

# GRADBENI VESTNIK

GLASILO  
ZVEZE DRUŠTEV  
GRADBENIH  
INŽENIRJEV  
IN TEHNIKOV  
SLOVENIJE



**8-9-10**  
**1 9 9 8**

**Glavni in odgovorni urednik:**

---

Franc ČAČOVIČ

**Lektor:**

---

Alenka RAIČ – BLAŽIČ

**Tehnični urednik:**

---

Danijel TUDJINA

**Uredniški odbor:**

---

Sergej BUBNOV  
mag. Gojmir ČERNE  
prof. dr. Miha TOMAŽEVIČ  
dr. Ivan JECELJ  
Andrej KOMEL  
Stane PAVLIN  
dr. Franci STEINMAN

**Tisk:**

---

Tiskarna TONE TOMŠIČ d.d.  
v Ljubljani

Revijo izdaja Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Karlovška c. 3, telefon/faks: 061/221-587, ob finančni pomoči Ministrstva za znanost in tehnologijo, Gradbenega inštituta ZRMK, Zavoda za gradbeništvo Slovenije, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani ter Fakultete za gradbeništvo, Univerze v Mariboru.

Tiska Tiskarna Tone Tomšič d.d., Ljubljana.

Letno izide 12 števil. Individualni naročniki plačajo letno naročnino v višini 2.600 SIT, študentje in upokojenci 1.300 SIT. Gospodarske organizacije in podjetja plačajo letno naročnino za 1 izvod revije 32.000 SIT. Naročnina za naročnike v tujini znaša 100 USD.

Po mnenju Ministrstva RS za kulturo je v ceno vključen 5 % prometni davek.

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

## VSEBINA - CONTENTS

Stran 186  
Matjaž MIKOŠ, Iztok KAVČIČ

### MAJHNI VODOTOKI V MESTNEM OKOLJU - NJIHOVA REVITALIZACIJA SMALL WATERCOURSES IN URBAN ENVIRONMENT - THEIR REVITALISATION



Stran 196  
Franc SAJE, Drago SAJE

### NADZIDAVA ZVONIKA ŽUPNIJSKE CERKVE V MIRNI PEČI OVERBUILDING THE CHURCH TOWER IN MIRNA PEČ



Stran 203  
Drago SAJE, Franci KAVČIČ

### VPLIV SESTAVNIH MATERIALOV NA MEHANSKE LASTNOSTI BETONOV VISOKIH TRDNOSTI INFLUENCE OF CONSTITUENT MATERIALS ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH- STRENGTH CONCRETE



Stran 210  
Dušan ROŽIČ, Viktor MARKELJ, Marjan PIPENBAHER

### RAČUNALNIŠKA SIMULA- CIJA KOT POMOČ PRI PROJEKTIRANJU INŽENIR- SKIH KONSTRUKCIJ INFLUENCE OF CONSTITUENT MATERIALS ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH- STRENGTH CONCRETE



Stran 214  
Miroslav PREMROV

### DINAMIČNA INTERAKCIJA OBJEKT-TLA: PROBLEM MEHKEGA SLOJA NA TRDEM POLPROSTORU DYNAMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTION: THE PROBLEM OF A SOFT LAYER ON A RIGID HALFSPACE

Stran 220  
Svetko LAPAJNE

### UPOGIBNI MOMENTI V NESKONČNO ŠIROKI PLOŠČI ZARADI POSAMEZNE KONCENTRIRANE OBTEŽBE BENDING MOMENTS IN AN ENDLESS WIDE PLATE DUE TO THE INDIVIDUAL CONCENTRATION LOAD

Stran 223  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

### ORGANIZACIJA UPRAVLJANJA IN KADROVSKA STRUKTURA

#### IN MEMORIAM

Stran 228  
Sergej BUBNOV

### MARJAN BRILLY, dipl. inž.



Stran 231  
Jože PANJAN

### prof.dr. JANKO SKETELJ



Stran 234  
Jože PANJAN

### prof.dr. SRDAN TURK



M. MIKOŠ, I. KAVČIČ: Majhni vodotoki v mestnem okolju

# MAJHNI VODOTOKI V MESTNEM OKOLJU - NJIHOVA REVITALIZACIJA

## SMALL WATERCOURSES IN URBAN ENVIRONMENT - THEIR REVITALISATION

UDK 627.1 : 711.16 : 711.76

MATJAŽ MIKOŠ, IZTOK KAVČIČ

### POVZETEK

V drugem prispevku na temo majhnih vodotokov v mestnem okolju je dan poudarek načrtovanju in izvedbi njihove revitalizacije. Najprej je prikazan pomen sonaravnega urejanja potokov v mestnem okolju. Nadalje poskuša prispevek odgovoriti na vprašanje, zakaj revitalizirati potoke v mestnem okolju. Tako podaja primeren potek in smernice pri načrtovanju revitalizacije mestnih potokov in opiše potek oblikovanja potokov. Sledi opis pristopa k revitalizaciji na podlagi interdisciplinarnega sodelovanja različnih strokovnjakov, ustrezne organizacije projektiranja in opis samega poteka projektiranja in izvedbe. Prispevek se konča s švicarskimi izkušnjami pri izvedbi revitalizacij potokov v mestu Zürich in nege potokov v kantonu Zürich.

### SUMMARY

This second paper about small watercourses in urban environment deals with planning and realization of their revitalization. Firstly, importance of natural regulation and training of small watercourses in urban environment is presented. Furthermore, paper tries to answer a question why there is a need for revitalization of small watercourses in urban environment. Paper gives adequate course and basic guidelines for planning of revitalization of urban brooks, and describes the course of creating brook revitalizations. It follows a description how to approach to a revitalization on the basis of an interdisciplinary cooperation of different professionals, and adequate organization of the planning, and a description of the course of planning and practical realizations. Paper ends with Swiss experiences from revitalization of urban brooks carried out in the City of Zurich, and experiences with maintenance of brooks in Zurich Canton.

#### Avtorja:

doc.dr. Matjaž Mikoš, univ.dipl.inž.gradb. docent za urejanje vodnega režima, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, Hajdrihova 28, Ljubljana; in znanstveni sodelavec, Vodnogospodarski inštitut, Hajdrihova 28, Ljubljana  
Iztok Kavčič, univ.dipl.inž.kraj.arh. strokovni sodelavec, Vodnogospodarski inštitut, Hajdrihova 28, Ljubljana

## 1. POMEN SONARAVNEGA UREJANJA POTOKOV V MESTNEM OKOLJU

Na področju urejanja površinskih voda se v zadnjem času vse bolj uveljavlja tako imenovano sonaravno urejanje. Na vprašanje, kaj je sonaravno urejanje, se da odgovoriti pravzaprav enostavno: sonaravno urejanje naj bi bilo tako urejanje, da bi imele površinske vode čim bolj naravni videz. Sestavni del urejanja vodotokov tako postane tako imenovana vzorčna podoba (orig. nem. Leitbild). Tako podobo je možno ustvariti ali si jo predstavljati s preučevanjem starih zapisov in fotografij o prejšnjem naravnem stanju vodotokov, ki jih želimo urejati, lahko pa kot vzorčno podobo uporabimo videz in značilnosti tistih še ohranjenih in neobzidanih vodotokov, ki jih še najdemo v podobnem okolju.

Takoj na začetku je potrebno opozoriti, da je hudo zmotno precej razširjeno mnenje, da zadostuje za sonaravno oblikovanje vodotokov že samo opuščanje uporabe betona in uporaba naravnih gradiv, kot sta kamen in les (mrtva gradiva) ter rastlinje (živa gradiva).

Omejimo svoja razmišljanja o revitalizaciji vodotokov na urbano krajino. Potok v urbanem (mestnem) prostoru, ki je že izginil, torej na primer potok, ki je zazidan ali zacevljen, naj bi "oživil", tako da bi bil seveda nato sonaravno urejen. Pri tem naj bi uporabljali samo tako imenovana lokalna gradiva. Velike kamne naj bi na primer uporabljali tam, kjer je to nujno iz vodo-gradbenih vidikov, da bi dosegli in ohranili stabilnost dna potoka. Pri malo vodnatih potokih, ki imajo torej malo vode, je treba zelo omejevaty uporabo velikih kamnov. Številni in veliki kamni so v majhnih vodotokih pogosto nepotrebni, saj s prodrom posuto dno potoka daje dovolj velike možnosti za življenje v vodi.

V posameznih primerih, če

načrtujemo na primer ožvitev potokov v cestnem prostoru ali v gosto pozidanem predelu mesta, lahko dobi pomen oblikovanja potoka v smislu njegove vključitve v širšo splošno oblikovalsko zasnovo krajine drugačno težo. Arhitektonski vidik urejanja bo v takem primeru nujno važnejši, kot bi bil sicer. Seveda pa je tudi v takšnih primerih treba ohraniti neki minimum sonaravnosti, pri čemer je vsaj dno potoka naravno oblikovano in obsajeno z zelenjem (glej sliko 1).

Odpiranje zacevljenih in kanaliziranih potokov v urbanem prostoru, njihovo novo oblikovanje in njihova ožvitev odpira številna vprašanja, med drugim npr. vprašanje izbire njihovega pretočnega prereza. Oblika prečnega prereza se v glavnem določa na podlagi razpoložljivega prostora in zahtev glede hidravlične (pretočne) zmogljivosti potoka. Zemljišče, po katerem teče potok, določa njegov vzdolžni padec, pri čemer so krajevno možne spremembe vzdolžnih padcev struge potoka, na primer na ali v bližini fiksnih točk dna.

Ena pglavitnih zahtev sonaravnega urejanja potokov je želja, da bi ustvaril čimvečjo različnost v njegovem poteku: spreminjajoče se širine dna, menjavo počasnega in hitrega toka vode in podobno. Toda če dno potoka do zadnjih podrobnosti v naprej oblikujemo sami obstaja nevarnost, da potok tako rekoč prisilimo v zamišljeni olupševalni steznik. Pri preveč svobodnem oblikovanju struge potoka pa je spet nevarnost, da pride pri visokih vodah do nekontroliranega izpiranja plavin v njegovem dnu in brežinah ter intenzivnega premeščanja le-teh. Taka dinamika je lahko na določenih mestih, posebno pri naravnih potokih, dopustna ali celo zaželjena. Pri umetno oblikovanem dnu struge pa lahko pride do neljubih posledic, če se plavine iz dna potoka odplavljajo v nižje ležeče predele potoka, dotekajočih

plavin iz višje ležečih predelov pa ni. Umetnost sonaravnega oblikovanja vodotokov je torej v sintezi med oblikovanjem (umetnim) in svobodo oblikovanja dna struge (naravnim).

## 2. ZAKAJ REVITALIZIRANJE POTOKOV V MESTNEM OKOLJU

Nekdaj so bili potoki s spremljajočo obrežno vegetacijo pomemben del naravne krajine. S poglobljanjem in prekrivanjem potokov so izginili mnogi elementi, ki sicer ustvarjajo naravno podobo krajine. Kjer so prej potoki vijugali v gozdnem prostoru ali prek travnikov in polj, je nastalo nepretrgano sklenjeno naselitveno območje. Sonaravno strukturiranje poseljenih predelov naj bi bilo kolikor je mogoče ponovno vzpostavljeno s ponovnim odkrivanjem zacevljenih potokov od njihovih izvirov v gozdu pa vse do mesta.

Spoznanja o ekološki vrednosti vodotokov ter o vrednosti vodotokov kot krajinskem elementu, ki na primer v mestnem okolju soustvarja mestno podobo, so tako vse bolj jasno vodilo pri modernem urejanju površinskih voda.

Želja po revitalizaciji potokov sloni na spoznanjih o pomenu potokov za mestno okolje, in sicer kot element mestne strukture, prostor za rekreacijo ljudi ter življenjski prostor za rastline in živali, kakor tudi na spoznanju o njihovem pomenu za zaščito voda, obnovo podtalnice in za mestno ozračje. Zaradi tega je smiselno spodbujati odpiranje obzidanih in zacevljenih potokov v mestnem okolju ter njihovo oživljanje.

