sredstva

V tej točki je potrebno upoštevati tudi konstrukcijske parametre, podane po Evrokodu 5, kot je na primer minimalni medosni razmik in oddaljenost do konca in roba lesenega elementa za različne vrste veznih

sredstev. Strižna sila na eno vezno sredstvo je glede na izraz (21) v odvisnosti od razmika med veznimi sredstvi »s« v obliki:

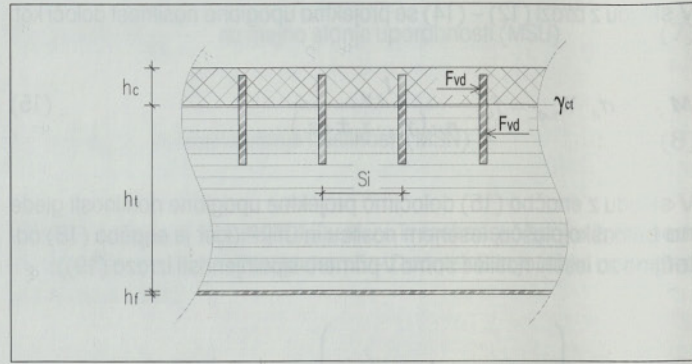
$$F_i = \frac{V_z \cdot S_i \cdot E_i}{(EI_y)_{ef}} \cdot s_i = \frac{V_z \cdot \sum S_{y,i}^{(\gamma)} \cdot n_i}{I_{y,ef}} \cdot s_i \quad (29)$$

V našem primeru privzamemo projektno silo na vezno sredstvo za spoj med betonsko ploščo in lesenim nosilcem (slika 5) kot:

$$F_{v,d} = \frac{V_{z,d} \cdot n_c \cdot (\gamma_{ct} \cdot (h_c \cdot b_c) \cdot |z_c|)}{I_{y,ef}} \cdot s_i \leq F_{v,Rk} \quad (30)$$

Posledično je projektna strižna sila:

$$V_{z,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot V_{z,k} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot \left(\frac{F_{v,Rk} \cdot I_{y,ef}}{n_c \cdot (\gamma_{ct} \cdot (h_c \cdot b_c) \cdot |z_c|) \cdot s_i} \right) \quad (31)$$



Slika 5 • Trni in sile na njih

kjer predstavlja $F_{v,Rk}$ v skladu z Evrokodom 5 karakteristično bočno nosilnost enega veznega sredstva v eni strižni ravnini (skladno z Johanssonovo teorijo plastifikacije) in povečana za 20 % v skladu z Evrokodom 5, del 2. Nosilnost veznega sredstva je lahko dodatno preverjena v skladu z Evrokodom 4, del 1-1.

4 • DOLOČITEV UPOGIBNE TOGOSTI

V tem poglavju bomo predstavili izraze za določitev upogibne togosti sovprežnega prereza, ki je potrebna za določitev oziroma kontrolo posvov in vibracij v skladu z Evrokodom 5 in Evrokodom 2.

4.1 Upogibna togost v $t = 0$

Izrazi (2) – (4) ostanejo nespremenjeni, enačbe (1), (8) and (10) pa so modificirane s spremenjenim koeficientom togosti priključne ravnine (γ_{ct}), kjer uporabimo K_{ser} namesto K_u v enačbi (6).

4.2 Upogibna togost v $t = \infty$

Vpliv lezenja materialov lahko apliciramo preko modulov elastičnosti posameznih materialov, ki so v prerezu. V izrazu (2) uporabimo modificiran modul elastičnosti v skladu z Evrokodom 5 za les in Evrokodom 2 – Dodatek 1 za beton:

$$E_{t,fin} = \frac{E_t}{1 + \Psi_2 \cdot k_{def}} \quad \text{za les} \quad (32)$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_c}{1 + \phi_{(\infty,t_0)}} \quad \text{za beton} \quad (33)$$

Vpliv lezenja je prisoten tudi v stiku in se odraža na modulu pomikov veznih sredstev K_{ser} v (prilagojeni) obliki iz Evrokoda 5:

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + \left(\frac{\Psi_2 \cdot k_{def} + \phi_{(\infty,t_0)}}{2} \right)} \quad (34)$$

To dejstvo ima za posledico neposredni neugodni vpliv na zmanjšanje koeficienta togosti priključne ravnine (γ_{ct}) po enačbi (5) in posledično na lego nevtralne osi v izrazu (1) in upogibno togost, podano po enačbah (9) – (10).

Na tem področju so še določene nedorečenosti glede modeliranja reoloških vplivov pri spoju oziroma sovprežnosti različnih materialov.

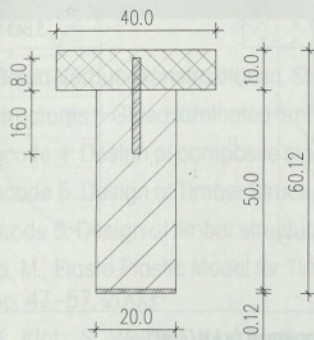
5 • RAČUNSKI PRIMER

4.1 Geometrijske in materialne karakteristike

Računski primer je izveden za sovprežni T-prerez dejanskih dimenzij, prikazanih na sliki 6. Za vezna sredstva med betonsko ploščo in lesenim nosilcem uporabimo trne v skladu z Evrokodom 5 in Evrokodom 3 premera $\varnothing 20 \text{ mm}$, dolžine $l = 24 \text{ cm}$, vgrajene na medosni razdalji

$s = 10 \text{ cm}$. Kvaliteto trna izberemo v skladu z Evrokodom 3 in sicer 8.8 ($f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$).

Uporabimo leseni lepljeni nosilec kvalitete GL24h v skladu z EN 1194, za betonsko ploščo beton kvalitete C30/37 iz Evrokoda 2 in CFRP – Sika-Wrap-230C. Vse materialne karakteristike so navedene v preglednici 1.



Slika 6 • Prečni prerez (dimenzije v cm)

Tu smo uporabili parametre reologije oziroma lezenja materialov, kot sledijo.

V skladu z Evrokodom 2 – Dodatek 1 določimo koeficient lezenja za beton:

$$\phi_0 = \phi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 2,16 \cdot 2,725 \cdot 0,488 = 2,872 \quad (35)$$

$$\phi_{(t-t_0)} = \phi_0 \cdot \beta_c(t-t_0) \cdot \frac{E_{cm}}{E_{c(28)}} = 2,872 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{1,05} = 2,735 \quad (36)$$

kjer predvidimo 50 % relativno vlažnost okolja in starost betona 28 dni ob prvi obremenitvi.

V skladu z Evrokodom 5 izračunamo koeficient lezenja za les:

$$\psi_2 \cdot k_{def} = \frac{\psi_{2g} \cdot k_{def}}{2} + \frac{\psi_{2p} \cdot k_{def}}{2} = \frac{1,0 \cdot 0,6}{2} + \frac{0,6 \cdot 0,6}{2} = 0,48 \quad (37)$$

kjer predvidimo 50 % stalne in 50 % dolgotrajne spremenljive obtežbe ter uporabimo 1 uporabnostni razred (vlažnostni razred) za lepljen les.

Modificirana modula elastičnosti sta podana s spodnjima enačbama:

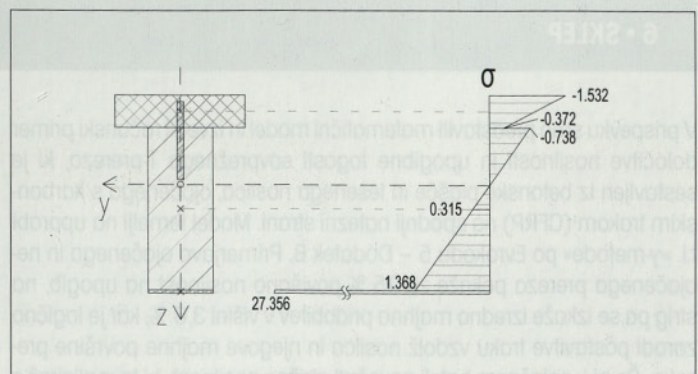
$$E_{i,fin} = \frac{1160}{1+0,48} = 783,78 \frac{kN}{cm^2} \quad E_{c,eff} = \frac{3193,9}{1+2,735} = 855,13 \frac{kN}{cm^2} \quad (38)$$

S pomočjo izraza (31) smo v preglednici 2 določili nosilnost na prečno silo glede na nosilnost veznega sredstva, kjer smo uporabili za $F_{v,Rk}$ iz Evrokoda 5, del 1-1 projektno nosilnost enega veznega sredstva, na eno strižno ravnino (skladno z Johansenovo teorijo plastifikacije), modificirano s faktorjem 1,2, v skladu z Evrokodom 5 del 2 kot:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,7}{1,25} \cdot (1,2 \cdot 22814) = 15331 N = 15,33 kN \quad (39)$$

Tukaj se izkažejo za najneugodnejše izrazi Johansenove enačbe (d in f), kjer privzamemo za karakteristično bočno trdnost v betonski plošči kar karakteristično tlačno trdnost betona (lahko bi jo tudi v skladu z Evrokodom 2, pog. 5.4.8.1). Nosilnost veznega sredstva je lahko višja, če uporabimo višjo kvaliteto trna in večjo globino v betonski plošči. Z omenjenima spremembama ne vplivamo na koeficient togosti priključne ravnine (γ_{cr}).

Pripadajoče normalne napetosti skladno z izrazi (12) do (14) so predstavljene na sliki 7.


 Slika 7 • Normalne napetosti (v kN/cm²)

	Beton C30/37	Les GL24h	SikaWrap 230C
$E_{0,m}$ (kN/cm ²)	3193,9	1160	23100
$f_{m,k}$ (kN/cm ²)	/	2,444*	/
$f_{t,0,k}$ (kN/cm ²)	0,2028	1,65	410,0
$f_{c,0,k}$ (kN/cm ²)	3,0	2,4	/
ρ_k (kg/m ³)	/	380	/
ρ_m (kg/m ³)	2400	456	183,33

* modificirana upogibna trdnost lesa v skladu z Evrokodom 5 (pogl. 3.3, en. 3.2)

Preglednica 1 • Materialne karakteristike

Za obtežbo predvidimo 50 % stalne in 50 % dolgotrajne obtežbe. Na tej predpostavki lahko določimo materialne varnostne faktorje za MSN in modifikacijske faktorje za reološke efekte za MSU. Predvidimo tudi efektivno dolžino nosilca ($l_{eff} = 800 \text{ cm}$) za določitev koeficienta togosti priključne ravnine.

5.2 Rezultati analize

Rezultati analize so zbrani v preglednici 2.