### 2.1 POTEK NAČRTOVANJA

Z izdelavo skupnih (enotnih) podlog za načrtovanje in projektiranje revitalizacij potokov v mestnem

M. MIKOŠ, I. KAVČIČ: Majhni vodotoki v mestnem okolju

okolju je treba doseči, da bodo načrti ureditve potokov izdelani na podlagi enotnih izhodišč. To pa seveda nikakor ne pomeni, da bi morali biti vsi potoki enako urejeni. Tudi če temeljno načelo za urejanje potokov sonaravno urediti, je treba upoštevati tudi krajevne danosti in izražene potrebe mestnega prebivalstva.

Tako se v upravi mesta Zürich z načrtovanjem ureditve potokov srečujejo različne službe. Stalni interes mestne kanalizacije je v prvi vrsti ločitev tuje vode in tudi zaščita površinskih voda. Služba za parkovne ureditve v mestu Zürich je pristojna za oblikovanje prostora za rekreacijo, problemi urbanističnega razvoja mesta pa so v pristojnosti mestnega urbanističnega urada. Usklajevanje navedenih služb je v primeru mesta Zürich prevzela mestna kanalizacija. Nasvete dobiva od posebne delovne skupine, ki jo sestavljajo sodelavci različnih mestnih uradov.

Napori v mestu in kantonu Zürich potekajo vzporedno. Mestna kanalizacija se je v začetku programa revitalizacije površinskih voda prvenstveno posvetila problemu odvajanja tuje vode. Urad za urejanje parkov pa je dal poudarek izboljšanju krajevnega videza in s tem povečanju vrednosti stanovaljskih sosesk s širjenjem zelenih con.

Ko je sprejeta odločitev o odpiranju kakega potoka v mestnem okolju, potem je treba poiskati potek njegove trase skladno s starimi, deloma celo zgodovinskimi osnovami. S pomočjo topografskega načrta se določi, ali današnje višinske razmere še ustrezajo starim podlogam oziroma ali bo za posamezne odseke treba poiskati nov potek trase. Pri tem je odločilno to, da naj bi potok v vsem svojem toku potekal povezano v odprti strugi.

Pripraviti je potrebno pregledni

načrt o lastniških razmerah, ki bo nudil podatke, katera pribrežna zemljišča vzdolž struge so zasebna ali javna last. Infrardeči posnetki okolice pa lahko nudijo podatke o strukturi vegetacije na obravnavanem območju.

Nadalje je potrebno pregledati načrte in druge podloge mestnega vodovoda in kanalizacije, iz katerih je razvidno, kje v bližini poteka trase potoka bi lahko prišle v poštev nove kanalizacijske napeljave za odvajanje čiste vode iz na primer neizrabljenih zajetij, iz prelivov rezervoarjev, iz javnih ali zasebnih vodnjakov, iz hladilnih naprav ali iz ponikovalnic (drenaž). Tako pridobljene količine vode se nato prištejejo padavinskim vodam iz prispevnega območja potoka, kar omogoča prvo grobo dimenzioniranje prečnega prereza bodoče struge potoka.

V okviru ureditvenega načrta revitalizacije potoka je treba preučiti tudi obstoječo ali načrtovano mrežo pešpoti, kolesarskih stez in jahalnih poti ter določiti njihovo povezavo s traso potoka. Zasnovo revitalizacije je potrebno preveriti tudi skupaj s sosednjimi odprtimi nezazidanimi površinami v mestnem okolju, ki bodo lahko s načrtovanim odpiranjem potokov zanimive in vrednejše.

Temeljne smernice pri načrtovanju revitalizacije potokov naj bodo:

- pokrite potoke je treba odpreti na čimdaljšem odseku in v eni sami etapi
- trdno obzidane potoke ali odseke potokov je potrebno urediti bolj sonaravno
- kjer je mogoče, je treba upoštevati zgodovinski potek struge potoka
- upoštevati je potrebno kasnejše spremembe terena in možne nove obstoječe nizke lege terena
- upoštevati je treba lastninske

razmere na pribrežnih zemljiščih in meje gradbenih površin

- opirati se je treba na obstoječo vegetacijsko strukturo

- po možnosti je treba zajeti čim več stalno tekoče čiste vode v potok

- prečne dimenzije naj bodo tako majhne, kot je to mogoče

- upoštevati obstoječe in načrtovane povezave, predvsem pešpoti in kolesarske steze

- sosednje proste nezazidane površine, kjer je le mogoče, povezati z obstoječimi prostimi površinami ob potoku

## 2.2 POTEK OBLIKOVANJA REVITALIZACIJ

Samo projektiranje revitalizacije naj se začne s predložitvijo grobega tlorisnega poteka trase in spremljajočimi pojasnili.

Dokončni potek trase potoka naj bo določen na podlagi variant, izdelanih na podlagi posnetih višin in posnetkov vegetacije, kakor tudi poizvedb o kanalizacijskih napeljavah in prometnih povezavah.

Že v temelju je treba znotraj projektantskega tima (gradbeni inženir hidrotehnične smeri, krajinski arhitekt in biolog) razjasniti, za kakšen tip potoka gre v danih razmerah. Po potrebi je nujno na različnih odsekih ponuditi različne tipe urejanja potoka. Osnovna načela načrtovanja revitalizacij lahko povzamemo v posebni preglednici 1.

Pri ureditvah potokov je potrebno upoštevati naslednje štiri dele prečnega prereza potoka (slika 1):

- a) dno potoka
- b) območje roba potoka
- c) območje brežine potoka
- d) pribrežno območje ob potoku.



**Slika 1:** Območje potoka je sestavljeno iz štirih delov, kar moramo upoštevati pri načrtovanju njihovih ureditev

### Dno potoka

Iz prejšnjih pojasnil izhaja, da naj bo dno potoka, če je le mogoče, sonaravno urejeno z različno zrnavostjo zrn plavin v njegovem dnu. Nikakor se ne sme zmanjševanje hitrosti vodnega toka reševati s stopničastimi stopnjami po vsej širini potoka. V strmem predelu potoka se hitrost vodnega toka ne sme zmanjševati v smeri toka, temveč diagonalno na njegovo smer v strugi, kar lahko izvedemo z bolj grobimi samicami, posameznimi ali zloženimi po velikosti, ki je primerna glede na pretok voda. V območju cest postavlja tesnjenje dna struge potoka poseben problem, saj potok ne sme zamakati cestnega telesa. Tesnjenje dna in brežin struge potoka lahko dosežemo z dvema ali tremi sloji ilovice. Kjer pa je v bližini komunalnih napeljav zahtevana popolna zatesnitev potoka, je treba uporabiti druge tesnilne materiale.

### Območje roba potoka

To območje določa nizka voda in je tisto območje, ki za življenje v potoku predstavlja posebno prilagojeno življenjsko okolje. Vsakokrat bo območje roba potoka, posebno na mestih, izpostavljenih vodnemu toku, tisto, ki bo najprej

izprano in odnešeno. Če so v območju roba potoka nujni varovalni protierozijski ukrepi, morajo biti prilagojeni vsakokratnemu tipu potoka in usklajeni z inženirsko-biološkimi ukrepi.

V gozdnem prostoru je treba vsak ukrep revitalizacije gozdnega potoka po možnosti izpeljati šele po osvetlitvi gozda, in to v sodelovanju z gozdarjem, kajti povsod tam, kamor ne pride nobena svetloba, ne more nič rasti. Če gozdni potok že sam po sebi nima težnje po obraščanju, je krčenje drevesne in grmovne vegetacije ter koreninjenje sadik nujno za razrast obrežne vegetacije. Proti bočnemu izpiranju brežin gozdnega potoka je treba v vsakem primeru v dnu brežine položiti poševno nagnjeno plast iz dračja. Na njo pa potem glede na razmere položimo potopljene obrežne fašine - bale iz geotekstila s sadikami in od zadaj napolnjenimi pletivi.

### Območje brežine vodotoka

To območje zajema naravno raščeno brežino ali umetno obrežno utrditev, ki leži nad nizko vodo. Višinska razlika do gornjega roba brežine ali obrežne utrditve mora biti dovolj velika, da ne bi bili pri visoki vodi potopljeni deli ob

potoku, ki niso bili predvideni za poplavljanje.

Prav glede preplavljanja pribrežnih zemljišč in zemljišč naravnih poplavnih območij se danes razmišlja mnogo bolj podrobno, kot je to bilo v preteklosti. Danes se za različne odseke vodotoka najprej ocenijo razmere tveganja, to pomeni, da se najprej ocenijo morebitne škode zaradi poplave (škodni potencial) in primerjajo s ceno protiukrepov (gradbenih in drugih). Če je lahko neposredno ogroženo človeško življenje, potem se odsek ureja glede na nujno varnost. Izkušnje iz nemških mest pa kažejo, da je zlahka mogoče speljati pešpoti in kolesarske steze na kratkih odsekih tudi v območje srednje visokih voda in dopustiti, da jih poplavijo visoke vode.

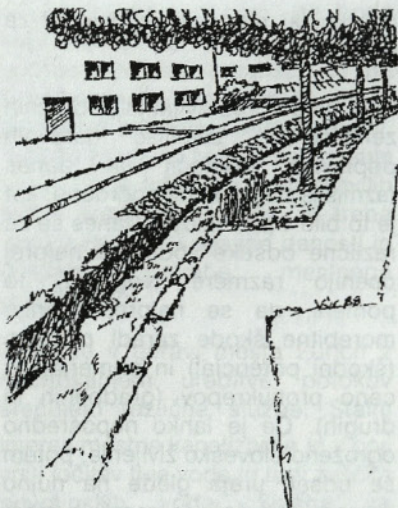
V mestu Zürichu bodo novi potoki v glavnem odvajali samo nizke vode, tako da ne bo treba dodajati veliko dodatnega prostega roba (prostora) za pretok visokih voda. Samo pri potokih, ki odvajajo tudi visoke vode, pride v poštev razmišljanje o varovanju obrežnega območja potoka. Tudi v tem primeru velja, da naj se nujni varovalni ukrepi izvedejo z inženirsko-biološkimi metodami. Te metode so predvsem: obrežno grmovje, potaknjenci ali sajenje dreves. Za strmo obrežje potokov so primerni še tudi razni popleti.

Ureditev obrežnega območja naj upošteva tudi razmišljanje o dostopnosti do tekočih voda. O možnosti opazovanja vodnega sveta ali možnosti za igro ob vodi (slika 2). Pri tem je treba misliti tudi na to, da bolj položna obrežja ne bi omogočala širjenja območja nizkih voda, kar bi imelo za posledico nastanek predelov zastajajoče mirne vode.

### Širša okolica potoka (pribrežno zemljišče)

V širši okolici potoka se širi vpliv potoka na širše okolje. Ureditev s

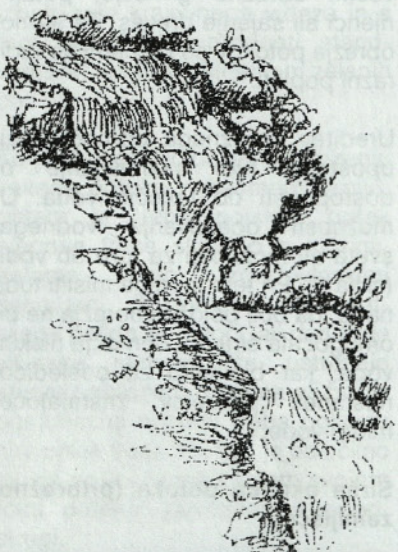
M. MIKOŠ, I. KAVČIČ: Majhni vodotoki v mestnem okolju



**Slika 2:** Dostopnost do potoka je eden pomembnejših kriterijev pri oblikovanju njegovih brežin

pešpotmi, povezava z bližnjimi rekreacijskimi prostori, pogoji za podoživljanje in za vizualni prostor - vse to je treba postoriti v širši okolici potoka.