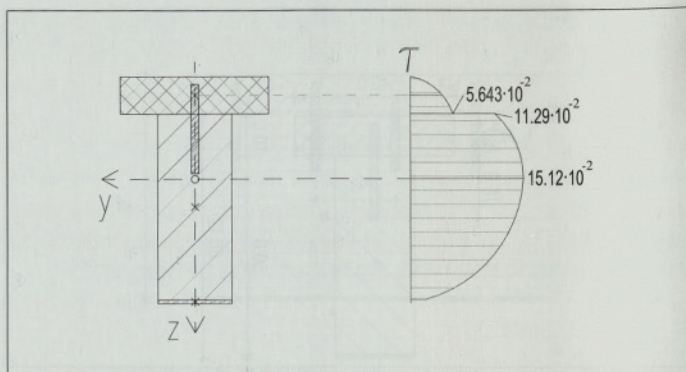
Parametri	MSN $t = 0$	MSU $t = 0$	MSU $t = \infty$	Enote	Enačba
K	112,90	169,35	64,946	kN/cm	(7) / (8)
γ_{cr}	0,3643	0,4622	0,2479	/	/
n_s	2,753	2,753	1,091	/	/
n_t	19,914	19,914	29,472	/	/
z_0	-7,48	-9,040	-1,250	cm	cm
z_c	-22,52	-20,960	-28,750	cm	cm
z_t	32,54	34,100	26,310	cm	cm
z_i	7,48	9,040	1,250	cm	cm
$I_{y,ef}$	$5,2755 \times 10^5$	$5,7846 \times 10^5$	$3,51923 \times 10^5$	cm ⁴	cm ⁴
$(EI)_{y,ef}$	61194,61	67101,18	27583,40	kNm ²	kNm ²
$M_{y,d,1}$	222,31	projektna upogibna nosilnost		kNm	kNm
$V_{z,d,1}$	131,79	projektna strižna nosilnost		kN	kN
$V_{z,d}$	89,51	nosilnost glede na vezno sredstvo		kN	kN

Preglednica 2 • Rezultati računske analize

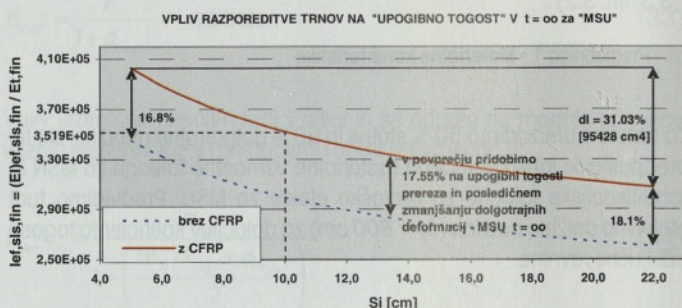
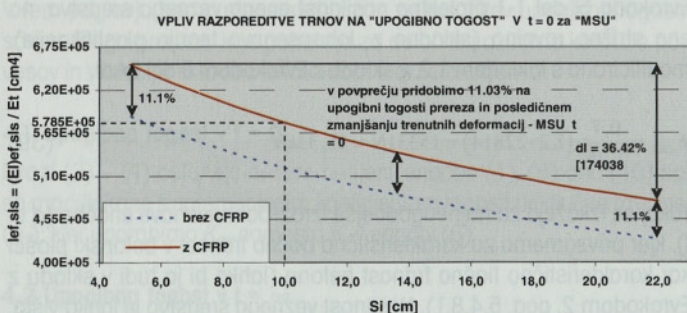
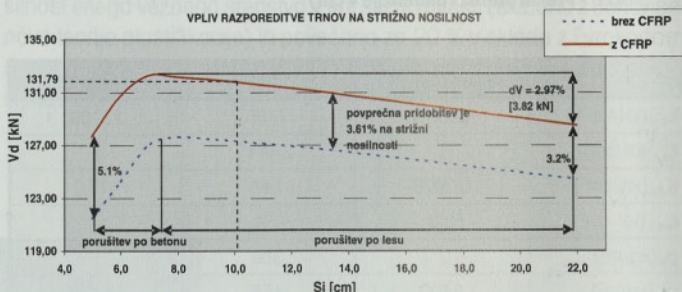
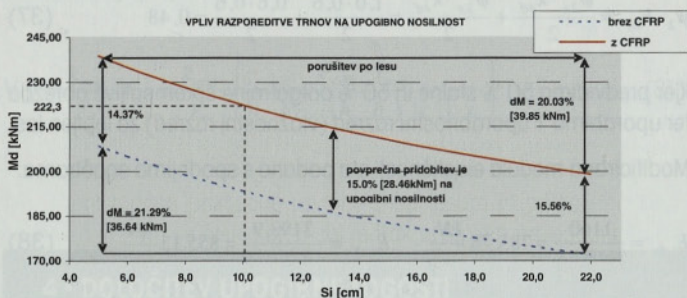
Pripadajoče strižne napetosti skladno z izrazi (22) do (24) so predstavljene na sliki 8.

5.3 Primerjava med ojačenim in neojačenim prerezem

Primerjava nosilnosti in upogibne togosti sovprežnega prereza z in brez CFRP traku z variabilno gostoto veznih sredstev (medosno razdalja med trni) je prikazana na sliki 9 (ostale materialne in geometrijske karakteristike so ostale enake kot v zgornjem računskem primeru).



Slika 8 • Strižne napetosti (v kN/cm²)



Slika 9 • Prikaz variabilnosti karakteristik prereza v odvisnosti od razmaka veznih sredstev

6 • SKLEP

V prispevku smo predstavili matematični model in izvedli računski primer določitve nosilnosti in upogibne togosti sovprežnega T-prereza, ki je sestavljen iz betonske plošče in lesenega nosilca, ojačenega s karbonskim trakom (CFRP) na spodnji natezni strani. Model temelji na uporabi t.i. » γ -metode« po Evrokodu 5 – Dodatek B. Primerjava ojačenega in neojačenega prereza pokaže za 15 % povišano nosilnost na upogib, na strig pa se izkaže izredno majhna pridobitev v višini 3,6 %, kar je logično zaradi postavitve traku vzdolž nosilca in njegove majhne površine preseka. Če bi v splošnem hoteli povečati strižno nosilnost, bi to realizirali s postavitvijo CFRP trakov pod kotom 45° v smeri glavnih nateznih napetosti.

Seveda je na splošno nosilnost odvisna tudi od stopnje sovprežnosti med betonsko ploščo in lesenim nosilcem oziroma gostote veznih sredstev med njima, kar se kaže v vrednosti koeficienta togosti priključne ravnine (γ_v).

Poleg navedenega velja, da boljša kombinacija geometrijskih in materialnih karakteristik komponent prereza lahko bistveno izboljša nosilnost in togost prereza. Kot primer boljšega prispevka in izkoristka CFRP traku je uporaba traku z višjim modulom elastičnosti (SikaWrap-100C HiMod NW – ima modul elastičnosti 640 GPa), ki posledično bistveno poveča nosilnost in togost prereza nosilca.

7 • LITERATURA

- Ceccotti, A., Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Step 2, Bauteile Konstruktionen Details, Düsseldorf, pp. E13/1-11, 1995.
- EN 1194: Timber structures – Glued laminated timber, Strength classes and determination of characteristic values, Brussels, 1999.
- EN 1994-1-1, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures, Part 1-1 General rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- EN 1995-1-1, Eurocode 5: Design of Timber Structures, Part 1-1 General rules and rules for buildings, , Brussels, 2004.
- ENV 1995-2, Eurocode 5: Design of timber structures, Part 2 Bridges, Brussels, 1997.
- Frangi, A., Fontana, M., Elasto-Plastic Model for Timber-Concrete Composite Beams with Ductile Connection. Structural Engineering International, Vol. 13, No. 1, pp. 47–57, 2003.
- Holschemacher, K., Klotz, S., Weibe, D., Application of Steel Fibre Reinforced Concrete for Timber-Concrete Composite Constructions, Lacer, No. 7, pp. 161–170, 2002.
- Premrov, M., Dobrila, P., Bedenik, B. S., Analysis of timber-framed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards, International Journal of Solids and Structures, Vol. 41, No. 24/25, pp. 7035–7048, 2004.
- prEN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-1 General rules and rules for buildings, Brussels, 2002.
- Sika, Sicher bauen mit System, Technische Merkblätter, Ausgabe 5, 2003.
- Tajnik, M., Primerjalna analiza sovprežnega nosilca iz betona in lesa z in brez karbonskega traku, diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2007.

NUMERIČNI MODEL ZA DOLOČANJE TLAČNE TRDNOSTI MLADEGA BETONA Z ULTRAZVOČNO METODO

NUMERICAL MODEL FOR DETERMINATION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF YOUNG CONCRETE WITH ULTRASONIC PULSE VELOCITY METHOD

Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.

mladi raziskovalec

Inštitut za gradbene materiale IGMAT d.d.

Polje 351 c, 1000 Ljubljana

mag. Franci Kavčič, univ. dipl. inž. grad.

Inštitut za gradbene materiale IGMAT d.d.

Polje 351 c, 1000 Ljubljana

izr. prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 620.179.1: 691.32

Povzetek | Standardna določitev tlačne trdnosti betona je sicer najbolj zanesljiva, zahteva pa porušitev betonskih vzorcev, ki so bodisi pripravljene v laboratoriju ali odvzete na terenu. V članku je predstavljena možnost uporabe nedestruktivne metode prehoda ultrazvočnih valov skozi beton za določitev tlačne trdnosti do 7 dni starega betona. Podrobneje je analiziran vpliv nekaterih faktorjev betonske mešanice na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona. Na podlagi eksperimentalnega dela je bilo ugotovljeno, da ima na to povezavo najpomembnejši vpliv agregat v betonu, medtem ko začetna temperatura betona, vodo-cementno razmerje in temperatura okolice niso pomembneje vplivali na to razmerje. Na podlagi rezultatov eksperimentalnega dela je z umetnimi nevronske mrežami pripravljen numerični model za oceno tlačne trdnosti betona poljubne strukture neposredno iz hitrosti prehoda ultrazvoka skozi beton. Numerični model je narejen v programskem okolju Matlab.

Summary | Ultrasonic pulse velocity is one of the most popular non-destructive techniques used in the assessment of concrete properties. However, it is very difficult to evaluate the concrete compressive strength with this method since the ultrasonic pulse velocity values are affected by a number of factors. This paper deals with the analysis of such factors on the strength – velocity relationship. The influence of these factors was established by our own experiments. The influence of aggregate was found out to be the most important factor. The influence of the initial concrete temperature, environmental temperature and water-cement ratio were not very important. Based on the experimental results, a numerical model was established within the Matlab programming environment to evaluate the concrete compressive strength with the determination of the ultrasonic pulse velocity in concrete. The multilayer feed-forward neural network was used for this purpose. The paper demonstrates that artificial neural networks can be successfully used in modelling the strength – velocity relationship.

1 • UVOD

Standardna določitev tlačne trdnosti betona zahteva porušitev betonskih vzorcev, ki so bodisi pripravljene v laboratoriju ali odvzete na sami konstrukciji. Na ta način določimo tlačno trdnost betona precej natančno in z veliko mero zanesljivosti, je pa taka destruktivna preiskava tlačne trdnosti betona precej draga in zamudna. V svetu so se zato uveljavile različne nedestruktivne metode določitve tlačne trdnosti betona, od katerih sta najbolj znani sklerometriška metoda in metoda, ki temelji na hitrosti prehoda ultrazvočnih valov skozi beton.

Ultrazvočna metoda je opisana v standardih JUS U.M1.042 : 1987, SIST EN 12504-4, ASTM C597 in BS 1881: Part 203 in se največkrat uporablja za določitev homogenosti betona, za določitev položaja in velikosti morebitnih razpok in drugih nepravilnosti v betonski strukturi, za oceno kvalitete betona itd. Ker je trdnost ena od najpomembnejših lastnosti konstrukcijskega betona, je mnogo avtorjev poskušalo določiti povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvočnega valovanja v (km/s) in trdnostjo betona S (MPa).

Beton sestavljajo štiri osnovni materiali, ki se med seboj mešajo v različno določenih razmerjih: portlandski cement, mineralni agregat, voda in zrak. Ta kompleksnost in nehomogenost betonske strukture v veliki meri vpliva na hitrost prehoda ultrazvočnega valovanja skozi beton, kar seveda precej oteži natančnost in zanesljivost določitve tlačne trdnosti betona z ultrazvočno metodo. (Popovics, 2007) na podlagi svoje raziskave trdi, da je z ultrazvočno metodo mogoče določiti tlačno trdnost betona le na 20 % natančno.