Čeprav je ureditev s pešpotmi zelo zaželeno za mestno prebivalstvo, pa je z močno "obljudenimi" sprehajalnimi potmi močno pove-



**Slika 3:** Potoke naj se ureja čimbolj sonaravno

<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti potek trase potoka na podlagi natančnih višinskih posnetkov in posnetkov vegetacije ter na podlagi podatkov o višini komunalnih napeljav</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>preučiti tipiziranje potokov kot osnove za oblikovanje revitalizacij</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>izvesti obliko potokov v največji možni meri sonaravno (slika 3)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ne uporabljati nobenih materialov in rastlin, ki niso krajevno običajne</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>upoštevati vse štiri dele pretočnega prereza potoka: dno potoka, rob potoka, območje obrežja in širšo okolico potoka (pribrežna zemljišča)             <ul style="list-style-type: none"> <li>dno potoka:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>če je potrebno tesnenje tal, uporabimo samo naravni material</li> <li>večstransko strukturo tal za življenje v potoku doseči z nišami, zavarovanimi pred vodnim tokom,</li> <li>nobenega stopničastega urejanja, ki sega prek vse širine potoka</li> <li>zmanjšanje hitrosti vodnega toka doseči diagonalno na smer toka</li> </ul> </li> <li>rob potoka:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>ustvariti večstranski potek roba potoka z nišami za živelj</li> <li>previdnost pred razširitvami z območji mrtve zastajajoče vode</li> <li>kjer je obzidava nujna, predvideti le lahko obzidavo</li> </ul> </li> <li>obrežje potoka:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>premisлити o dostopu do potoka</li> <li>osončenje in osenčenje doseči z zasajanjem vegetacije</li> <li>uporabiti samo lahko gradnjo</li> </ul> </li> <li>širša okolica potoka:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>širšo okolico potoka je smotno pritegniti vizualno in glede na rabo</li> <li>proste površine povezati s potokom</li> <li>pešpoto urediti tam, kjer je to smotno</li> <li>premisлити o opremljenosti obvodnega prostora: osvetlitev, možnosti za oddih, odpadki</li> <li>preučiti možnosti dostopa do potoka zaradi vzdrževalnih del</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

**Preglednica 1:** Osnovna načela načrtovanja revitalizacij potokov v mestnem okolju

zano motenje miru v življenjskem prostoru ob potoku. Zato je primernejše, da se pešpot položi vzdolžno le po eni strani potoka ali pa stran občasno menja s premostitvijo potoka.

Povezava z bližnjimi rekreacijskimi prostori je, kjer je to izvedljivo, tudi zaželeno. V večini primerov bo pri tem šlo tudi za razširitev že obstoječe vegetacijske strukture.

K možnosti doživetja spada tudi ureditev prostora, ki je sestavni del širše okolice potoka. Kjer je to mogoče in kjer se ne zadržijo slabi antropogeni vplivi, je razširitev obenem tudi obogatitev (vrednost se poveča).

### 3. PRISTOP K REVITALIZACIJI POTOKOV

#### 3.1 Interdisciplinarnost pristopa

Osnovno vodilo pri revitalizaciji potokov v mestnem prostoru bi morala biti zahteva, da se v okviru revitalizacije zadovoljijo različne potrebe, predvsem pa potrebe mestnega prebivalstva. Osnovno vodilo ali načelo revitalizacije pa je seveda sonaravno urejanje vodo tokov. Logično je tudi, da je treba posameznim, a običajno zelo različnim potrebam, ustreči v sozvočju z mestnim okoljem.

Zato je razumljivo, da naj bi pri revitalizaciji potokov v mestnem



okolju sodelovali različni strokovnjaki, kot so:

- gradbeni inženirji - hidrotehniki
- inženirji krajinske arhitekture
- biologi
- geologi
- pravniki
- vzdrževalci raznih komunalnih in drugih napeljav in vodov, itd.

Gradbeni inženirji - hidrotehniki so pristojni za hidrološke in hidravlične izračune kakor tudi za hidravlično preveritev po končani ureditvi revitalizacije. Hidrotehnik določi hidravlični pretočni prerez in odločilno sodeluje pri določanju tlorisnega poteka struge potoka. Vodogradbene probleme, kot so razna obrežna zavarovanja, je treba reševati v tesnem sodelovanju z njimi. Hidrotehnik upošteva krajevne danosti, obstoječe in načrtovane komunalne napeljave, načrte kanalizacijskega omrežja, kjer je obdelano saniranje celotne kanalizacijske mreže, upošteva pa tudi pravne (lastniške) robne pogoje na vodotoku.

Krajinski arhitekt je pristojen za oblikovanje okolice ob upoštevanju potreb prebivalstva. Pri tem morajo biti upoštewane hidravlične predpostavke hidrotehnika. Krajinski arhitekt je odgovoren za to, da se upoštevajo predlogi biologa pri projektiranju in da upošteva nezazidani prostor, vegetacijo in razne vplive.

Biolog je pristojen za ekološko učinkovitost potoka. Glede tega določa okvirne pogoje in upošteva obstoječa in nova možna življenjska okolja, kakor tudi naselivitvene zmogljivosti gornjega toka potoka in odvodnika, v katerega se potok izliva.

Geolog po potrebi pregleda območje revitalizacije.

Pravnik je pristojen za pridobitev pravic za prehod prek parcele v zasebni lasti, kar lahko igra na mestnem območju pomembno vlogo za uspešen potek mnogih

projektov revitalizacije.

Vzdrževalci: Pri načrtovanju sonaravnega urejanja potokov so pogosto pomembnega pomena možnosti in stroški vzdrževanja. Zato je že v času načrtovanja to treba preveriti z vzdrževalci komunalnih in drugih napeljav in vodov.

Zaradi različnih interesov je treba vzpostaviti primerno projektno skupino in zagotoviti korektno odločanje, posebno v primerih, ko se spopadejo nasprotni interesi.

### 3.2 Organizacija projektiranja revitalizacije

V mestnih občinah je področje kanalizacije, nizkih gradenj in urejanja parkov lahko v različnih mestnih upravah. Vodenje projekta revitalizacije lahko zaupamo inženirju iz ene od teh mestnih uprav. Posamezne strokovne naloge lahko zaupamo zasebnim podjetjem, ki pa so pri izvajanju del podrejena vodji projekta.

Vodja projekta zastopa investitorja (mestno občino) in je odgovoren pristojnim oblastem za finančni potek projekta. Lahko tudi skrbi za oddajo del inženirjem in specialistom, spremlja projektiranje, odloča in skrbi za časovni potek projekta in stroške.

Pri tem je posebno pomembno, da:

- se zagotovi sodelovanje vseh potrebnih strokovnjakov
- se razjasnijo možnosti financiranja, vključno s subvencioniranjem lokalne skupnosti
- se razjasnijo pravni vidiki, kot so lastniško stanje prizadetih zemljiških parcel, pridobitev pravic in da se preuči status potoka (javna lastnina ali ne)
- se zagotovi obveščanje vseh prizadetih in javnosti
- se pridobijo dovoljenja pri pristojnih oblasteh.

Ko gre za projekte urejanja potokov

v mestih, je poleg določitve prečnega prereza in hidravličnega izračuna treba izdelati načrte za križanje s cestami in raznimi komunalnimi in drugimi napeljavami in vodi.

### 3.3 Potek projektiranja

Posebno pomembno je, da so vsi zainteresirani organi pravočasno seznanjeni z načrti urejanja, ker je samo tako mogoče zagotoviti, da vse gradbene dejavnosti potekajo sočasno in usklajeno. Zato morajo dobiti na vpogled projektne naloge vsi zainteresirani organi in strokovne službe v mestu. Vse nujne spremembe in dopolnitve je treba vnesti v projekt, ki je podlaga za izdelavo predračuna stroškov. Tako izdelan in opremljen projekt je podlaga za odobritev sredstev, na primer v mestnem svetu.

Kot ustrezno se je v švicarski praksi pokazalo, da je zelo primerno, če teče izdelava projektov urejanja potokov po poenoteni shemi. Posebna projektna skupina, ki jo je imenovala mestna občina, je pripravila planska in projektna načela, ki vsebujejo hidravlično - tehnična izhodišča, poleg teh pa posebej še oblikovalska, ki sicer izhajajo iz ekoloških zahtev.

### 3.4 Naloge projektne skupine

V primeru mesta Zürich je mestna kanalizacija pristojni urad za vse projekte odvodnjavanja v mestu in odgovorno koordinira delo na tem področju. Projektna skupina za urejanje potokov, ki jo je imenoval mestni svet Zürich in je izdelala projekt urejanja potokov v mestu Zürich, deluje kot delovno telo mestne kanalizacije. Naloga te projektne skupine je, da nadzoruje zaporedje del pri izvajanju projekta in da ne odstopa od kriterijev, na katerih sloni projekt (krajevni, časovni, finančni, ekološki, vodovarstveni in drugi). Za ta

M. MIKOŠ, I. KAVČIČ: Majhni vodotoki v mestnem okolju

namen morajo biti projektni skupini predloženi v pregled projekti v zgodnjem stadiju projektiranja in nato še enkrat po končanem projektiranju.

### 3.5 Izvedba projekta

Za dobro izvedbo projekta je zelo pomembno, da naročnik izbere izvajalca, ki ima že izkušnje s podobnimi deli, ker ekološke in sonaravne ureditve potoka v mestu ni mogoče načrtovati samo na risalni deski. Nujno je, da vodstvo projekta revitalizacije potoka sodeluje tudi s krajinskim arhitektom in biologom ne samo v fazi načrtovanja, temveč tudi v času izvajanja del. Le tako je mogoče zagotoviti uspešno izvedbo projektov za odpiranje in revitalizacijo potokov v mestu.

## 4. ŠVICARSKE IZKUŠNJE PRI IZVEDBI REVITALIZACIJ POTOKOV

V okviru več kot dvajsetih uresničenih projektov urejanja potokov v mestu Zürich so bile zbrane številne izkušnje. Izkazalo se je, da zahtevna naloga načrtovanja in urejanja ni enostavna, predvsem zaradi interdisciplinarnih zasnov ter zaradi tega velikega števila sodelujočih, kar zahteva najmanj njihovo dobro voljo. Jasno je, da je bil na začetku pojem "sonaravno" večkrat napačno razumljen, prav tako kakor vprašanje, kakšno je naravno dno potoka in ali je sonaravno urejene potoke treba vzdrževati drugače kot obzidane in utesnjene. To so vprašanja, na katera lahko švicarski strokovnjaki po uspešno izvedeni prvi fazi revitalizacije mestnih potokov lažje odgovorijo kot pred nekaj leti. Kažejo se že tudi uspehi pri ločevanju tujih voda iz mestne kanalizacije kakor tudi dober potek biološke poselitve na novo ustvarjenih vodotokov.

### 4.1 Izkušnje pri načrtovanju in gradnji (izvedbi revitalizacije)

Ena najpomembnejših izkušenj je ta, da je treba vsak potok obravnavati ločeno. Robni pogoji so vsakokrat drugačni. Prav to dejstvo postavlja zelo visoke zahteve načrtovalcem. Pri tem pa so dosedanje izkušnje, pridobljene na že izvedenih projektih, v veliko pomoč. Dosežene so že tudi izkušnje, ki se nanašajo na izvedbo gradnje in na kaj je pri oblikovanju treba biti posebno pozoren. Prve izkušnje glede zahtev in vplivov v vodogradbenem in vodovarstvenem pogledu so tako že na voljo. Danes se tudi več ve o uresničljivosti načrtovanih ureditev in o pravnih vidikih.

#### 4.1.1 Potek projektiranja

Odpiranja potokov so občutljivi in neobičajni gradbeni podvigi. Ko je gradnja končana, se tako izvedeni potoki ocenijo po kriterijih, ki veljajo za oceno sonaravnosti in oblikovanje krajine. Ker se sonaravno oblikovanje zdi marsikomu enostavno, se oglašajo številni zainteresirani s svojimi zamislimi in predlogi ali izkušnjami. Potoki postanejo tudi pomemben sestavni del stanovanjske soseske. Prebi-

valce je zato treba pri važnejših posegih pritegniti tako pri načrtovanju, kot tudi izvedbi revitalizacije. Tudi če so na voljo različne študije, je treba stanovalce v soseski obvestiti s pomočjo različnih informacijskih sredstev (lokalno časopisje ali radio).