Mnogo avtorjev predlaga različne zveze med hitrostjo prehoda ultrazvočnih valov skozi beton v in tlačno trdnostjo betona S , od katerih je večina v obliki eksponentne funkcije (Tharmaratnam, 1990)

$$S = a \exp(bv), \quad (1)$$

redkeje pa se uporablja linearna zveza v obliki

$$S = av + b. \quad (2)$$

Tu sta a in b parametra, ki sta odvisna predvsem od strukture betonske mešanice. Povezava med tlačno trdnostjo betona in hitrostjo prehoda ultrazvočnega valovanja skozi

beton torej ni enolična. Faktorji, ki vplivajo na tlačno trdnost betona, ne vplivajo nujno v enaki meri na hitrost prehoda ultrazvočnega valovanja skozi beton (Popovics, 2007). Tako na primer vsebnost agregata v betonu, velikost maksimalnega zrna agregata in oblika agregata precej bolj vplivajo na hitrost ultrazvočnega valovanja skozi beton kot pa na samo tlačno trdnost betona (Crawford, 1997), medtem ko vrsta cementa ne vpliva bistveno na hitrost ultrazvočnega valovanja, vpliva pa na tlačno trdnost (Idrissou, 2006). Vlažnost betona poveča hitrost ultrazvočnega valovanja (Ohdaira, 2000) in zmanjša trdnost betona (Li, 2004). Abo-Qudais (2005) je v svoji raziskavi ugotovil, da je vsebnost in velikost agregata v betonu dejavnik, ki v največji meri vpliva na hitrost prehoda ultrazvočnega valovanja skozi beton.

Ker večina avtorjev ne upošteva strukture betona, se enačbe (1) in (2) med seboj precej razlikujejo ter bolj ali manj natančno opišejo povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačno trdnostjo določenega betona. Tako na primer Nyim (2005) predlaga linearno zvezo v obliki

$$S = 22,459v - 66,35, \quad (3)$$

Qasrawi (2000) pa v obliki

$$S = 36,72v - 129,077. \quad (4)$$

Turgut (2004) predlaga eksponentno zvezo

$$S = 1,146 \exp(0,77v), \quad (5)$$

pri kateri je koeficient korelacije znašal $R^2 = 0,80$, Nash't s soavtorji (2005) pa zvezo

$$S = 1,19 \exp(0,715v) \quad (6)$$

s koeficientom korelacije $R^2 = 0,59$. Kheder (1999) predlaga potenčno zvezo

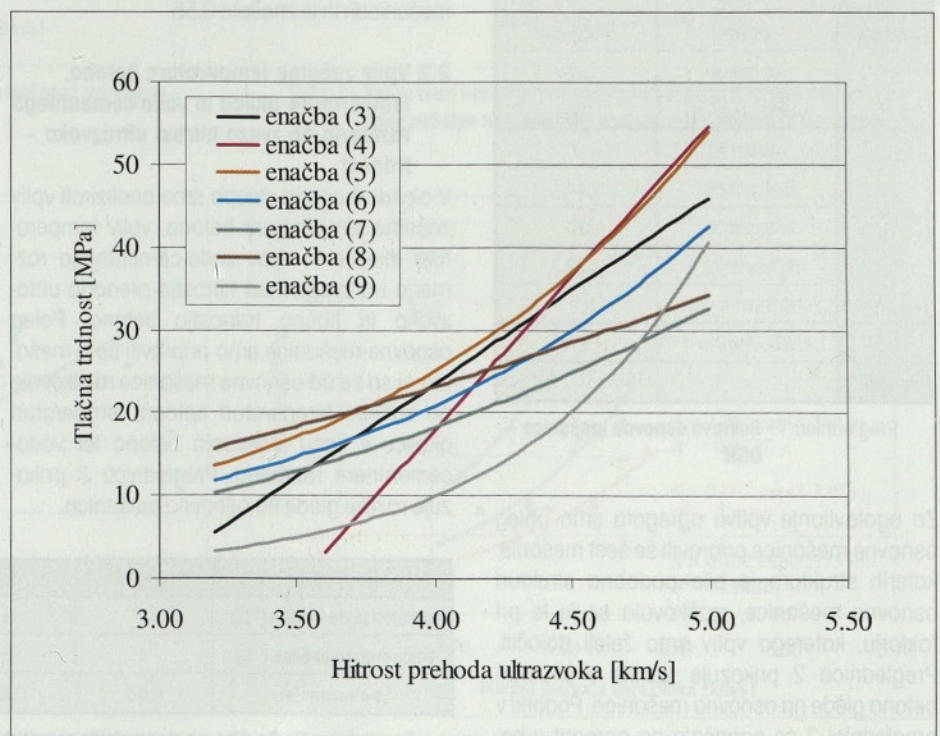
$$S = 8,4 \times 10^{-9} (v \cdot 10^3)^{2,5921} \quad (7)$$

s koeficientom korelacije $R^2 = 0,421$ za moker beton in zvezo

$$S = 1,2 \times 10^{-5} (v \cdot 10^3)^{1,7447} \quad (8)$$

s koeficientom korelacije $R^2 = 0,409$ za suh beton, del Rio s sodelavci (2004) pa enačbo v obliki

$$S = \exp[(-3,3 \pm 1,8) + (0,0014 \pm \pm 0,0004)(v \cdot 10^3)] \quad (9)$$



Slika 1 • Zveze med hitrostjo prehoda ultrazvoka v in tlačno trdnostjo betona S

s koeficientom korelacije $R^2 = 0.48$. Zveze (3-9) so grafično prikazane na sliki 1.

Pomemben faktor za pravilno interpretacijo enačb (3-9) je tudi starost betona. Pri starosti betona en dan znaša hitrost prehoda ultrazvoka okrog 3,8 km/s, pri starosti treh let pa okrog 5,2 km/s. V tem času se torej hitrost v poveča za okrog 33 %, medtem ko se trdnost betona v enakem času poveča za več kot

500 % (Popovich, 2007). Ustrezna zveza med tlačno trdnostjo betona S in hitrostjo prehoda ultrazvoka v je torej še posebej pri zgodnji starosti betona, ko se tako hitrost v kot trdnost S najbolj intenzivno povečujeta, najtežje določljiva.

V okviru eksperimentalnega dela, ki je potekal na Inštitutu za gradbene materiale IGMAT d.d. v Ljubljani, smo analizirali vpliv

različnih dejavnikov na zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvočnega valovanja in tlačno trdnostjo mladega betona do starosti sedem dni. V članku so podrobneje predstavljeni rezultati eksperimentalnega dela, na podlagi katerih je prikazana možnost uporabe nevronske mreže za določitev tlačne trdnosti betona iz znane hitrosti v in strukture betonske mešanice.

2 • EKSPERIMENTALNO DELO

V okviru eksperimentalnega dela smo pripravili dva sklopa preiskav.

2.1 Vpliv agregata na zvezo hitrost ultrazvoka – trdnost

V prvem sklopu preiskav smo analizirali vpliv količine agregata, oblike agregatnih zrn in velikosti maksimalnega zrna agregata na zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvočnih valov v in tlačno trdnostjo betona S . Preglednica 1 prikazuje sestavo referenčne betonske mešanice, pri kateri je količina agregata v betonu znašala 1804 kg/m³, velikost maksimalnega zrna agregata pa 16 mm.

cement	vrsta	CEM II/A-S, 42,5 R
	količina (kg/m ³)	370
agregat	oblika	drobljenec
	separacija	Laže
	količina (kg/m ³)	1804
	mivka (%)	7
	0/4 mm (%)	44
	4/8 mm (%)	20
	8/16 mm (%)	29
16/32 mm (%)	-	
voda	količina (kg/m ³)	204
dodatki	-	

Preglednica 1 • Sestava osnovne mešanice – OSN

Za ugotavljanje vpliva agregata smo poleg osnovne mešanice pripravili še šest mešanic, katerih struktura je bila podobna strukturi osnovne mešanice, razlikovala se je le pri faktorju, katerega vpliv smo želeli določiti. Preglednica 2 prikazuje razlike v strukturi betona glede na osnovno mešanico. Podatki v preglednici 2 se nanašajo na agregat v betonu.

mešanica	KA2	KA3	MA2	MA3	MA4	OA2
količina (kg/m ³)	2131	1500	-	-	-	-
maksimalno zrno (mm)	-	-	32	8	4	-
oblika	-	-	-	-	-	prodnata

Preglednica 2 • Razlike v strukturi glede na osnovno mešanico – vpliv agregata

Mešanici KA2 in KA3 sta bili namenjeni analizi vpliva količine agregata, mešanice MA2, MA3, in MA4 analizi vpliva velikosti maksimalnega zrna agregata, mešanica OA2 pa analizi vpliva oblike agregata na razmerje med hitrostjo prehoda ultrazvočnega valovanja skozi beton in tlačno trdnostjo betona. Začetna temperatura mešanic iz prvega sklopa preiskav je znašala 22 °C, temperatura okolice pa 20 ± 2 °C. Vodo-cementno razmerje je bilo enako pri vseh mešanicah in je znašalo 0,55.

2.2 Vpliv začetne temperature betona, temperature okolice in vodo-cementnega razmerja na zvezo hitrost ultrazvoka – trdnost

V okviru drugega sklopa smo analizirali vpliv začetne temperature betona, vpliv temperature okolice in vpliv vodo-cementnega razmerja na zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačno trdnostjo betona. Poleg osnovne mešanice smo pripravili še 5 mešanic, ki so se od osnovne mešanice razlikovale po začetni temperaturi betona, temperaturi okolice v času strjevanja betona ter vodo-cementnem razmerju. Preglednica 3 prikazuje razlike glede na osnovno mešanico.

mešanica	T2	T3	T4	T5	T6
začetna temperatura (°C)	8	8	8	12	8
temperatura okolice (°C)	-1	-1	-1	10	10
v-c razmerje	0,55	0,45	0,5	0,55	0,45

Preglednica 3 • Razlike v betonu glede na osnovno mešanico – vpliv začetne temperature, temperature okolice in vodo-cementnega razmerja

3 • REZULTATI PREISKAV

3.1 Vsi rezultati

Slika 2 prikazuje zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvočnega valovanja v in tlačnimi trdnostmi betona S za vse preskušance skupaj. Vidimo, da so v primeru neupoštevanja vpliva obravnavanih faktorjev na zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačno trdnostjo betona rezultati precej razpršeni, koeficient korelacije med dejanskimi in modeliranimi vrednostmi trdnosti pa znaša $R^2 = 0,63$. Koeficient povprečnih kvadratov odstopanj od modela s^2 , izračunan po enačbi

$$s^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \quad (10)$$

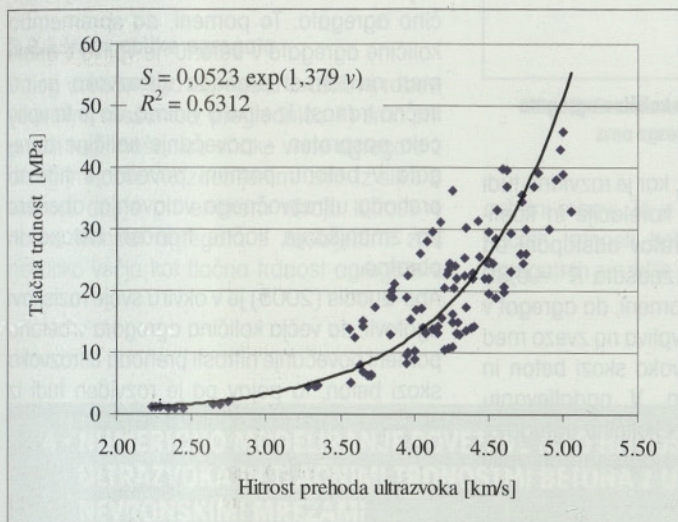
znaša $s^2 = 47,73 \text{ MPa}^2$. V enačbi (10) pomeni ε_i razlika med i -to tlačno trdnostjo, določeno z eksperimentom, in pripadajočo trdnostjo, izračunano na osnovi matematičnega modela, n pa število vseh podatkov. V nadaljevanju ta odnos analiziramo z upoštevanjem obravnavanih dejavnikov.

3.2 Vpliv začetne temperature, temperature okolice in v-c razmerja

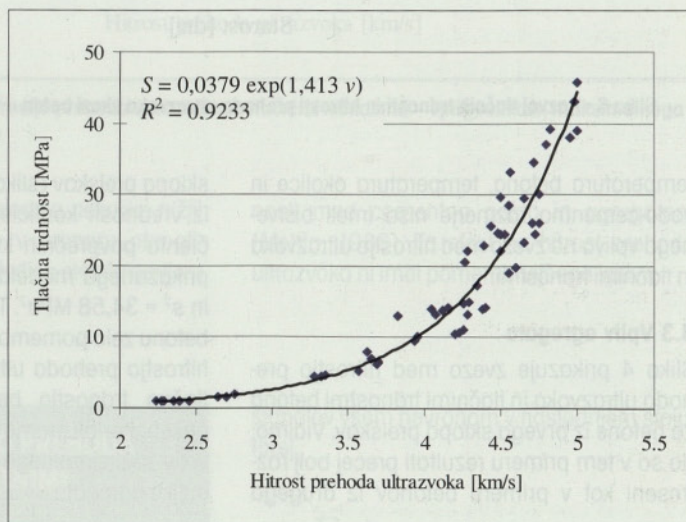
Slika 3 prikazuje zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona za betone iz drugega sklopa preiskav in osnovno mešanico. Vidimo, da z eksponentno zvezo

$$S = 0,0379 \exp(1,4131 v) \quad (11)$$

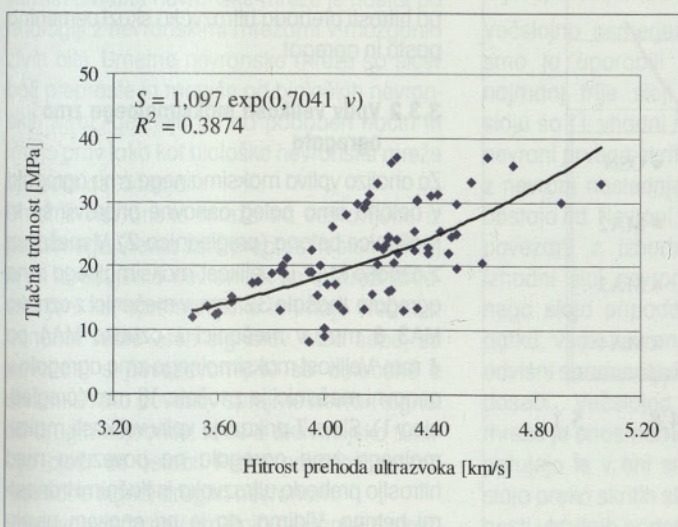
zelo dobro opišemo vse rezultate, visok pa je tudi koeficient korelacije, ki znaša $R^2 = 0,92$. Koeficient povprečnih kvadratov odstopanj znaša $s^2 = 11,72 \text{ MPa}^2$. Visok koeficient korelacije in relativno majhen koeficient povprečnih kvadratov odstopanj pomenita, da začetna



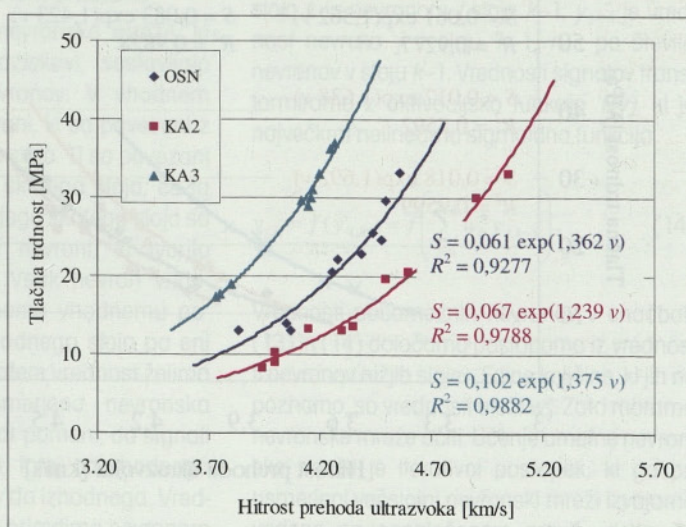
Slika 2 • Zveza med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi – vsi preskušanci



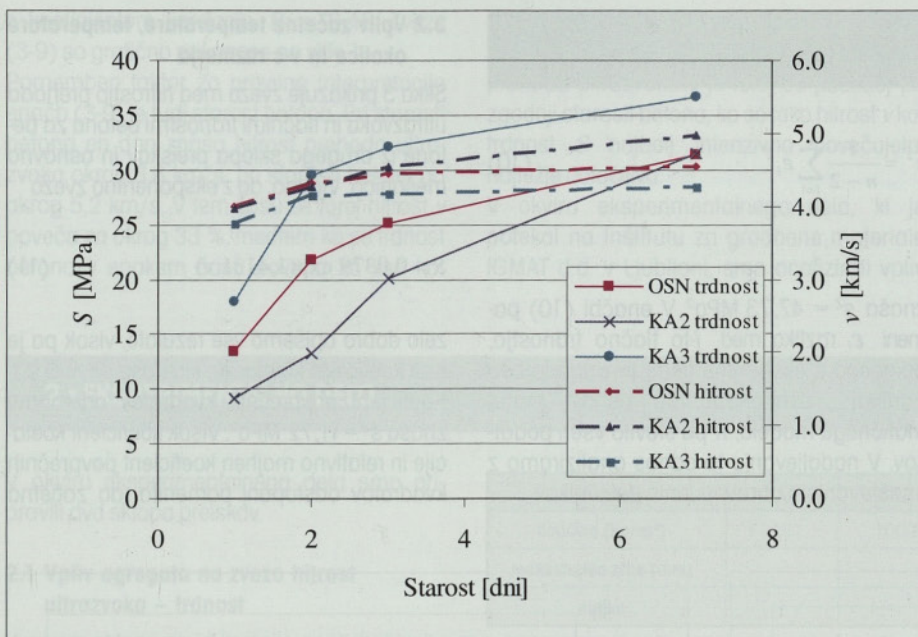
Slika 3 • Zveza med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi – vpliv začetne temperature, temperature okolice in v-c razmerja



Slika 4 • Zveza med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi – vpliv agregata



Slika 5 • Zveza med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi – vpliv količine agregata



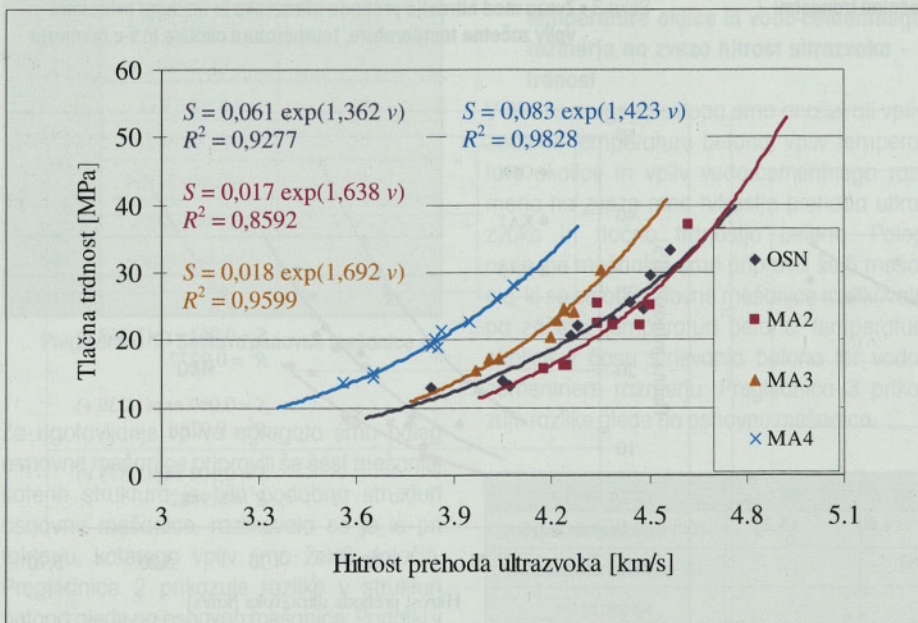
Slika 6 • Razvoj tlačnih trdnosti in hitrosti prehoda ultrazvoka skozi beton – vpliv količine agregata

temperatura betona, temperatura okolice in vodo-cementno razmerje niso imeli bistvenega vpliva na zvezo med hitrostjo ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi.

3.3 Vpliv agregata

Slika 4 prikazuje zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona za betone iz prvega sklopa preiskav. Vidimo, da so v tem primeru rezultati precej bolj raztreseni kot v primeru betonov iz drugega

sklopa preiskav (slika 3), kar je razvidno tudi iz vrednosti koeficienta korelacije in koeficienta povprečnih kvadratov odstopanj od prikazanega modela, ki znašata $R^2 = 0,39$ in $s^2 = 34,58 \text{ MPa}^2$. To pomeni, da agregat v betonu zelo pomembno vpliva na zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvoka skozi beton in tlačno trdnostjo betona. V nadaljevanju posebej analiziramo vpliv količine agregata, vpliv maksimalnega zrna agregata in vpliv oblike agregata.



Slika 7 • Zveza med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi – vpliv velikosti maksimalnega zrna agregata

3.3.1 Vpliv količine agregata

Za analizo vpliva količine agregata v betonu smo poleg osnovne pripravili še dve mešanici (preglednica 2). V osnovni mešanici je količina agregata v betonu znašala 1804 kg/m^3 , kar pomeni volumenski delež agregata v betonu 66,6 %, v mešanici z oznako KA2 2131 kg/m^3 (78,7 %), v mešanici KA3 pa 1500 kg/m^3 (55,4 %). Slika 5 prikazuje vpliv količine agregata v betonu na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona.

Vidimo, da ima količina agregata pomemben vpliv na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona. Pri enakem nivoju hitrosti v je tlačna trdnost betona S z manjšo količino agregata precej višja kot tlačna trdnost betona z večjo količino agregata. To pomeni, da sprememba količine agregata v betonu ne vpliva v enaki meri na hitrost prehoda ultrazvoka in na tlačno trdnost. Iz slike 6 vidimo, da je ta vpliv celo nasproten – povečanje količine agregata v betonu pomeni povečanje hitrosti prehoda ultrazvočnega valovanja, obenem pa zmanjšanje tlačne trdnosti betona in obratno.

Abo-Quadis (2005) je v okviru svoje raziskavi ugotovil, da večja količina agregata v betonu pomeni povečanje hitrosti prehoda ultrazvoka skozi beton, ta pojav pa je razviden tudi iz enačbe (12), ki jo je uporabil Ye (2003)

$$\frac{1}{v} = \frac{V_{cem}}{v_{cem}} + \frac{V_{ag}}{v_{ag}}, \quad (12)$$

kjer sta V_{cem} in V_{ag} volumenska deleža cementne paste in agregata v betonu, v_{cem} in v_{ag} pa hitrosti prehoda ultrazvoka skozi cementno pasto in agregat.