Zelo zgodaj je treba obvestiti lastnike zemljišč. Šele nato se lahko začne projektirati. Istočasno se pojavi problem sestavljanja projektne skupine. Poleg gradbenega inženirja - hidrotehnik mora pri večjih posegih sodelovati inženirji krajinske arhitekture in biologi. Specialiste je možno pritegniti kot skupino ali kot posameznike. Vedno pa je pomembna volja vseh sodelujočih sodelovati z drugimi in priznati, da morajo določena strokovna vprašanja obdelovati drugi strokovnjaki. V preglednici 2 je podana možna delitev dela, ki pa nikogar ne odvezuje od sodelovanja z drugimi.

#### 4.1.2 Varnost

Varnost je pri na novo odprtih potokih večstranski problem. Treba je upoštevati, da ne smejo nastopiti nobene zamašitve in da zaradi tega ne sme biti poškodovana posteljnica dna potoka in da v potok ne prodira

	vodenje skupine	projektiranje	vodenje gradnje	svetovanje
Vsebinsko vodenje • določitev območja, na katerem je mogoče odpreti potok • podrobno vsebinsko vodstvo za izbrano območje	G	G K	G K	B
Dimenzioniranje - posebne naloge vsa dimenzioniranja na temelju minimalnih in maksimalnih voda		G	G	
Oblikovanje - izbira gradiv • oblikovanje prereza potoka - vzdolžni in prečni profil • izbira gradiv glede na prepustnost - obnova tehničnih naprav, kot so razsvetljava, poti, steze, ceste, itd.	G	K G	K G	G + B B + K
Vzdrževanje • vzdrževalni koncept in oblikovalna ideja	G	K		B

G=gradbeni inženir (hidrotehnik) K=inženir krajinske krajine B=biolog

**Preglednica 2:** Vzorčni prikaz delitve dela pri projektiranju revitalizacije mestnega potoka

nikakršna onesnažena voda. Predvsem je potrebno upoštevati protipoplavno varnost okolice. Glavna nevarnost za poplavljanje predstavlja premajhna prepustnost in obstoj prevelikih zožitev v strugi potoka. Dva ukrepa lahko močno zmanjšata obseg morebitnih poplavnih škod in sicer:

- dovolj varnosti mora biti upoštevane pri določitvi pretočnega prereza potoka. Posebno pomembni so ukrepi pri prepustih potoka. Do zamašitev rado prihaja jeseni, če pade preveč listja v potok. Če že pride namestitev grabelj sploh v poštev, je treba prečne grablje namestiti v razdalji najmanj 10 cm od dna potoka (razdalja do spodnega roba grabelj). Na izhodni strani so mreže praviloma potrebne samo pri pohodnih prerezih, sicer pa ne.

- po vsej dolžini revitaliziranega potoka je treba izločiti objekte, ki so izpostavljeni poplavam. S primernimi protipoplavnimi gradbenimi ukrepi na objektih - kot na primer z višjo lego svetlobnih jaškov - se lahko preprečijo škode zaradi poplav - zmanjša škodni potencial.

Pogosto se pri revitaliziranju potokov v mestnem okolju postavlja vprašanje, ali so le-ti nevarni za otroke, glavna nevarnost preži na eni strani v prepustih, na drugi strani pa v globokih tolmunih. Prepuste lahko po potrebi zavarujemo z mrežami, kot je bilo opisano že prej. Pri prepustih, ki so krajši od 6 m in nimajo kolen ali stopenj, praksa kaže, da tak ukrep ni nujen. Na ribnikih in bajerjih, ki so globlji od 20 cm, jih po možnosti opustimo. Izjeme so sonaravno urejeni vtoki in zbiralniki plavin.

#### 4.1.3 Tehnični elementi

V naseljenih predelih je pod zemljo zelo pogosto mreža številnih napeljav in vodov. Zato so pred dokončno določitvijo tlorisnega poteka struge in nivelete (višine

dna) potoka nujna sondiranja terena. Nujne preložitve elektro in telefonskih napeljav lahko zelo povišajo gradbene stroške revitalizacije mestnega potoka.

Zelo pogost element pri poteku potokov v naseljih so podhodi cest in poti. Ker so potoki pomembni linearni ekološki povezovalni elementi, morajo biti oblikovani tako, da ne vsebujejo nobenih nepremostljivih ovir za potovanje malih živih bitij.

#### 4.1.4 Očitki in resničnost

Potoki so elementi, za katere se mestno prebivalstvo v zadnjem času vse bolj in bolj zanima. Potoki ne spreminjajo samo krajine ter stanovanjsko okolje mnogih mestnih prebivalcev, pač pa prebujajo tudi spomine na pretekle čase. Odprti potoki so prej povzročali številne probleme, ki pa so bili z njihovo zacevitvijo rešeni. Zaradi tega imajo starejši ljudje za odpiranje potokov manj razumevanja. Skoraj vse pomisleke lahko strnemo v naslednje izjave:

- potoki bodo pritegnili k sebi komarje in podgane
- potoki bodo smrdeli
- potok bo prostor za odlaganje odpadkov
- otroci bi se lahko v njem utopili
- potok bo povzročal poplave
- potok privlači sprehajalce s psi
- potoki spadajo na podeželje in ne v mestno okolje
- denar davkoplačevalcev bo zapravljen.

Kdor prevzame vlogo stikov z javnostjo v okviru projekta revitalizacije mestnega potoka in je pristojen za pripravo in izvedbo javnih predstavitev, razgrnitve načrta revitalizacije, razgovorov z lastniki pribrežnih zemljišč in sploh splošne stike z mestnim prebivalstvom, mora predhodno sam pri sebi odgovoriti na prej navedena vprašanja.

V mestu Zürich zaradi odpiranja

potokov ni prišlo do pojava komarjev ali podgan. Celo 2000 m<sup>2</sup> veliko jezero v bližini Züricha ne povzroča nobenih problemov. Iz mešanega sistema kanalizacije so prek varnostnih prelivov prišle posamezne podgane v potoke, vendar tam niso našle hrane. Ker je kakovost vode v odprtih potokih dobra, praktično lahko izključimo možnost smrada. Nekaj dni poleti, ko so vodne količine zelo majhne in se celo pojavljajo alge, lahko v danem primeru nastanejo manjše imisije smradu.

Teh imisij smradu seveda ni mogoče primerjati s smradom, ki so ga nekoč povzročale umazane tekoče vode v mestnem okolju brez kanalizacijskega sistema. Problemi z odvrženo nesnago nastajajo samo kot posamezni primeri v zelo omejenem obsegu, več pa v bližini avtobusnih postajališč in vzdolž močno obiskanih sprehajalnih poti. Ampak to se dogaja tudi drugod, kjer ni potokov s koši za smeti in odpadke ter z javnim usmerjanjem lahko rešujemo tudi ta problem.

Pri majhnih mestnih potokih z majhno pretočno globino vode lahko nevarnost utopitve praktično izključimo in je v primerjavi z nevarnostmi zaradi prometa praktično nepomembna. Kljub temu je v posameznih primerih treba temu vprašanju posvetiti potrebno pozornost. Mnogi prebivalci cenijo sprehode vzdolž potoka, ki ni daleč od njihovega stanovanja. Iz tega izhajajo problemi s pasjimi iztrebki. V Zürichu to uspešno rešujejo s posebnimi vrečkami in koši za pasje iztrebke. V Ljubljani in drugod po potrebno takšne navade šele privzgojiti. Vedno mora biti posebej obravnavano tudi vprašanje stroškov. Potoki, ki bodo urejeni namesto kanalizacijskih kanalov za tujo vodo, so velikokrat cenejši od kanalov, vendar pa se tudi že pri enostavnih odpiranjih potokov ali njihovi revitalizaciji lahko doseže ne ravno zanemarljiva vrednost zaradi izboljšanja bivalnega okolja in ekologije, ki jo pa težko izrazimo v

denarju.

#### 4.1.5 Pravna vprašanja

V kantonu Zürich so v osnovi reke in potoki po vsej dolžini brez prekinitev pri zacevljenju tako imenovani javni vodotoki. Glavna značilnost javnega vodotoka je, da gre za naravni odvodnik meteornih voda nekega topografskega prispevnega območja in ne za umetno napravo (kanaliziranje, drenaža in podobno). Javne vode so po zakonu o vodah v veliki meri zavarovane. Za potoke v pozidanim območju obstaja predpis, da morajo objekti stati odmaknjeni od javnega vodotoka najmanj 5m, ker je to v javnem interesu. Obstajajo prizadevanja, da bi bilo čimveč odprtih vodotokov javnih. Velikokrat je tako že tudi samo po sebi, ker pri zacevljenju vodotoka javni status ni bil izbrisan in tako obstaja še naprej. V ostalih primerih pa prihaja v poštev uradna izjava. To je praviloma mogoče v zelenih območjih in rekreacijskih območjih. V stanovanjskih soseskah, še posebno, če gre za zasebno zemljiško posest, pa z omejitvami prizadeti lastniki ne bodo take odločitve kar samoumevno sprejeli.

V takih primerih je možno, da se novi potok za odvajanje čiste vode obravnava kot sestavni del mestne kanalizacijske mreže. Potem so pri prečenju parcel v zasebni lasti nujne samo običajne pravice do prečenja parcele brez pomembnih omejitev lastnine. Tako je pogosto možno premostiti težave in odpiranje potokov pogosto na tak način sprejmejo tudi zasebni lastniki zemljišč.

## 4.2 Izkušnje z ukrepi za nego potokov

### 4.2.1 Cilj zasnove nege

Spomladi leta 1988 je bila sprejeta posebna zasnova za nego potokov,

in sicer za vzdrževanje in nego potokov v mestu Zürich. Nova zasnova za vzdrževanje in nego opisuje sodobno in predvsem za naravo smiselno vzdrževanje potokov. Cilj te nove zasnove nege potokov je, da se najde za živali in rastlinje v območju vodotokov čim naravnejši življenjski prostor, da bi se lahko ponovno razširile in razmnoževale.

### 4.2.2 Splošne izkušnje

Ko so poleti leta 1988 prvič na potokih stekla dela po novi zasnovi o negi potokov, je pri izvajalcih, ki so morali zasnovo izvesti v praksi, zavladal velik dvom. Pri tem so bile urejene brežine, ki jih sploh ni bilo treba kositi, ali pa jih je bilo treba kositi le do polovice, in sicer prvo polovico v juniju in drugo polovico v septembru. Potoki so bili razdeljeni na številne odseke, ki so bili ločeni z mostovi, gozdnimi robovi ali drugimi naravnimi mejami. Vsi ti robni pogoji pa pri strokovnih sodelavcih niso vzbujali samo veselja. Vzdrževalne ekipe Urada za nizke gradnje niso iz časovnih razlogov mogle opraviti košnje v celoti. Negovalna dela so oddali nekemu vrtnarskemu podjetju, ki je delo ponudilo in obračunalo po m<sup>2</sup>.

### 4.2.3 Košnja v praksi

Praksa je pokazala, da so obrobja vzdolžnih poti ob potoku zelo pogosto pohojena zaradi številnih sprehajalcev. Visoka trava pa sega tudi v območje sprehajalnih poti. Obrežne bankine kosijo zunaj negovalnega programa vodotokov dvakrat do trikrat na leto na meter široko, da bi še vedno ohranili svetli profil sprehajalnih in deloma prevoznih poti. Košnja sama je postala zahtevnejša glede na čas in težja, ker raste na robu potokov več trave in tudi grmovja. Na odsekih, kjer kosijo samo enkrat letno, se deloma zelo rad naseli biček (rogoznica). Po rezanju in odstran-

jevanju se vejevje in ostala biomasa spravi z grabljami na kup, naloži in odpelje v osrednje odlagalische. Tam se po dveh tednih biomasa prenese v napravo za kompostiranje in nadalje predela.

### 4.2.4 Stroji in orodja za vzdrževanje potokov

Zelo dobro so se za košnjo uveljavili enoosni traktorji s komunalno kosilno ročico in seveda košnja s koso. Pri kosilnicah z vrečo in rotirajočo najlonsko vrstico, je treba paziti na to, da pod grmičevjem ne pokosimo vse trave in da ti važni življenjski prostori ostanejo ohranjeni tudi po košnji.