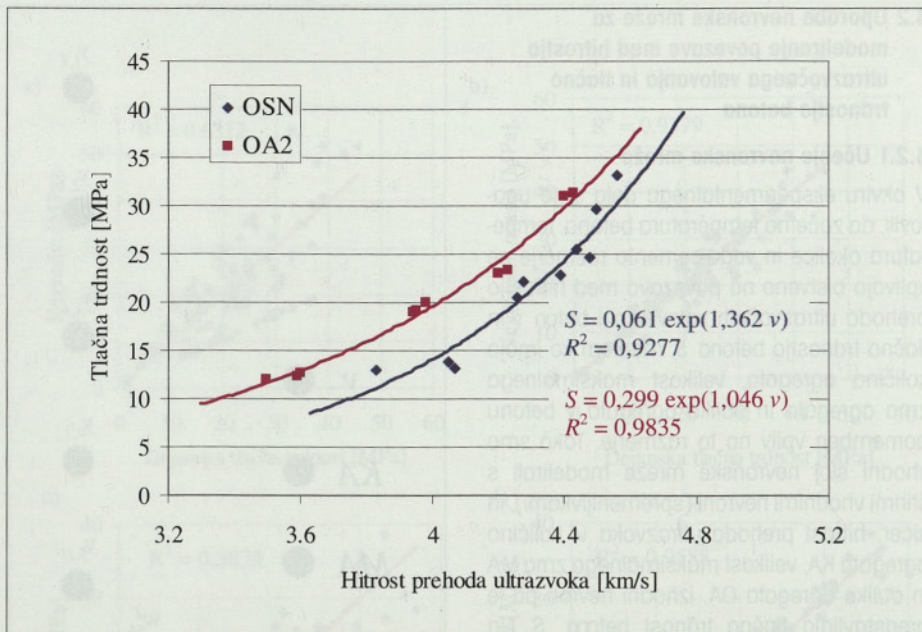
3.3.2 Vpliv velikosti maksimalnega zrna agregata

Za analizo vpliva maksimalnega zrna agregata v betonu smo poleg osnovne pripravili še tri mešanice betona (preglednica 2). V mešanici z oznako MA2 je velikost maksimalnega zrna agregata znašala 32 mm, v mešanici z oznako MA3 8 mm, v mešanici z oznako MA4 pa 4 mm. Velikost maksimalnega zrna agregata v osnovni mešanici je znašala 16 mm (preglednica 1). Slika 7 prikazuje vpliv velikosti maksimalnega zrna agregata na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona. Vidimo, da je pri enakem nivoju hitrosti v tlačna trdnost betona z najmanjšim maksimalnim zrnem agregata najvišja, med-

tem ko je pri betonu z največjim maksimalnim zrnem agregata najnižja. Rezultati so pričakovani, saj je v primeru večjega zrna agregata stična površina med cementno pasto in agregatom šibkejša kot v primeru manjšega zrna agregata. To je posledica velikosti vodocementnega razmerja v stični coni, ki je v primeru večjega zrna agregata višje (Koenders, 1997). Beton z večjimi zrni agregata potrebuje namreč za hidracijo manjšo količino vode kot beton z manjšimi agregatnimi zrni (Mehta, 1986), kar pomeni, da se pri enakem vodocementnem razmerju pri betonu z večjimi zrni agregata več vode nakopiči v stičnem območju cementne paste in agregata. To pa na koncu povzroči nastanek večjega števila kapilarnih por in mikro razpok v tem območju (Scrivener, 2004).

3.3.3 Vpliv oblike agregata

Poleg drobljenega agregata z ostrimi robovi (osnovna mešanica, preglednica 1) smo pripravili tudi mešanico enake vrste agregata z okroglimi oziroma zaobljenimi zrni. Iz slike 8 vidimo, da je pri enakem nivoju hitrosti v tlačna trdnost agregata z zaobljenimi zrni nekoliko večja kot tlačna trdnost agregata z



Slika 8 • Zveza med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi - vpliv velikosti maksimalnega zrna agregata

ostrimi robovi. To je posledica nekoliko nižjih tlačnih trdnosti betona v primeru okroglih agregatnih zrn, ki je posledica slabše sprijem-

nosti med cementno pasto in agregatom (Mehta, 1986). Ta efekt na hitrost prehoda ultrazvoka ni imel pomembnejšega vpliva.

4 • NUMERIČNO MODELIRANJE POVEZAVE MED HITROSTJO PREHODA ULTRAZVOKA IN TLAČNIMI TRDNOSTMI BETONA Z UMETNIMI NEVRONSKIMI MREŽAMI

4.1 Splošno o umetnih nevronskih mrežah

Termin umetne nevronske mreže je nastal po analogiji z nevronskimi mrežami v možganih živih bitij. Umetne nevronske mreže so sicer bolj preproste in manjše od bioloških nevronskih mrež, delujejo pa na podoben način in imajo prav tako kot biološke nevronske mreže sposobnost učenja.

Umetne nevronske mreže so sestavljene iz poljubnega števila zelo preprostih elementov, ki jih imenujemo nevroni. Ti so v mreži predstavljeni kot spremenljivke in imajo vrednost trenutne vsote vseh signalov. Med seboj so povezani s povezavami, ki so določene z utežmi. Preko povezav sprejme nevron signal od drugih nevronov, ki se z aktivacijsko funkcijo ojači ali oslabi. Preko povezav nevron tudi odda signal drugim nevronom.

Poznamo več tipov umetnih nevronskih mrež, npr. Hopfield-Hammingovo, Camperterjevo in Grossbergovo, Kohonenovo, večslojno usmer-

jeno nevronske mreže itd. (Ambrožič, 2003), ki jih uporabljamo za različne probleme.

Večslojno usmerjeno nevronske mreže, ki smo jo uporabili v raziskavi, sestavljajo najmanj trije sloji nevronov. V vhodnem sloju so t.i. vhodni nevroni, ki so povezani z nevroni prvega skritega sloja. Ti so povezani z nevroni naslednjega skritega sloja, če ta obstaja itd. Nevroni zanjega skritega sloja so povezani z izhodnimi nevroni, ki tvorijo izhodni sloj nevronov. Vsak nevron vhodnega sloja pripada enemu vhodnemu podatku, vsak nevron izhodnega sloja pa eni odvisni spremenljivki, katere vrednost želimo doseči. Večslojna usmerjena nevronska mreža je enosmerna, kar pomeni, da signali potujejo le v eni smeri, torej od vhodnega sloja preko skritih slojev do izhodnega. Vrednosti vhodnih podatkov priredimo nevronom vhodnega sloja, te pomnožimo s pripadajočimi utežmi in jih prištejemo v vrednosti

signalov vsem nevronom v naslednjem sloju, torej

$$y'_{i,k} = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} w_{ij}^k y_{j,k-1} \quad (13)$$

kjer je w_{ij}^k utež povezave med nevronom i sloja k in nevronom j sloja $k-1$, $y_{j,k-1}$ je vrednost nevrona j v sloju $k-1$, n_{k-1} pa število nevronov v sloju $k-1$. Vrednosti signalov transformiramo z aktivacijsko funkcijo $f(y)$, ki je največkrat nelinearna sigmoidna funkcija

$$y_{i,k} = f(y'_{i,k}) = f\left(\sum_{j=1}^{n_{k-1}} w_{ij}^k y_{j,k-1}\right) \quad (14)$$

Vrednosti posameznih nevronov v enačbah (13) in (14) določamo postopoma iz vrednosti nevronov nižjih slojev. Edine količine, ki jih ne poznamo, so vrednosti uteži w_{ij}^k . Zato moramo nevronske mreže učiti. Učenje umetne nevronske mreže je iterativni postopek, ki ga pri usmerjeni večslojni nevronske mreži izvajamo vodeno po posplošenem pravilu delta. Ta način učenja so leta 1986 prvi opisali Rumelhart, Hinton in Williams (1986).

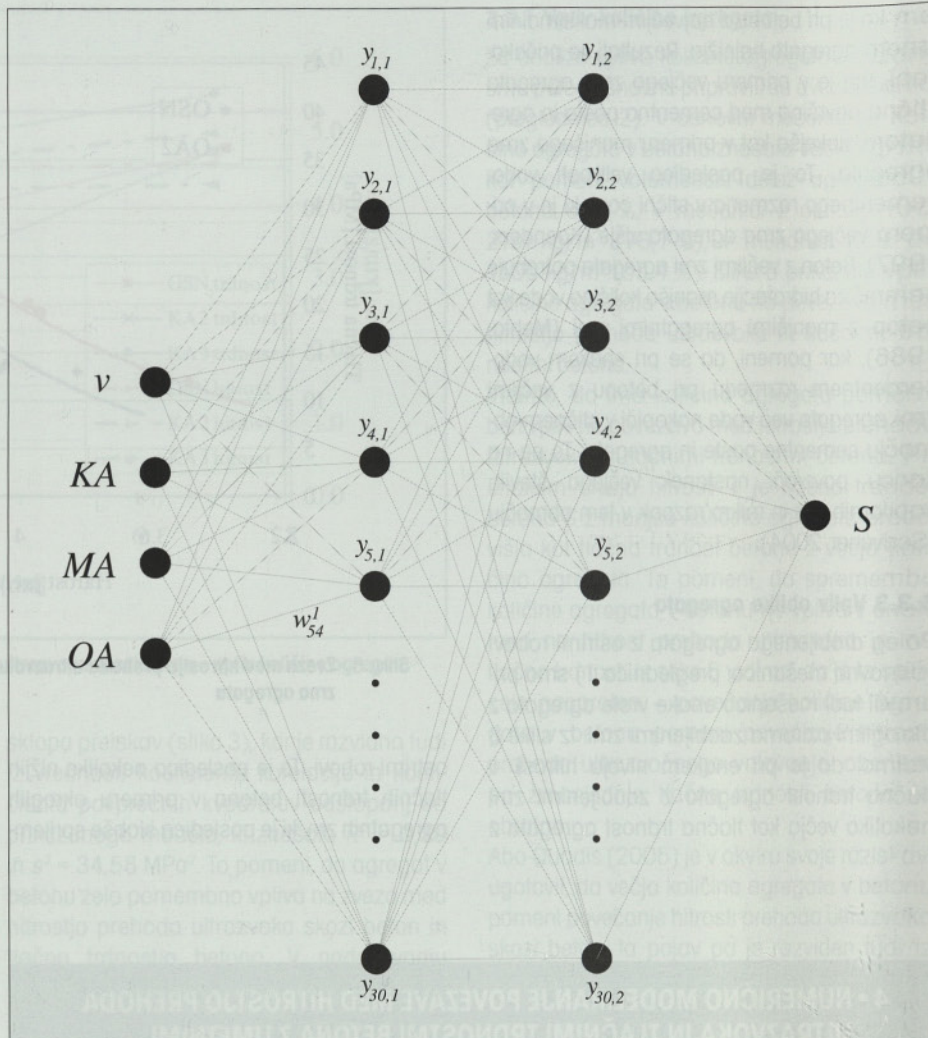
4.2 Uporaba nevronske mreže za modeliranje povezave med hitrostjo ultrazvočnega valovanja in tlačno trdnostjo betona

4.2.1 Učenje nevronske mreže

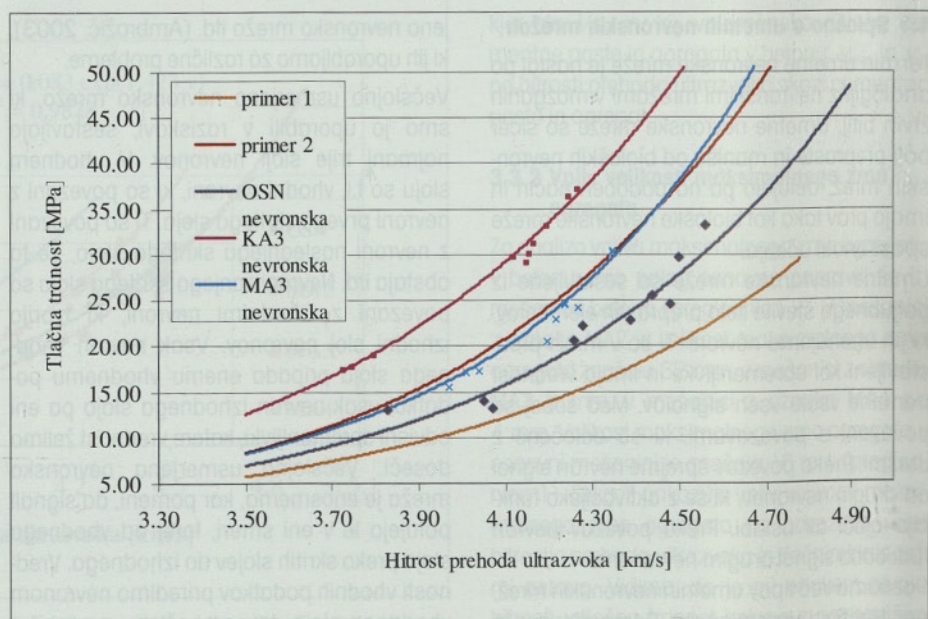
V okviru eksperimentalnega dela smo ugotovili, da začetna temperatura betona, temperatura okolice in vodo-cemento razmerje ne vplivajo bistveno na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvočnih valov skozi beton v in tlačno trdnostjo betona S , medtem ko imajo količina agregata, velikost maksimalnega zrna agregata in oblika agregata v betonu pomemben vpliv na to razmerje. Tako smo vhodni sloj nevronske mreže modelirali s štirimi vhodnimi nevroni (spremenljivkami), in sicer: hitrost prehoda ultrazvoka v , količina agregata KA , velikost maksimalnega zrna MA in oblika agregata OA , izhodni nevron pa je predstavljala tlačna trdnost betona S . Na podlagi testiranja različnih struktur nevronske mreže smo se odločili za nevronske mreže z dvema skritima slojema s po tridesetimi nevroni v vsakem skritem sloju. Strukturo nevronske mreže 4-30-30-1 prikazuje slika 9. Pri določanju uteži smo približno 80 % podatkov uporabili za učenje nevronske mreže, 20 % pa za testiranje mreže. Koeficient korelacije med dejanskimi testnimi podatki in podatki, dobljeni z nevronske mreže 4-30-30-1, je znašal $R^2 = 0,9996$, kar pomeni, da je bilo učenje nevronske mreže zelo uspešno.

4.2.2 Kontrola uporabnosti modela

Na podlagi dobljenih vrednosti uteži med posameznimi nevroni nevronske mreže je bil v programskem paketu Matlab narejen numerični program, s katerim lahko določimo zvezo med hitrostjo prehoda ultrazvočnega valovanja in tlačno trdnostjo betona poljubne strukture, neodvisno od količine agregata, velikosti maksimalnega zrna agregata in oblike agregata v betonu. Slika 10 prikazuje povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona za dva različna betona poljubne strukture, določeno s prikazanim numeričnim modelom. V prvem primeru smo izbrali beton s količino drobljenega agregata $KA = 2000 \text{ kg/m}^3$ in maksimalnim zrnom $MA = 16 \text{ mm}$, v drugem primeru pa je količina drobljenega agregata znašala $KA = 1650 \text{ kg/m}^3$, maksimalno zrno pa $MA = 22 \text{ mm}$. Prikazani so tudi nekateri eksperimentalno dobljeni rezultati v obliki posameznih točk, ustrezne krivulje pa so prav tako izračunane z numeričnim modelom na osnovi umetnih nevronske mreže.



Slika 9 • Shema umetne nevronske mreže 4-30-30-1

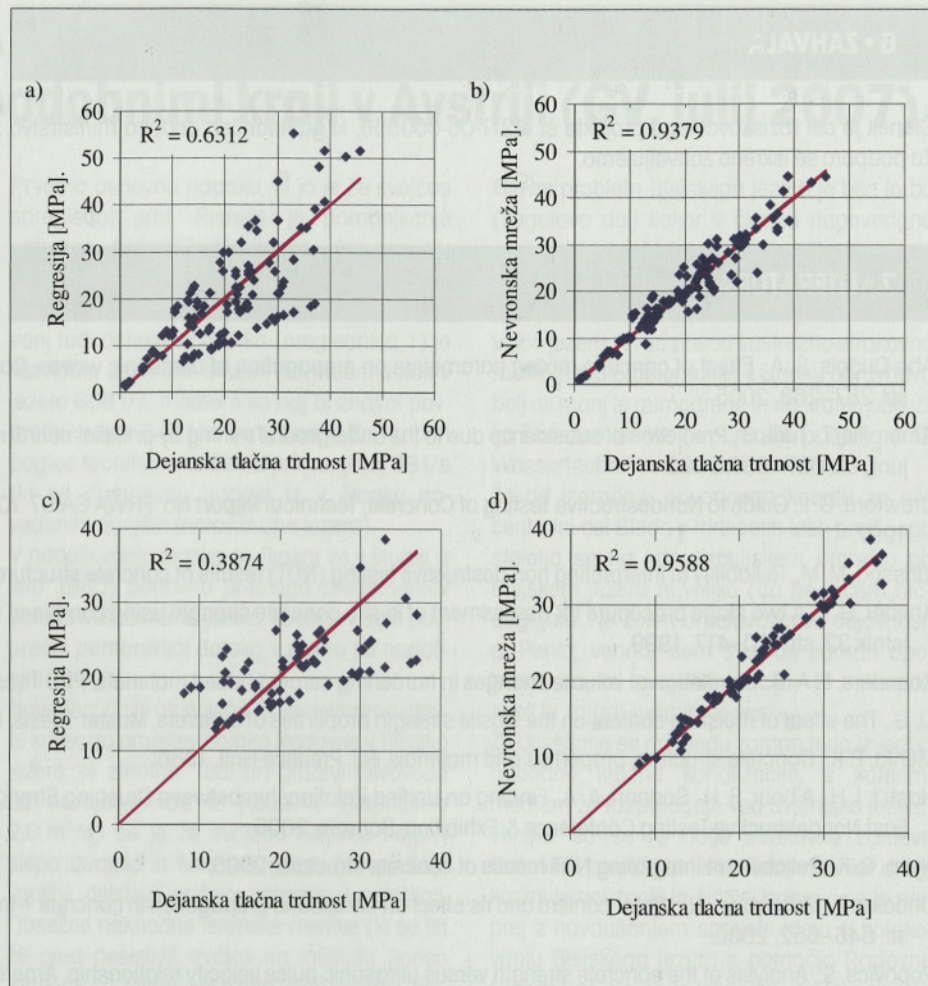


Slika 10 • Ustreznost prikazanega numeričnega modela

Iz slike 10 je lepo razviden vpliv strukture betona na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona, predstavljen v poglavju 3. Vidimo, da je v prvem primeru krivulja, ki povezuje hitrost prehoda ultrazvoka in tlačno trdnost betona najnižje, nižje od krivulje, ki pripada osnovni mešanici in od krivulje, ki pripada mešanici KA3. Rezultat je pričakovan, saj smo v poglavju 3.3.1 pokazali, da se pri enakem nivoju hitrosti prehoda ultrazvoka tlačna trdnost betona manjša z večjo vsebnostjo agregata v betonu.

V drugem primeru pa je krivulja povezave med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona med krivuljama, ki opisujeta osnovno mešanico in mešanico KA3 ter povsem blizu krivulje, ki opisuje mešanico MA3. Tudi tu je rezultat v skladu s spoznanji, prikazanimi v prejšnjih poglavjih, saj je količina agregata v drugem primeru le malenkost manjša od količine agregata v mešanici MA3, maksimalno zrno agregata pa precej večje kot pri mešanici MA3. Ker sta si ta dva vpliva nasprotujoča, vpliv vsebnosti agregata pa pomembnejši od vpliva velikosti maksimalnega zrna agregata, sta si krivulji v skladu s pričakovanji podobni.

Ustreznost numeričnega modela je še bolj razvidna iz slik 11. Slika 11a prikazuje zvezo med dejanskimi tlačnimi trdnostmi in trdnostmi, izračunanimi iz zveze $S = 0,0523 \exp(1.379 v)$ za vse betone skupaj (slika 2). Bližje kot so točke diagonali, boljša je korelacija. Vidimo, da so v tem primeru točke precej razpršene, koeficient korelacije med dejanskimi in izračunanimi tlačnimi trdnostmi pa znaša $R^2 = 0,6312$ in je primerljiv s koeficienti korelacije, dobljenimi na podlagi raziskav drugih avtorjev. S prikazano umetno nevronske mreže so rezultati precej boljši (slika 11b), kar kaže tudi precej višji koeficient korelacije v tem primeru. Razpršenost nekaterih rezultatov



Slika 11 • Primerjave ustreznosti različnih modelov

je v glavnem posledica neupoštevanja vpliva začetne temperature, temperature okolice in vodo-cementnega razmerja v modelu, kar je razvidno iz slik 11c in 11d, ki prikazujeta odnos med dejanskimi tlačnimi trdnostmi in tlačnimi trdnostmi, dobljenimi na osnovi zveze

$S = 1.0969 \exp(0.7041 v)$ (slika 4) in prikazanega numeričnega modela za betone iz drugega sklopa preiskav. Vidimo, da je v tem primeru razlika v koeficientu korelacije med dejanskimi in izračunanimi tlačnimi trdnostmi še precej večja.

5 • SKLEP

V članku je prikazan vpliv sestave betonske mešanice na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka skozi beton in tlačno trdnostjo betona. Eksperimentalni rezultati so pokazali, da je glavni dejavnik, ki vpliva na to povezavo, agregat v betonu, medtem ko začetna temperatura, temperatura okolice in velikost vodo-cementnega razmerja

nimajo pomembnega vpliva. Za kakovostno in zanesljivo oceno tlačne trdnosti na podlagi nedestruktivne metode hitrosti prehoda ultrazvoka skozi beton je torej zelo pomembno poznati strukturo betona, predvsem količino agregata, velikost maksimalnega zrna agregata in obliko agregata v betonu.

Z izpeljanim matematičnim modelom na podlagi umetnih nevronske mreže lahko z veliko mero zanesljivosti ocenimo tlačno trdnost betona poljubne sestave iz izmerjene hitrosti prehoda ultrazvoka skozi beton.

V prihodnosti bo v modelu potrebno upoštevati tudi poroznost in vlažnost betona, ki po vsej verjetnosti prav tako vplivata na povezavo med hitrostjo prehoda ultrazvoka in tlačnimi trdnostmi betona.

6 • ZAHVALA

Članek je del raziskovalnega projekta št. 3211-05-000556, ki ga finančno podpira ministrstvo za znanost, šolstvo in šport Republike Slovenije. Za podporo se iskreno zahvaljujemo.

7 • LITERATURA

- Abo-Qudais, S. A., Effect of concrete mixing parameters on propagation of ultrasonic waves, *Construction and Building Materials*, letnik 19, maj, str. 257–263, 2005.
- Ambrožič, T., Turk, G., Prediction of subsidence due to the underground mining by artificial neural networks, *Computers and Geosciences*, letnik 29, junij, str. 627–637, 2003.
- Crawford, G. I., Guide to Nondestructive Testing of Concrete, Technical Report No. FHWA-SA-97-105, U.S. Department of Transportation, september, 1997.
- Idrissou, M. M., Reliability in interpreting non-destructive testing (NDT) results of concrete structures, Master Thesis, Malaysia, 2006.
- Kheder, G. F., A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing, *Materials and Structures*, letnik 32, str. 410–417, 1999.
- Koenders, E. A. B., Simulation of volume changes in hardening cement-based materials, PhD Thesis, Delft, 1997.
- Li, G., The effect of moisture content on the tensile strength properties of concrete, Master Thesis, Florida, 2004.
- Mehta, P. K., *Concrete structure, properties and materials*. NJ: Prentice-Hall, 1986.
- Nash't, I. H., A'bour, S. H., Sadoon, A. A., Finding an Unified Relationship between Crushing Strength of Concrete and Non-destructive Tests, Middle East Nondestructive Testing Conference & Exhibition, Bahrain, 2005.
- Nyim, C. K., Reliability in integrating NDT results of concrete structure, 2005.
- Ohdaira, E., Masuzawa, N., Water content and its effect on ultrasound propagation in concrete – the possibility of NDE, *Ultrasonics*, letnik 38, marec, str. 546–552, 2000.
- Popovics, S., Analysis of the concrete strength versus ultrasonic pulse velocity relationship, American Society for Nondestructive Testing, 2007.
- Qasrawi, H. Y., Concrete strength by combined nondestructive methods – simply and reliably predicted, *Cement and Concrete Research*, letnik 30, maj, str. 739–746, 2000.
- del Rio, L. M., Jimenez, A., Lopez, F., Rosa, F. J., Rufo, M. M., Paniagua, J. M., Characterization and hardening of concrete with ultrasonic testing, *Ultrasonics*, letnik 42, april, str. 527–530, 2004.
- Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., *Parallel Distributed Processing, Volume 1: Foundations*. Cambridge, MA: The MIT Press, str. 318–362, 1986.
- Scrivener, K. L., Crumbie, A. K., Laugesen, P., The Interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete, *Interface Science*, letnik 12, str. 411–421, 2004.
- Tharmaratnam, K., Tan, B. S., Attenuation of ultrasonic pulse in cement mortar, *Cement and Concrete Research*, letnik 20, maj, str. 335–345, 1990.
- Turgut, P., Evaluation of the Ultrasonic Pulse Velocity Data Coming on the Field, 4th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurised Components, London, 2004.
- Ye, G., Experimental study and numerical simulation of the development of microstructure and permeability of cemenetitious materials, PhD Theses, Delft, 2003.