### 4.2.5 Spremembe pri poteku potokov

Pri različnih mestnih potokih so se pokazale vidne spremembe živalskega in rastlinskega sveta. Tako so se na primer na nekaterih delih naselili slepci (kače), na več krajih so se naselile koprive, ki so življenjski prostor za gosenice. V predelih, ki so bili enkrat pokošeni, se lahko razvije grmičevje, kjer lahko živijo razne vrste kačjih pastirjev. Betonske plošče, ki so namenjene vzdolžni obzidavi pete brežine potoka in so delne obrasle, uporabljajo žabe za izhod iz vode. V zimskih mesecih se na posameznih odsekih potoka lahko zelenje obogati s potaknjenci.

## SKLEP

Možnosti za oživljanje manjših vodotokov v mestnem okolju obstajajo in švicarske izkušnje pri tem so pozitivne. Potrebe po dejanski revitalizaciji vsaj nekaterih mestnih potokov v slovenskem prostoru so dane in naraščajo s krepitvijo ekološke zavesti in potreb mestnega prebivalstva po naravnem okolju. Kakšne potoke lahko opazimo v mestnem okolju danes, pa prikazujejo slike 4 do 8.



**Slika 4:** Primer obcestnega potoka, ki je speljan v kanaleti do vtoka v kanalizacijo pri Večni poti v Ljubljani



**Slika 5:** Vtok potoka v kanalizacijo v Tivoliju v Ljubljani



**Slika 6:** Popolnoma utesnjen potok v betonski strugi v Kosezah v Ljubljani



**Slika 7:** Primer travniškega potoka v Ljubljani

#### Zahvala

Razvojno-raziskovalna naloga Ureditev izgubljenih površinskih odvodnikov v Ljubljani je bila financirana s strani Uprave RS za varstvo narave pri Ministrstvu za okolje in prostor ter Oddelka za urbanizem in okolje - Zavod za varstvo okolja in Oddelka za kulturo in raziskovalno dejavnost pri Mestni občini Ljubljana.



**Slika 8:** Primer gozdnega potoka v Ljubljani

## LITERATURA

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (1996). Hochwasserschutz Drauchenbach Radkersburg - Naturnaher Ausbau im Siedlungsgebiet, 8 str.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1993). Flüsse, Bäche, Auen, pflegen und gestalten. Wasserwirtschaft in Bayern, 39 str.
- Doležal, M. (1991), Pregled zelenih površin in možnost njihove povezave v sistem na ožjem območju mesta Ljubljane. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, diplomska naloga, Ljubljana,
- DVWK (1996), Fluss und Landschaft - Ökologische Entwicklungskonzepte, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, št.240.
- Goldschmid, U., Grötzer, C. (1993). Innovation grün, Lebensräume von Menschenhand. Ein wasserbauliches Arbeitsbuch, Stadt Wien - Wasserbau, 121 str.
- Hütte, M., Bundi, U., Peter, A. (1994). Konzept für die Bewertung und Entwicklung von Bächen und Bachsystemen im Kanton Zürich. EAWAG & Kanton Zürich, 132 str. in številne priloge.
- Mikoš, M., Kavčič, I. (1997). Ureditev izgubljenih površinskih vodotokov v Ljubljani. Mišičev vodarski dan 1997, Zbornik referatov, str. 13-20,
- Mikoš, M., Kavčič, I. (1998). Majhni vodotoki v mestnem okolju - njihov pomen, Gradbeni vestnik, Letnik 47, št. 5-6-7, str. 159-169,
- Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (1989). Flüsse und Bäche - erhalten - entwickeln - gestalten, Wasserwirtschaft in Bayern, št. 21, 164 str.
- VGI (1997). Ureditev izgubljenih površinskih vodotokov v Ljubljani, I.faza. Končno poročilo o razvojno-raziskovalnem projektu, Poročilo Vodnogospodarskega inštituta C-454, Ljubljana, 99 str.

# NADZIDAVA ZVONIKA ŽUPNIJSKE CERKVE V MIRNI PEČI

## OVERBUILDING THE CHURCH TOWER IN MIRNA PEČ

UDK 624.9 : 69.059.25 : 726.54

FRANC SAJE, DRAGO SAJE

### POVZETEK

Predmet prispevka je nadzidava kamnitega zvonika cerkve v Mirni Peči. V njem je na kratko podana izbrana tehnična rešitev in način izvedbe sanacijskih in gradbenih del. Zaradi zagotavljanja potresne varnosti zvonika je bilo potrebno obstoječi kamniti del zvonika dodatno utrditi z injeciranjem in ojačiti z vertikalnimi in horizontalnimi vezmi oziroma ploščami. Poleg tega je bilo potrebno izvesti tudi novo temeljenje zvonika, ki je izvedbeno predstavljalo tehnično najzahtevnejši gradbeni poseg nadzidave. Zaradi zagotavljanja stabilnosti obstoječega dela kamnitega zvonika, ki ni imel nikakršnih vezi, je v času gradnje izvedba nove temeljne konstrukcije zahtevala posebno tehnično obdelavo in upoštevanje natančnega zaporedja del.

### SUMMARY

The subject of the paper is overbuilding the stone church tower in Mirna Peč. It shortly presents the selected technical solution and the way of executing the renewal and buildings works. In order to ensure seismic safety of the tower, the existing stone part of the tower had to be additionally strengthened by additional injecting and by vertical and horizontal binds or plates. Further on, a new foundation of the tower had to be carried out. This presented from the technical standpoint the most demanding building intervention of overbuilding. In order to ensure stability of the existing stone tower which had no binds, the execution of the new foundation structure demanded a special technical treatment and precise order of works.

#### Avtorja:

doc. dr. Franc SAJE, dipl. inž. gradb.

mladi raziskovalec, mag. Drago SAJE dipl. inž. gradb. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbništvo in geodezijo, Katedra za masivne in lesene konstrukcije, Ljubljana, Jamova 2

### 1. UVOD

Leta 1914 so v Mirni Peči pričeli z gradnjo nove župnijske cerkve na podlagi projekta, ki ga je izdelal arhitekt Josip Vancaš iz Sarajeva. Novo enoladijsko mogočno zgradbo je usmeril proti jugovzhodu, to

je pravokotno na smer stare cerkvene ladje. To mu je omogočilo, da je na levi strani ohranil prezbiterij prvotne cerkve, ki predstavlja posebno zgodovinsko vrednost, in ga kot stransko kapelo posrečeno vkomponiral v arhitekturo nove cerkve. Na desni strani nove ladje

pa je ohranil stari zvonik, za katerega je skladno s projektirano cerkvijo predvidel nadzidavo do višine 50 m in ga arhitektonsko bogato oblikoval.

Gradnjo cerkve so razen zvonika leta 1915 tudi uspešno končali.

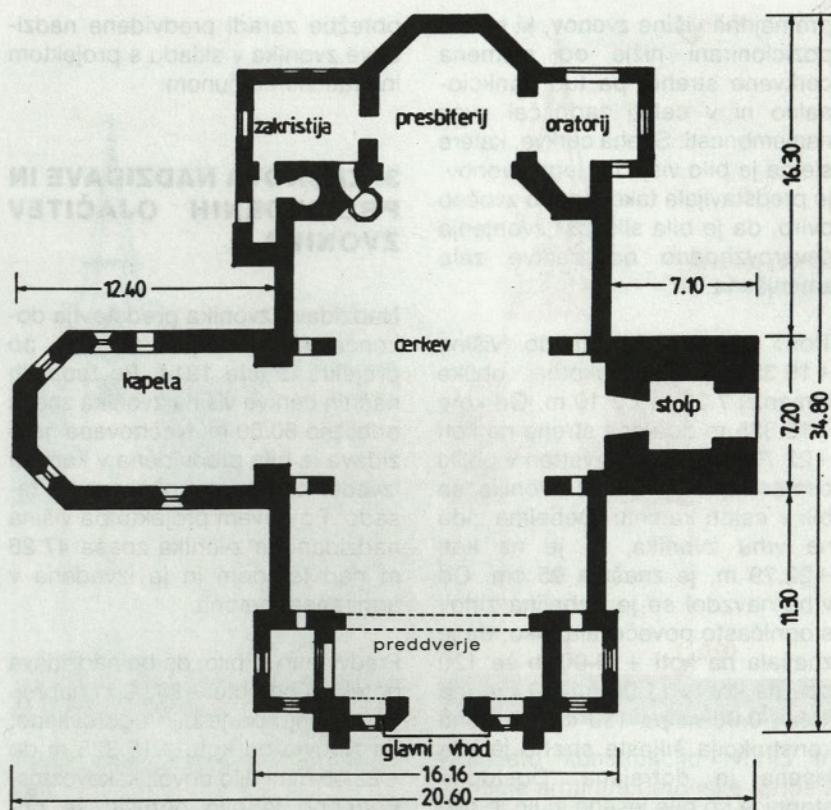
Zaradi težkih vojnih razmer so se namreč odločili, da bodo predvideno nadzidavo zvonika v skladu s celovito arhitektonsko rešitvijo cerkve začasno odložili na povojni čas, dejansko pa se je odrinila za celih 80 let.

V tem času je prišlo do pomembnih sprememb miselnosti ljudi in tehničnih možnosti izvedbe nadzidave. Leta 1991 je med domačini zopet močnejše zaživela želja po nadzidavi zvonika, ki je bila dolga desetletja nekako potisnjena v podzavest. Z nadzidavo so želeli odpraviti zlasti arhitektonsko neskladje med cerkvijo in izrazito čokatom in prenizkim zvonikom ter istočasno izboljšati slišnost zvonjenja. Po objektivnih kriterijih bi bilo rušenje celotnega zvonika in gradnja novega cenejša in veliko enostavnejša kot sanacija in nadzidava obstoječega. Zaradi navezanosti na stari zvonik pa se župljani za to niso mogli odločiti.

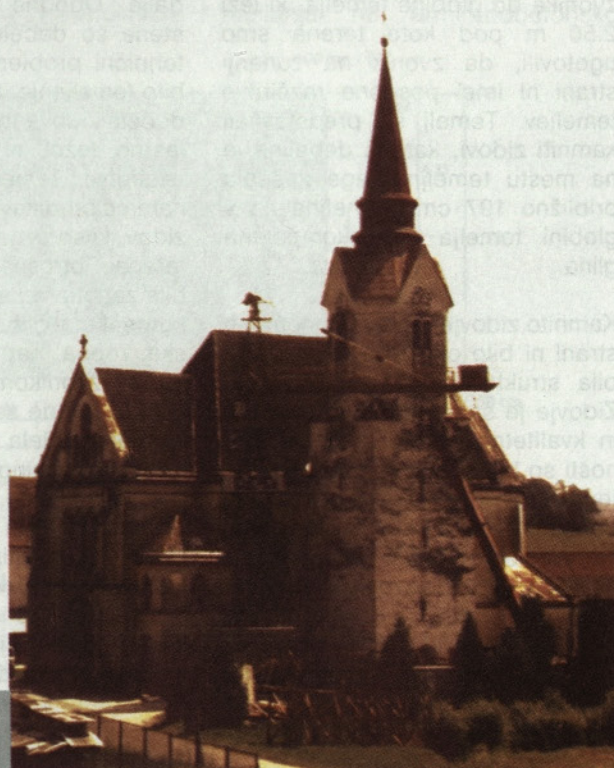
Zaradi nepopolnosti prvotne tehnične dokumentacije in bistveno spremenjenih tehničnih pogojev in predpisov ter povsem drugačnih upravnih postopkov je župnijski urad Mirna Peč leta 1994 za nadzidavo zvonika naročil povsem novo tehnično dokumentacijo. Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja in za izvedbo je bil izdelan na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Gradbeno podjetje Grosuplje je z nadzidavo pričelo julija leta 1995 in jo spomladi leta 1996 uspešno dovršilo. S tem je bila gradnja cerkve v Mirni Peči, s katero so pričeli leta 1914, končana.

## 2. KONSTRUKCIJA STAREGA ZVONIKA

Obstoječi stari zvonik je v povezavi z mogočno novo cerkveno stavbo predstavljal izrazito arhitektonsko neskladje. Iz slike 2 je razvidno, da je bil zvonik za skladno arhitektonsko delovanje s cerkvijo preveč čokat in veliko prenizek. Zaradi



Slika 1: Tloris cerkve



Slika 2: Cerkev s starim zvonikom

F. SAJE, D. SAJE: Nadzidava zvonika v Mirni Peči

premahnje višine zvonov, ki so bili pozicionirani nižje od slemena cerkvene strehe, pa tudi funkcionalno ni v celoti zadoščal svoji namembnosti. Streha cerkve, katere sleme je bilo višje od lege zvonov, je predstavljala tako močno zvočno oviro, da je bila slišnost zvonjenja severovzhodno od cerkve zelo zmanjšana.

Tloris zvonika je bil do višine +16.325 m pravokotne oblike dimenzij 7.20 m x 7.10 m. Od kote +16.325 m do kapa strehe na koti +22.79 m pa je bil izveden v obliki osmerokotnika. Zidovi zvonika so bili v celoti kamniti. Debelina zidu na vrhu zvonika, to je na koti +22.79 m, je znašala 95 cm. Od vrha navzdol se je debelina zidov stopničasto povečevala tako, da je znašala na koti +16.00 m že 120 cm, na koti +11.00 m 160 cm, na koti ±0.00 m pa 190 cm. Strešna konstrukcija šiljaste strehe je bila lesena in dotrajana. Dostopne stopnice so bile lesene in jih je bilo nujno potrebno zamenjati.

Z izkopom na zunanji strani zidov zvonika do globine temelja, ki leži 2.50 m pod koto terena smo ugotovili, da zvonik na zunanji strani ni imel posebne razširitve temeljev. Temelj so predstavljali kamniti zidovi, katerih debelina je na mestu temeljne rege znašala približno 197 cm. Temeljna tla v globini temelja tvori kompaktna glina.

Kamnito zidovje zvonika iz notranje strani ni bilo ometano, tako da je bila struktura zidu dobro vidna. Zidovje je sorazmerno kompaktno in kvalitetno. Zaradi ocene nosilnosti so bili iz obstoječega kamnitega zidovja z vrtnjem preko cele debeline zidu odvzeti štirje vzorci. Trije izmed njih so bili odvzeti v območju vogalov zvonika, eden pa v sredini zidu. Iz rezultatov preiskav, ki jih je izdelal Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij v Ljubljani, je bilo razvidno, da nosilnost obstoječega zidovja zadošča za prevzem povečane

obtežbe zaradi predvidene nadzidave zvonika v skladu s projektom in statičnim računom.

### 3. ZASNOVA NADZIDAVE IN PREDVIDENIH OJAČITEV ZVONIKA

Nadzidava zvonika predstavlja dokončanje gradnje cerkve po projektu iz leta 1914. Po tedanjih načrtih cerkve višina zvonika znaša približno 50.00 m. Načrtovana nadzidava je bila predvidena v kamniti izvedbi z bogato oblikovano fasado. Po novem projektu pa višina nadzidanega zvonika znaša 47.26 m nad terenom in je izvedena v armiranem betonu.

Predvideno je bilo, da bo nadzidava potekala od kote +20.00 m naprej. Ob rušenju pa je bilo ugotovljeno, da zidovje od kote +16.325 m do +22.00 m ni bilo dovolj kakovostno. Potrebno je bilo porušiti še približno štiri višinske metre kamnitega zidu tako, da novi del zvonika poteka od kote +16.325 m dalje. Obodne armiranobetonske stene so debele 25 cm. Največji tehnični problem pri nadzidavi je bilo temeljenje. Stari zvonik je imel debele zidove in zaradi tega veliko lastno težo, ni pa imel nobene razširitve temeljev. Temelje so namreč predstavljali samo podaljški zidov, ki so segali 2.50 m pod koto terena. Potresna varnost zvonika ni bila zagotovljena. Temeljna tla tvori kompaktna glina. Največja računsko robna napetost v tleh pod starim zvonikom je znašala 0.53 MPa. Glede na veliko težo kamnitega dela zvonika je bilo ob nadzidavi nujno potrebno izvesti novo temeljenje. Razmišljali smo o različnih načinih izvedbe vključno s piloti in jet groutingom, vendar se je kot optimalno izkazalo temeljenje s temeljno brano in temeljno ploščo. Zaradi zagotavljanja stabilnosti in varnosti obstoječega dela zvonika v času gradnje, je bilo pri izvajanju temeljenja potrebno upoštevati natančno določeno zaporedje del.

Zaradi relativno visokih največjih robnih napetosti je bila statično potrebna 70 cm debela temeljna plošča. Izvedena je bila tako, da smo postopoma po pasovih odstranjevali spodnje dele zidov in jih na koti prejšnjega temeljenja podbetonirali. Na ta način smo se izognili podkopavanju zidov s čimer je bila zagotovljena bistveno večja varnost proti lokalni porušitvi temeljnih tal v času gradnje (glej sliko 5).

Za zagotavljanje potresne varnosti so bili na mestih šestih vogalov osmerokotnega tlorisa izvedeni ojačilni armiranobetonski stebri dimenzij 40 cm / 40 cm. Stebre smo betonirali v žlebove, ki smo jih na zunanjih straneh izdoblili v kamnito zidovje. Stebri potekajo od temeljne plošče do kote +16.325 m, kjer so ustrezno sidrani v armiranobetonske stene nadzidanega dela zvonika. V zidu zvonika ob cerkveni ladji nismo predvideli izvedbe vertikalnih stebrov. Na koti +4.25 m je zaradi povečanja togosti prek oboka znotraj zvonika izvedena 15 cm debela armiranobetonska plošča. Na zunanji strani je izvedena armiranobetonska vez, ki je na mestih stebrov skozi zid sidrana v ploščo znotraj zvonika (slika 6). Na koti +11.25 m pa so na notranji in zunanji strani zidov horizontalne armiranobetonske zidne vezi, ki so na mestih stebrov medsebojno povezane s sidri, ki potekajo skozi kamniti zid. Prečni prerez notranje zidne vezi znaša b/h = 60 cm / 25 cm, zunanje pa b/h = 25 cm / 25 cm. Zunanje zidne vezi na kotah +4.25 m in +11.25 m so izvedene le na treh straneh zvonika, ker izvedba vezi ob cerkveni ladji ni mogoča. Vse navedene zidne vezi so vgrajene v predhodno izsekane žlebove. Na koti +16.325 m pa je zaključna armiranobetonska plošča oziroma podest debeline 15 cm, v katerega so sidrani vertikalni ojačilni stebri in zgornje armiranobetonske stene.

Nadzidava zvonika od kote +16.325 m do +30.47 m je



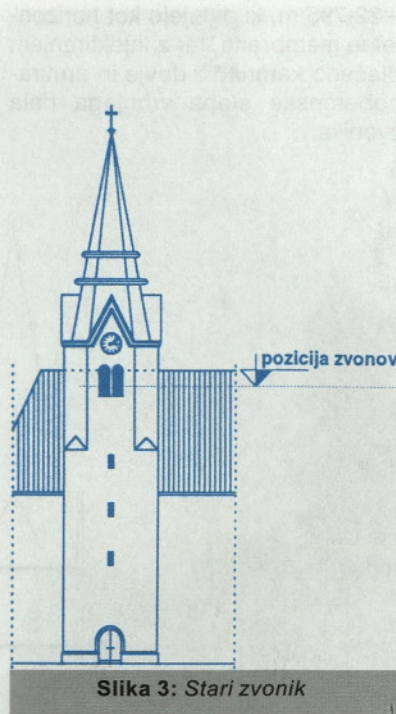
izvedena s 25 cm debelimi armiranobetonskimi stenami, prek katerih sta na kotah +16.325 m in +22.795 m izvedena armirano-betonska podesta, na kotah +26.47 m in +30.47 m pa armirano-betonski plošči. Podesta in plošči delujejo kot membrane. V prostoru med zgornjima ploščama so zvonovi. Zaradi boljših akustičnih učinkov le-ti počivajo na lesenih nosilcih, ki so z gumijastimi dušili obešeni na betonsko konstrukcijo. Od kote ±0.00 m do kote +26.47 m so izvedene notranje armirano-betonske stopnice.

### Napetosti kamnitega zidovja:

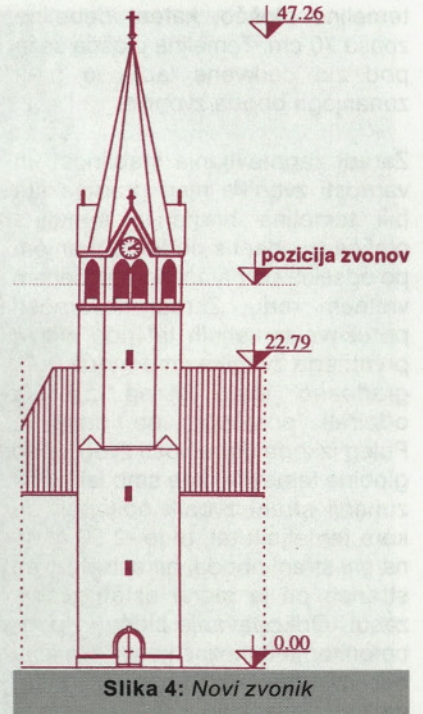
Težiščne napetosti kamnitega zidovja, ki jih na koti ±0.00 m povzročata lastna teža nadzidanega zvonika, znašajo 0.59 MPa. Robne tlačne napetosti zidov pri upoštevanju dodatne horizontalne obtežbe z vetrom so 0.52 MPa oziroma 0.66 MPa, pri upoštevanju potresne obtežbe pa 1.06 MPa oziroma 0.126 MPa.

Tlačne napetosti so bile izračunane z upoštevanjem specifične teže kamnitega zidovja  $\sigma_z = 23 \text{ kN/m}^3$ . Pri upoštevanju dejanske specifične teže zidov, ki znaša od 19 do 22  $\text{kN/m}^3$ , bi dobili nekoliko manjše tlačne napetosti v zidovju, vendar bi bile te še vedno precej večje od dopustne vrednosti, ki po podatkih Zavoda za raziskavo materialov in konstrukcij znaša približno  $\sigma_{\text{dop}} = 0.4 \text{ MPa}$ .

Da stabilnost zvonika zaradi velikih napetosti v zidovju po nadzidavi ne bi bila ogrožena, je bilo kamnito zidovje do kote +4.26 m injektirano s cementno suspenzijo. Kot dokazujejo rezultati preiskav, se z injektiranjem obstoječa tlačna trdnost kamnitega zidovja lahko poveča tudi za več kot 50%, kar v danem primeru zadostuje za doseganje ustreznih stopnje varnosti zidovja.



Slika 3: Stari zvonik

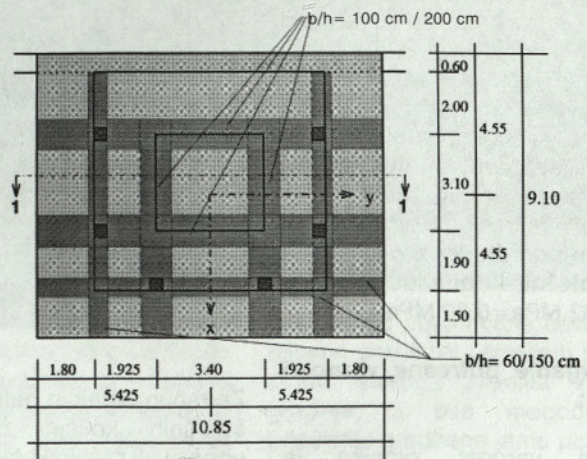


Slika 4: Novi zvonik

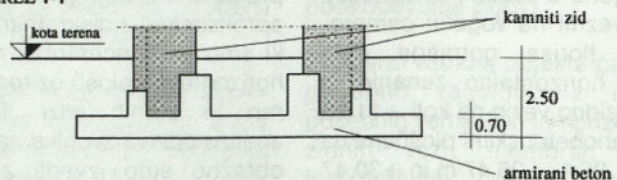
### Temeljenje zvonika in napetosti v tleh:

Temeljenje nadzidanega zvonika je na isti koti kot je bilo pred nadzidavo. Izvedeno je z armiranobetonsko brano in temeljno ploščo.