Pripombe k članku A. Urevca: Upravljanje z jezerom – primerjava Bleda s podobnimi kraji v Avstriji (GV, julij 2007)

Naslov članka obeta primerjavo Bleda s podobnimi kraji v Avstriji. Avtor članka je univ. dipl. inž. gradbeništva, zato sem zmotno pričakoval nekoliko poglobljeno primerjavo na področju infrastrukturne ureditve.

Trditev avtorja članka, **da so glavni problemi v zvezi z Blejskim jezerom organizacijske in ne tehnične narave**, me je ponovno prisilila k pisanju. Mimogrede: zelo zanimiva sta avtorjev izbor ter vrstni red strokovnih dejavnosti za upravljanje potrebnih strokovnjakov (biologi, tehniki, ekonomisti ter pravniki). Upam, da se v podvrsti med tehniki skriva tudi vsaj kak gradbenik z osnovnim znanjem iz področij hidravlike ter kanalizacije. Kakor je videti, bo tudi v bodoče za upravljanje Blejskega jezera bolj pomembna kvantiteta kakor kvaliteta!

Daljnega leta 1980 sem prof. Rismala v odprtem pismu (ki ga tedaj v Gradbenem vestniku niso objavili) opozoril na pomanjkljivosti njegove v Gradbenem vestniku objavljene študije natege za sanacijo Blejskega jezera in navedel strokovne razloge, zakaj je Blejsko jezero še nadalje cvetelo. Tedanja politika je takoj in brez pomislekov pohitela s tehnično zlorabo te študije. Brez ustrezne projektne dokumentacije ter brez razmišljanja o možnih škodljivih posledicah in vplivih na okolje se je na hitro ter nestrokovno vgradila natega, saj naj bi taka rešitev po mnenju upravno-političnih organov znatno hitreje, enostavnejše ter cenejše nadomestila ureditev krožne kanalizacije s čistilno napravo. Kot primer nestrokovne izvedbe naj navedem le naknadno potrebno podvodno »obročkanje« (zaradi vodnega udara sploščene cevi) natege, ki se je morala z nameščanjem (v kraju Mlino še sedaj dobro vidnih) kovinskih objemk zopet prisiliti v normalni krožni presek cevi. S »prijeteljskim strokovnim prepričevanjem« (na Zvezi vodnih skupnosti RS) ter z osebnimi demagoškimi napadi g. Pirkoviča (v Delu v rubriki Pisma bralcev) se je skušala utišati oziroma oblatiti moja strokovna kritika in prikriti črna gradnja blejske natege.

Ne nameravam ponavljati vseh mojih tedanjih strokovnih pripomb (katerih napovedi so se na žalost dosledno uresničevale), temveč se bom zaradi dolžine članka omejil le na naslednja bistvena problema:

- **manjkajoča hidravlična bilanca vod ter**
- **skrajno neurejeno in pomanjkljivo kanalizacijsko omrežje.**

Prvotna osnovna napaka, ki jo je že svojčas spregledal prof. Rismal, je pomanjkanje ustrezne hidravlične bilance dotokov ter odtokov Blejskega jezera. Iz jezera lahko skupno odteče maksimalno le količina, ki vanj tudi doteka. Iz članka (preglednica 1) je razvidno, da znaša skupni povprečni dotok v jezero 608 l/s, medtem ko naj bi znašal povprečni odtok 647 l/s. Torej znaša že na prvi pogled teoretični količinski primanjkljaj 39 l/s (ki se domnevno napaja iz v članku navedenih manjših izvirov iz dna jezera).

V nadaljevanju članka se (kakor že v študiji iz leta 1980) ponovno predlaga preusmeritev potoka Mišca mimo jezera, kar bo zvišalo povprečni primanjkljaj dotoka v jezero za nadaljnjih 161 l/s.

Navedba, da je obstoječa hidroelektrarna glavni krivec za omejitve dotoka Radovne v Blejsko jezero, je zmotna. Tudi pri gradnji cevovoda za dovajanje vod iz Radovne (kapacitete 2,0 m³/s) se je že svojčas namreč najprej slepo izvajalo in šele naknadno (na podlagi »gollih« dejstev) pričelo ustrezno razmišljati. Obsežne naknadne terenske meritve (ki so jih že pred desetletji izvajali na Inštitutu Borisa Kidriča) so jasno pokazale, da uvajanje prekomernih količin znatno bolj mrzle vode iz Radovne ruši hidravlično in biološko ravnotežje Blejskega jezera, da hudih posledic za turizem niti ne omenjam. Zgornja dopustna meja količine dotoka (300 l/s) se je določila naknadno na podlagi dejanskih obratovalnih podatkov. Torej je v članku navedena povprečna količina s 394 l/s iz Radovne popolnoma ne-realna in jezeru skrajno škodljiva.

Prof. Rismal v svoji študiji nadalje podaja potrebno minimalno pretočno količino natege s 400 l/s. Obratovanje natege z manjšo pretočno količino naj bi bilo po njegovih navedbah neučinkovito. Navkljub temu se v članku (preglednica 1) odtok skozi natego podaja le z 284 l/s (o čemer glede na nizko hidravlično zmogljivost natege hudo dvomim). Torej se bo po teh podatkih skupni povprečni primanjkljaj vode dvignil na najmanj 316 l/s. (Zaradi na ta način porušenega hidravličnega ravnotežja (preglednica 1) se bi Blejsko jezero zgolj računsko izpraznilo v manj kakor 3 letih!) Vključno s prof. Rismalom mi do danes še nihče ni mogel odgovoriti na vprašanje: **»Od kod naj bi se torej kril ta ogromni količinski primanjkljaj vode?«**

Glavni problem Blejskega jezera je bila in bo (zagotovo dalj kakor v članku napovedana bodoča 3 leta) blejska kanalizacija. Namesto da bi avtor članka jasno označil tega, z ogromnim naskokom vodečega onesnaževalca jezera in mu prisodil ustrezno strokovno mesto, se ta problematika v članku obravnava bolj ali manj le mimogrede in na kratko obljublja čudežne rešitve (s pomočjo podjetja WTE Wassertechnik) v bodočih treh letih.

Že od izgradnje odvodnega kanala za ožji centralni del Bleda v tridesetih letih prejšnjega stoletja se na kanalizacijskem omrežju ob Blejskem jezeru ni veliko (da ne rečem nič) dogajalo. Ne želim omalovaževati dejavnosti g. Perka, vendar sem svojčas zaman opozarjal, da se izvaja »sanacija« M – kanala zgolj le zaradi »pomiritve vesti«.

Že desetletja se na Bledu zaman terja izvedba podobne krožne kanalizacije, s katerimi medtem že razpolagajo vsa avstrijska jezera, vendar so se te naše strokovne zahteve uspešno preslišale. Kot nadomestilo dragi krožni kanalizaciji in čistilni napravi se je najprej z navdušenjem sprejela ideja o splakovanju Blejskega jezera s pomočjo Radovne (2,0 m³/s). Ko se je izkazalo, da ta pomanjkljivo načrtovani ter izdelani projekt ne more delovati v zeleni obliki, so se zopet z navdušenjem (in deloma tudi že z naraščajočim dvomom) oprijeli dodatne ideje z natego. »Strokovno nerganje« se kakor navadno ni poslušalo, kaj šele upoštevalo. Na to natego so se istočasno na tiho (Nemci to imenujejo akcija v megleni noči) priključile tudi odpadne vode iz Zake in Blejskega otoka.

Ker pa tudi ta sistem ne daje zelenih rezultatov, se iščejo nadaljnji krivci. Glavni krivci naj bi bili torej kopalci (z uriniranjem v nekaj toplih sončnih poletnih dneh!!!), kmetijstvo ter končno potok Mišca, ki zaradi »prekomernega transporta hraniv« (beri: odvoda odplak iz naselij Zg. Gorje, Zabošt, Poljščica, Rečica, veslaškega centra, ribogojnice) uničujejo blejsko idilo. Res je, da tudi ti prispevajo k onesnažitvi jezera, vendar ne v takem obsegu, kot se jim to hoče za vsako ceno pripisati.

Nasprotno pa se v članku ne omenjajo znatno bolj odločilne hude posledice in emisije velikih količin anaerobnega blata, ki pokrivajo dno Blejskega jezera, izredno visoko nihanje obiskovalcev med turistično sezono ter prazniki itd., vendar o tem kdaj drugič.

Avtor članka upravičeno napoveduje obratovne težave na novo zgrajeni blejski čistilni napravi, saj brez ustrezno strokovno izvedenega kanalizacijskega omrežja nobena čistilna naprava ne more obratovati tehnološko ter ekonomsko zadovoljujoče. Medtem so se tudi pri nas že uveljavile nove tehnologije zbiranja ter odvajanja odpadnih vod (npr.: vakuumski način), zato bo torej zadnji čas, da se tudi na Bledu končno z glavo in strokovnim znanjem lotijo reševanja strokovnih problemov!

V članku predlagano zvečanje administracije ter birokracije je napačna pot. V dobi uvajanja računalnikov so nam svojčas sicer vizionarsko objubljali zmanjšanje števila zaposlenih in olaj-

šanje dela, saj naj nam bi v bodoče računalnik odvzel vse ročno delo. Vendar desetletja kasneje ugotavljam, da nas je računalnik popolnoma zaslužnjil ter vsilil svoj način mišljenja, svoj način dela in zdresiral v suženjsko izpolnjevanje njegovih potreb. Namesto zmanjšanja in olajšanja dela nam generira in nalaga dodatno delo v vse večjem obsegu, proizvaja naraščujočo množico podatkov, katere praviloma nihče (razen za polnjenje spomina v računalniku) ne potrebuje, kaj šele uporabi! Sprašujem se, kako smo lahko v prejšnjih desetletjih uspešno strokovno delali ter preživeli brez vse te vedno hitreje naraščajoče množice statistik, prikazov, formularjev, navodil, predpisov, uredb, podatkovnih baz, evidenc itd. itd. itd.

Preglednost ter strokovno znanje se utapljata v grozovito hitro naraščajoči poplavi vedno manj preverjene psevdostrokovne navlake. Medtem ko se je svojčas odločalo po vsebinskih vidikih, se dandanes odloča izključno le še po formalni plati. Za naprave, ki niso delovale, je svojčas vsaj nekdo odgovarjal, dandanes pa navkljub vse obsežnejši administraciji in birokraciji (ali ravno zaradi tega?) nihče več ne odgovarja. Odločanje v eksistenčnih življenjskih odločitvah prepuščamo vse bolj računalnikom z ničelno stopnjo inteligence (IQ = 0) in se istočasno hvalimo z osebno visoko stopnjo inteligence!!! Kdo je torej bedak?

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.

ODGOVOR AVTORJA

G. Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom., je kritično odgovoril na moj članek Upravljanje z jezerom – primerjava Bleda s podobnimi kraji v Avstriji, objavljen v Gradbenem vestniku julija 2007. Uvodoma naj poudarim, da me replika oz. kritika g. Maleinerja seveda veseli, saj kaže na to, da je vsaj nekdo temeljito prečital moj prispevek in se nad njim resno zamislil, obenem pa zmožeg toliko energije (in korajže), da se je nanj tudi pisno odzval. V svojem prispevku sem se osredotočil na primerjavo UPRAVLJANJA z jezeri na avst-

rijskem Koroškem in pri nas na Gorenjskem, v vsej širini pojma, ki ga upravljanje prinaša s sabo. Sicer bi bilo bolj pravilno govoriti o gospodarjenju (gospodari oz. upravlja lastnik) kot pa o (golem) upravljanju (upravlja od gospodarja delegiran organ, ki ni lastnik), a tako so v naši zakonodaji in praksi pač definirani in uporabljani tovrstni pojmi.