Branasto konstrukcijo tvorijo tri zunanje armiranobetonske grede z dimenzijami  $b/h = 60 \text{ cm} / 150 \text{ cm}$  in štiri notranje grede z dimenzijami  $b/h = 100 \text{ cm} / 200 \text{ cm}$  (slika 5). Opisana branasta konstrukcija se naslanja na armiranobetonsko



PREREZ 1-1



Slika 5: Geometrija temeljne brane in plošče pod novim zvonikom

F. SAJE, D. SAJE: Nadzidava zvonika v Mirni Peči

temeljno ploščo, katere debelina znaša 70 cm. Temeljna plošča seže pod zid cerkvene ladje in prek zunanjega oboda zvonika.

Zaradi zagotavljanja stabilnosti in varnosti zvonika med gradnjo sta bili temeljna brana in temeljna plošča izvedeni s podbetoniranjem po odsekih po natančno določenem vrstnem redu. Zaradi nevarnosti porušitve temeljnih tal pod zidovi prvotnega zvonika smo morali tudi gradbeno jamo okrog zvonika odpirati postopno po odsekih. Poleg izkopa notranjosti zvonika do globine temeljne rege smo lahko na zunanji strani zvonik odkopali do kote temeljnih tal, to je  $-2.50$  m, le na eni strani oboda, na ostalih dveh straneh pa je moral ostati zvonik zasut. Odkopavanje zidov in podbetoniranje temeljne konstrukcije je bilo izvedeno postopno po posameznih odsekih v predpisanem vrstnem redu.

Največje robne napetosti tal pred nadzidavo so znašale  $\sigma_{tal} = 0.53$  MPa. Po nadzidavi, pri kateri je temeljenje izvedeno s temeljno brano in ploščo, pa največja robna napetost tal pri redni obtežbi znaša  $\sigma_{tal} = 0.45$  MPa, kar je za približno 16 % manj kot pred nadzidavo. Pri potresni obtežbi največja napetost tal pod nadzidanim zvonikom znaša  $\sigma_{tal} = 0.59$  MPa, kar je za približno 10 % več od napetosti tal pod starim zvonikom pri redni obtežbi in bistveno manj od 1.5-kratne napetosti pod starim zvonikom pri redni obtežbi, ki bi znašala  $\sigma_{max} = 1.5 \times 0.532$  MPa = 0.80 MPa.

#### Zagotavljanje potresne varnosti zvonika:

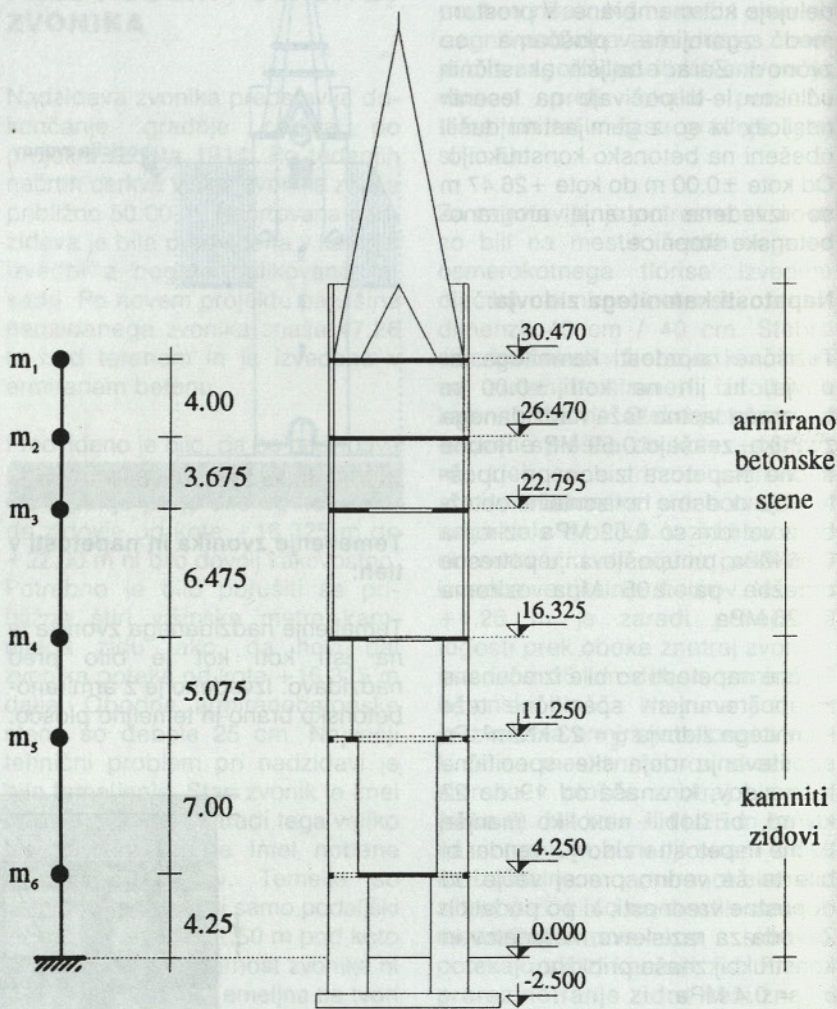
Potresna varnost zvonika je zagotovljena s šestimi vertikalnimi zidnimi vezmi na vogalih osmerokotnega tlorisa gornjega dela zvonika, horizontalno zunanjo in notranjo zidno vezjo na koti  $+11.25$  m, armiranobetonskimi ploščami na kotah  $+4.25$  m,  $+26.47$  m in  $+30.47$  m ter armiranobetonskima podesotoma na kotah  $+16.325$  m in

$+22.795$  m, ki delujejo kot horizontalne membrane, ter z injektiranjem ojačeno kamnito zidovje in armiranobetonske stene vrhnjega dela zvonika.

potresne ogroženosti.

#### Strešna konstrukcija:

Nosilna strešna konstrukcija nadzidanega zvonika je jasna in prepro-

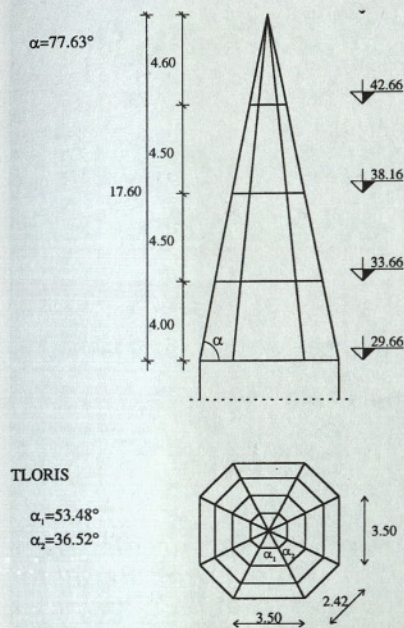


Slika 6: Računski model konstrukcije za dinamično analizo

Za račun nihajnih oblik in notranjih statičnih količin zvonika smo upoštevali računski model s šestimi prostostnimi stopnjami. Zvonik smo aproksimirali z diskretnimi masami, ki smo jih koncentrirali na višinah horizontalnih plošč oziroma membran in zidnih vezi. Dinamično analizo odziva zvonika na potresno obtežbo smo izvedli z uporabo računalniškega programa EAVEK. Pri tem smo upoštevali VII. stopnjo

ta. Tvorijo jo špirovci, ki potekajo iz vogala osmerokotnega tlorisa do konice zvonika z enim vmesnim stikom. Na višinah  $h_1 = 4.00$  m,  $h_2 = 8.50$  m in  $h_3 = 13.00$  m, računano od kapa navzgor, so glavni špirovci med seboj povezani s horizontalnimi prečkami, ki nosijo vmesne polnilne špirovce. Na špirovce je pritrjen 3 cm debel lesen opaž, ki nosi 0.55 mm debelo bakreno kritino. Glavni nosilni špirovci

skupaj s horizontalnimi vezmi na kotah +33.66 m, +38.16 m in +42.66 m tvorijo relativno enostaven prostorski nosilni sistem.



**Slika 7:** Računski model nosilne strešne konstrukcije

Nosilna konstrukcija strehe je bila sestavljena na tleh in nato dvignjena na vrh zvonika. Prvotno smo mislili, da bomo lahko dvignili celotno streho vključno z opažem in kritino v enem kosu, vendar zaradi premajhne zmogljivosti žerjava to ni bilo mogoče. Zaradi tega sta bila opaž in kritina montirana naknadno.

#### 4. SKLEP

Z opisano rekonstrukcijo in nadzidavo zvonika je bilo doseženih več ciljev. Zaradi večje višine zvonov se je izboljšala slišnost zvonjenja, ki je bilo prej zastirto s streho cerkvene ladje, saj je bilo sleme le-te nad pozicijo zvonov. Poleg tega je bilo z nadzidavo v veliki meri odpravljeno arhitektonsko neskladje med razmeroma mogočno novo cerkveno ladjo in izrazito čokatim in prenizkim starim zvonikom. Zelo pomembna pa je tudi vzpostavljena potresna varnost zvonika, ki prvotno ni bila zagotovljena.



**Slika 8:** Dviganje nosilne konstrukcije strehe

Obseg gradbenih del, ki so bila opravljena v okviru rekonstrukcije in nadzidave zvonika, je relativno majhen. Veliko pomembnejša od količine pa je bila zahtevnost opravljenih del. To se nanaša tako na snovanje in tehnično pripravo dela, kakor tudi na izvedbo.

Zaradi slabe medsebojne povezave in velike teže kamnitih zidov so bile zlasti pri izvedbi temeljenja zvonika potrebne posebne tehnične rešitve in natančno upoštevanje predpisanega redosleda

del. Zaradi potencialne nevarnosti lokalne porušitve temeljnih tal pod zidovi starega zvonika v času gradnje ni bilo mogoče niti odpiranje gradbene jame po celem obodu zvonika naenkrat, niti lokalno podkopavanje zidov.

Potresno varnost objekta pa je bilo potrebno zagotoviti z izvedbo posebnih vertikalnih in horizontalnih zidnih vezi, membran ter z injektiranjem obstoječega kamnitega zidovja.

F. SAJE, D. SAJE: Nadzidava zvonika v Mirni Peči



Slika 9: Cerkev v Mirni Peči z nadzidanim zvonikom

## LITERATURA

[1] Projekt nadzidave zvonika cerkve v Mirni Peči, Ljubljana, april 1995

[2] Ocena nosilnosti kamnitega zidovja zvonika župnijske cerkve v Mirni Peči, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, november 1994

[3] Izvirni projekt cerkve in prvotno predvidene nadzidave zvonika

# VPLIV SESTAVNIH MATERIALOV NA MEHANSKE LASTNOSTI BETONOV VISOKIH TRDNOSTI

## INFLUENCE OF CONSTITUENT MATERIALS ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH CONCRETE

UDK 691.34 : 620.17

DRAGO SAJE, FRANCI KAVČIČ

**POVZETEK** V zadnjem času sta se v svetu razvoj in uporaba betonov visokih trdnosti močno povečala. Le-ti se vgrajujejo v betonske konstrukcije mostov, visokih stavb, vrtnih ploščadi v morju, v prefabricirane betonske elemente, betonske voziščne površine in drugod. Ugodne lastnosti betonov visokih trdnosti bi lahko v širšem obsegu izkoristili tudi pri nas, saj v Sloveniji na tem področju še ni bilo veliko narejenega. S tem namenom smo izvedli eksperimentalni program, v okviru katerega smo raziskovali mehanske lastnosti betonov visokih trdnosti iz materialov, ki so dostopni na našem tržišču. Pri tem smo preučevali vpliv različnih kombinacij osnovnih sestavnih materialov, kot so skupna zrnastostna sestava agregata, vrsta cementa, količina mineralnega dodatka glede na maso cementa, celotna količina veziva in vodovezivno razmerje, na karakteristike betonov visokih trdnosti, kot so tlačna trdnost, statični elastični modul in upogibna natezna trdnost. 28-dnevne tlačne trdnosti preizkuševanih betonov so se gibale med 73 in 92 MPa.