G. Maleiner pa se je omejil na strogo tehnični oz. gradbeni vidik problema, in še to na zadeve, ki so se dogajale pred več kot 20 oz. 30 leti. Teh dogodkov sam žal ne poznam

dovolj dobro, da bi jih lahko komentiral, zato jih v članku tudi nisem obširneje razlagal. Zaradi navedenega menim, da kritika g. Maleinerja leti drugam, ne pa na moj članek. G. Maleiner odpira polemiko, kot tudi sam priznava, izpred 20–30 let, ki jo je bojeval s takratnimi stebri oblasti in znanosti. Če želi g. Maleiner o teh zadevah ponovno diskutirati oz. polemizirati, naj to prosim stori mimo mojega članka. Bom pa vesel vsake konkretne pripombe, ki se nanaša na moj članek in se bom potrudil, da bom nanjo tudi odgovoril.

Anže Urevc



DRUŠTVO GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV MARIBOR

SODNA UL. 24, 2000 MARIBOR, www.drustvo-dgitmb.si, info@drustvo-dgitmb.si

v sodelovanju z

Univerzo v Mariboru
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO
 Laboratorij za raziskavo materialov in konstrukcij

organizira

v torek, 16. oktobra 2007 ob 9.00 uri

STROKOVNO IZOBRAŽEVALNO in INFORMATIVNO PREDAVANJE NA TEMO

Tesnjenje ravnih streh z trakovi iz umetne mase /termoplastični elastomeri/

v dvorani Frana Miklošiča, na rektoratu Univerze v Mariboru, Slomškov trg 15, Maribor

Posvet je namenjen strokovnim delavcem; kot so: projektanti, izvajalci, investitorji; kakor tudi ostalim zainteresiranim v javnosti.

PROGRAM PREDAVANJA:

- **Uvodno predavanje:**
Zagotavljanje kakovosti streh z hidroizolacijo iz umetne mase
 g. Samo LUBEJ, u.d.i.g., predavatelj na UM FG LMK
- **Predstavitel družbe Hirler VAEPLAN GmbH:**
 g. Manfred HIRLER, HIRLER GmbH, generalni direktor
- **Predstavitel podjetja KLEMAKS d.o.o.:**
 ga. Ingrid KOCBEK, prokuristka
- **Strokovno predavanje VAEPLAN:**
 VAEPLAN tehnika tesnjenja
 VAEPLAN Tip V, zaščitna plast
 VAEPLAN Tip Universal, protipožarna zaščita
 g. Manfred HIRLER, HIRLER GmbH, generalni direktor
- **FrankoPlan – tehnika tesnjenja:**
 Splošno
 g. Manfred HIRLER, HIRLER GmbH, generalni direktor
 Tesnjenje ravnih streh:
 g. Imre Balint, HIRLER GmbH, strokovni sodelavec
- ODMOR
- **VAE Wacker, obrnjena EVA:**
 Dolgoletne izkušnje/ekspertiza
 CE-certificiranje
 g. Manfred HIRLER, HIRLER GmbH, generalni direktor
 ODMOR
- **DUD saniranje streh:**
Kunsthau Graz / Hiša umetnosti Gradec,
 novogradnja
VT valovita streha, saniranje
 g. Karl Heinz EBERHARD, HIRLER GmbH, strokovni sodelavec
- **PUR/PIR – izolacija ravne strehe – alternativni izolacijski materiali:**
 g. Manfred HIRLER, HIRLER GmbH, generalni direktor

Po končanem predavanju bo družabno srečanje in pogostitev.

Predavanja bodo v nemškem jeziku s sprotnim prevajanjem.

Udeležba na predavanju je brezplačna.

Prosimo za informativno predhodno napoved udeležbe pri tajnici Društva gradbenih inženirjev in tehnikov Maribor, na tel. 031 822 793 ali naš e-naslov.

Vljudno vabljeni!

KOLEDAR PRIREDITEV

6.- 10.10.2007

75th IBTTA Annual Meeting and Exposition

Dunaj, Avstrija
www.ibtta.org

11.10.2007

Hans Lorenz Symposium

für Baugrunddynamik und Spezialtiefbau

Berlin, Nemčija
www.grundbau.tu-berlin.de/symposium/

18.- 19.10.2007

29. Zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Hotel Golf, Bled, Slovenija
jlopatic@fgg.uni-lj.si

24.- 27.10.2007

Baufach 2007

Baufachmesse Leipzig

Leipzig, Nemčija
www.leipzig-messe.de/LeMMon/taufach_web_eng.nsf

5.- 6.11.2007

RIMC 07

3. Mednarodni znanstveni in strokovni kongres upravljavcev železniške infrastrukture

Rogaška Slatina, Slovenija
www.fg.uni-mb.si/RIMC2007/vabilo.html

29.- 30.11.2007

Kolokvij o asfaltih in bitumnih

Hotel Kompas, Kranjska gora, Slovenija
www.zdruzenje-zas.si

10.- 13.12.2007

7th International Symposium on

Cable Dynamics

Dunaj, Avstrija
www.aimontefiore.org/cable/

9.- 12.4.2008

GEOCongress 2008

The Challenge of Sustainability in the Geoenvironment Annual Congress of the Geo-Institute of ASCE

New Orleans, Louisiana, ZDA
www.adsc-iafd.com/files/public/GeoCongress2008.pdf

21.- 25.4.2008

TRA 2008

2nd Transport Research Arena (TRA)

Ljubljana, Slovenija
www.traconference.com

18.- 21.5.2008

EM08

The Inaugural International Conference of the Engineering Mechanics Institute

Minneapolis, Minnesota, ZDA
www.cce.umn.edu/conferences/em08

4.- 6.6.2008

IABSE Conference

ICT for Bridges, Buildings and Construction Practice

Helsinki, Finska
www.iabse.org

30.6.- 4.7.2008

10th International Symposium on

Landslides and Engineered Slopes

Xi'an, Kitajska
www.landslide.iwhr.com

8.- 10.7.2008

7th International Congress Concrete:

Construction's Sustainable Option

Dundee, Škotska
www.ctucongress.co.uk

3.- 5.9.2008

EUROSTEEL 2008

Gradec, Avstrija
www.eurosteel2008@tugraz.at

24.- 26.11.2008

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

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

5.- 9.10.2009

17th International Conference for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

Alexandria, Egipt
www.2009icmge-egypt.org

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

PONUDBA ZA OGLAŠEVANJE V GRADBENEM VESTNIKU

Spoštovani bralci!

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

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

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

V cenah ni upoštevan 20 % DDV!

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

Razpoložljivost oglaševalskega prostora:

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

Oglas lahko oddate kot:

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

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

- gradb.zveza@siol.net

Gradivo pričakujemo do 1. dneva v vsakem mesecu!

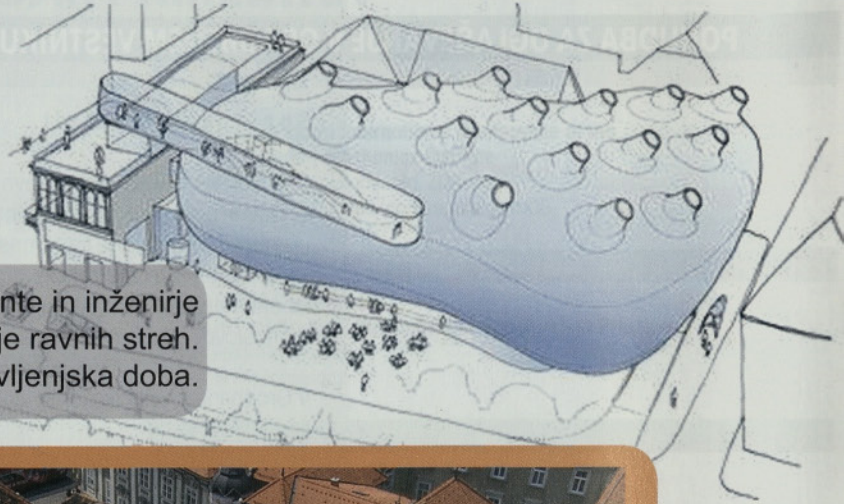
Z Vašim sodelovanjem boste omogočili, da revija še naprej nemoteno in redno izhaja.

ZDGITS – izdajateljica
GRADBENEGA VESTNIKA

VAEPLAN[®] *aktiven*



Petra Auda / Tel.: ++386 2 234 20 27



Za zainteresirane projektante in inženirje
VAEPLAN in FRANKOPLAN za tesnenje ravnih streh.
Strešne tesnilne folije na bazi EVA, dolga življenjska doba.

Hiša umetnosti Graz



Za vse načine polaganja , najboljše kvalitete,
z izobraženim strokovnim podjetjem.

- ✓ Lepljenje z lepilom za umetno maso
- ✓ nepritrjeno položeno pod zelenimi strehami
- ✓ mehansko pritrjeno
- ✓ nepritrjeno položeno z obremenitvijo
- ✓ hladno - samolepljivo

Izobraževalni seminar za tesnenje ravnih streh
z EVA - folijami za umetno maso
(Termoplastični Elastomeri)
Termin: 16. oktober 2007
Univerza v Mariboru



13 12:52

SAIE 07

MEDNARODNA
RAZSTAVA
GRADBENIŠTVA

BOLOGNA: OD 24. DO 28. OKTOBRA

ODPRTA: OD SREDE, 24. OKTOBRA, DO SOBOTE, 27. OKTOBRA, OD 9. DO 18. URE,
V NEDELJO, 28. OKTOBRA, OD 9. DO 17:30 URE

Namenjena strokovnjakom
gradbeništva že več kot 40 let



www.sistemasae.bolognafiere.it

SISTEMA INTEGRATO SAIE



INTERNATIONAL
BUILDING
EXHIBITION

TEHNOLOGIJE V ARHITEKTURI IN GRADBENIŠTVU



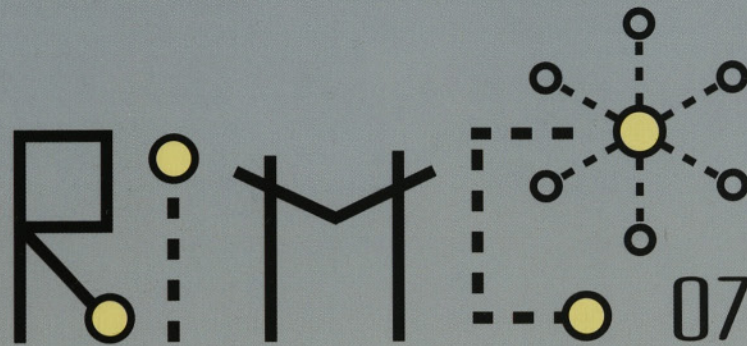
organized by:

BolognaFiere

supported by:

Regione Emilia-Romagna

5. in 6. november 2007, Kulturni center Rogaška Slatina



3. MEDNARODNI ZNANSTVENI IN STROKOVNI KONGRES UPRAVLJAVCEV ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE

3rd INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND EXPERT RAILWAY INFRASTRUCTURE MANAGERS CONGRESS

GENERALNI POKROVITELJ




OBČINA
ROGAŠKA SLATINA


GENERALNI SPONZOR



KPM CONSULT

OSTALI SPONZORJI

THALES  Iskra
Iskra Sistemi

 primorje



SIEMENS

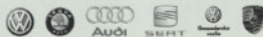
OMEGA
consult

voestalpine
SCHIENEN GMBH

NES

LOGISTIČNA PODPORA

Porsche Slovenija



URADNI PREVOZNIK

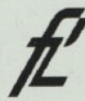
ADRIA

www.adria-airways.com

MEDIJSKA PODPORA



ORGANIZATORJA



Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo in Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti

Prijavo na kongres lahko oddate:

- na spletni strani:

<http://www.fg.uni-mb.si/RIMC2007/>

- po mailu:

katja.pusnik@prplus.com;

- po pošti na naslov:

PR plus d.o.o.,
Svetozarevska 10, 2000 Maribor,

- po telefonu:

02 / 234 25 35;

- po faxu:

02 / 234 25 36.