**SUMMARY** Recently the development and application of high-strength concretes has increased substantially throughout the world. This concretes are used in concrete structures of bridges, high-rise structures, offshore structures, prefabrication concrete elements, concrete pavements, and others. Favourable properties of high-strength concrete could be used to advantage in a wide spectrum of applications also in Slovenia, since there has not been done much in this field yet. With this purpose an experimental program was carried out, in the framework of which we investigated the mechanical properties of high-strength concretes made from materials available at our market. In this respect the influence of different combinations of basic constituent materials were studied, such as granulometrical composition of the aggregate, the cement type, the amount of the mineral admixture with regard to the mass of binder, the total amount of binder and the water-binder ratio to the characteristic of high-strength concretes, such as compressive strength, statical modulus of elasticity and flexural tensile strength. The values of 28-day compressive strengths of investigated concretes were between 73 and 92 MPa.

Avtorja:  
mladi raziskovalec, mag. Drago SAJE dipl. inž. gradb.  
asistent, Franci KAVČIČ, dipl. inž. gradb.  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbništvo in geodezijo, Katedra za masivne in lesene konstrukcije, Ljubljana, Jamova 2

## UVOD

Specialne vrste betonov, ki služijo določenemu namenu, vse bolj izpodrivajo običajne betone. Med specialne vrste betonov štejemo tudi betone visokih trdnosti, pri katerih izboljšanje mikrostrukture stičnega območja med agregatom in cementnim kamnom kot tudi v samem cementnem kamnu poleg višje tlačne trdnosti ugodno vpliva tudi na ostale lastnosti betona.

Osnovne sestavine visokotrdnih betonov, kot so agregat, cement, voda in različne vrste dodatkov, so enake kot pri betonih običajnih trdnosti. Tudi pri visokotrdnih betonih zavzema večji del prostornine agregat, le da so zahteve glede skupne zrnovostne sestave in največjega premera zrn agregata drugačne. Za doseganje višjih trdnosti del cementa nadomeščamo z mineralnimi dodatki, ki jih pri betonih običajnih trdnosti navadno ne uporabljamo. Primerno vgradljivost pri nizkih vodovezivnih razmerjih pa zagotavljamo s superplastifikatorji.

Izbira sestavnih materialov mešanice je prva stopnja pri izdelavi betona. Preprost postopek, ki se uporablja za sestavo mešanic betonov običajnih trdnosti, pri betonih višjih trdnosti ne ustreza več. Za visokotrдне betone zaradi nasprotujočih si zahtev še ni bila razvita metoda za sestavo mešanic. V literaturi pa je moči najti priporočila, ki niso povsem zadovoljiva. V prvem koraku sestavljanja mešanice si lahko pomagamo s podatki iz literature. Običajno uporabljamo agregat iz drugega nahajališča, poleg tega pa se lahko kemijski sestavi našega cementa in cementa omenjenega v literaturi, razlikujeta, kar velja tudi za dodatke. Ker se pri visokotrdnih betonih vpliv posamezne sestavine na lastnosti betona še poveča, moramo mešanico, v kateri smo uporabili materiale, ki so nam na razpolago, v laboratoriju še posebej preiskati.

V Sloveniji se na tem področju še ni veliko delalo, zato za naše materiale ustreznih priporočil za sestavo mešanic visokotrdnih betonov še nimamo. Zaradi tega smo se najprej lotili izdelave ustreznih receptur sestave betonov visokih trdnosti.

## EKSPERIMENTALNI PROGRAM

### UPORABLJENI MATERIALI

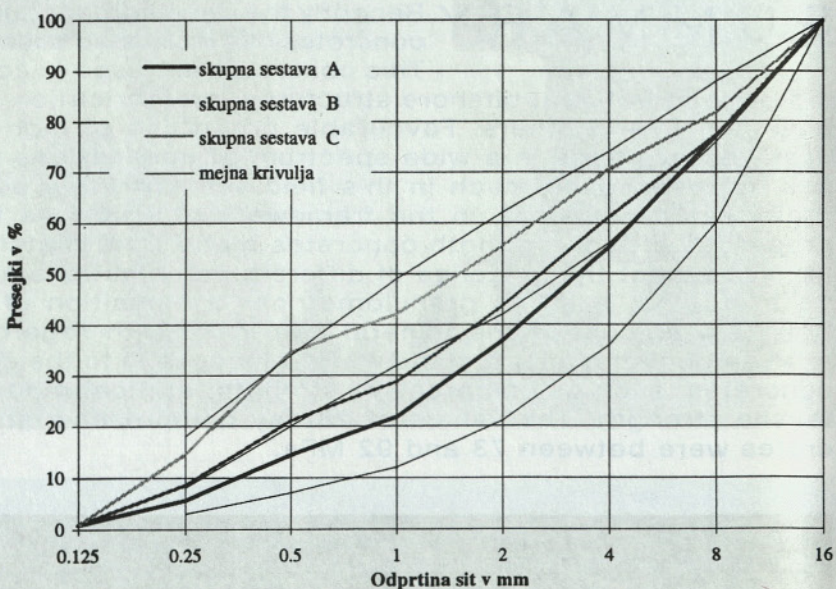
#### Agregat

Preiskovani betoni so bili izdelani iz prane drobljenega agregata z nazivnim maksimalnim zrnom 16 mm, proizvedenim na separaciji Kresnice in mivke Termit iz Moravč. Pretežni del kamenine, iz katere je drobljen agregat, predstavlja svetlo siv apnenec. Kamenina je trdna in gosta. Razpoke v obliki stilolitnih šivov so zapolnjene z rjavim netopnim ostankom, to so glineni materiali. Del razpok pa je zapolnjen s prekristaliziranim kalcitom. Izbrani drobljeni agregat je eden kakovostnejših domačih agregatov,

ki jih je možno dobiti na našem tržišču. Prani agregat smo uporabili, ker vsebuje manjše količine prašnih delcev (< 5 %), kar je pri izdelavi visokotrdnih betonov velikega pomena. Za drobljenec pa smo se odločili, ker površina zrn nudi večjo možnost dobrega stika s cementnim kamnom v primerjavi s prodnatim agregatom, kar je tudi splošna ugotovitev za tovrstne betone. Specifična teža agregata je 2,70 kg/dm<sup>3</sup>. Uporabljena mivka je značilne rjavkasto sive barve s posameznimi temnejšimi zrnici. Mineraloško pregledan vzorec pod mikroskopom je pokazal na kremeno sestavo (> 99%). Oblika zrn je bila zaobljena do zaobljeno ostro-roba. Mivka ni vsebovala delcev pod 0.09 mm, ugodno sestavo pa je imela tudi v zgornjem delu presejne krivulje - vsebovala je nizek delež zrn velikosti nad 0.4 mm. Specifična teža je bila 2,71 kg/dm<sup>3</sup>. Za izdelavo betonskih mešanic smo uporabili tri različne zrnovostne sestave agregata, ki so prikazane na sliki 1.

Skupno zrnovostno sestavo "A", ki poteka med krivuljama A<sub>16</sub> in B<sub>16</sub>, označujemo kot "grobno" skupno

DIAGRAM ZRNAVOSTI SKUPNE SESTAVE AGREGATA ZA BETON 0/16 mm



Slika 1: Izbrane zrnovostne sestave agregata

zrnavostno sestavo.

• Pri skupni zrnavostni sestavi "B" smo se skušali čim bolj približati kontinuirni zrnavostni krivulji  $B_{16}$  in jo označujemo kot "srednjo" skupno zrnavostno sestavo.

• Skupno zrnavostno sestavo "C", ki poteka med krivuljama  $B_{16}$  in  $C_{16}$ , označujemo kot "fino" skupno zrnavostno sestavo.

lastnosti cementov		enote	PC15z45B	CEM I 52,5R
HIDRAVLIČNO VEZIVO	SiO <sub>2</sub>	%	21.51	20.22
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5.59	5.10
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2.50	3.17
	CaO	%	60.83	63.92
	skupaj	%	90.43	92.41
SPECIFIČNA POVRŠINA (Blaine)		cm <sup>2</sup> /g	3640	4400
PROSTORNINSKA MASA		kg/dm <sup>3</sup>	3.10	3.10
VEZANJE	pričetek	min	130	155
	konec	min	190	220
UPOGIBNA TRDNOST	28 dni	MPa	7.6	7.5
TLAČNA TRDNOST	28 dni	MPa	47.0	53.2

Preglednica 1: Primerjava cementov

## Cement

Za izdelavo devetih betonskih mešanic smo uporabili cement PC15z45B, za eno pa CEM I 52,5R. Obe vrsti cementa proizvaja cementarna v Anhovem. Kemijska sestava, fizikalno-kemijske in mehanske lastnosti obeh cementov so podane v preglednici 1.

Cement CEM I 52,5R se proizvaja v skladu z evropskimi in avstrijskimi standardi. Glede karakteristik bi lahko ustrezal marki 55 po jugoslovanskem standardu, ki je pri nas še v veljavi.

Po evropskem standardu ENV 197-1 ima ta cement najvišjo marko, saj ima visoke začetne in končne trdnosti.

## Mineralni dodatek

Za doseganje višjih trdnosti smo del cementa v mešanicah nadomeščali z mineralnim dodatkom mikrosiliko. Mikrosilika je vsebovala 95.7% SiO<sub>2</sub>. Premer 80% delcev se je gibal med 0.1 in 0.3 μm. Prostorninska masa mikrosilike je bila 2.20 kg/dm<sup>3</sup>, specifična površina pa 22 m<sup>2</sup>/g.

## Kemijski dodatek

V betone, ki smo jih preiskovali, smo za doseganje boljše vgradljivosti dodajali superplastifikatorja Cementol Zeta in Cementol Zeta T-ekstra iz Tovarne kemičnih izdelkov in proizvodnja krede Srpenica, ki

dodatek	gostota (20°C) [g/cm <sup>3</sup> ]	suha snov (105°C) [g/cm <sup>3</sup> ]	pH
Zeta - koncentrat	1.17-1.18	35.5-36.5	10.0-11.0
Zeta T ekstra	1.08-1.09	18.0-18.5	7.0-7.5

Preglednica 2: Osnovne lastnosti uporabljenih superplastifikatorjev

sta po kemijski sestavi sulfonirani naftalin-formaldehid kondenzata.

preiskovanih betonov so podana v preglednici 3.

## RAZMERJA SESTAVIN V BETONU

Pri preizkušanih betonih smo uporabljali različne zrnavostne sestave agregata s tem, da smo spreminjali delež grobih in finih frakcij. Grobi agregat vključuje frakciji 4/8 in 8/16 mm, fini pa mivko in frakcijo 0/4 mm. Vodovezivna razmerja betonskih mešanic so se gibala med 0.25 in 0.35. Poleg vrste cementa smo spremljali tudi količino veziva (vezivo=cement +mikrosilika) med 500 in 760 kg na m<sup>3</sup> betona, pri čemer smo cement nadomeščali z 0 do 10 % mikrosilike glede na maso veziva. Razmerja sestavnih materialov

## MEŠANJE, VGRADNJA IN NEGA BETONA

Izhodiščna točka vseh betonskih mešanic je bila enaka vgradljivost izražena s posedom sveže betonске mešanice. Izbrana konsistenca ima po evropskih normah prENV 206 [2] oznako S4, kar predstavlja posed v mejah med 160 in 210 mm z odstopanjem ±30 mm. Da bi bila konsistenca še natančneje določena, smo pri mešanicah poleg poseda izmerili tudi razlez, ki se je gibal med 470 in 570 mm, kar predstavlja konsistenco F4.

Po zamešanju betona smo le-tega vgradili v jeklene kalupe. Po 24-ih

mešanica	grobi agregat kg/m <sup>3</sup>	fini agregat kg/m <sup>3</sup>	cement	vezivo kg/m <sup>3</sup>	mikro-silika % veziva	V/V razmerje
HSC100	768	867	PC15z45B	600	10	0.30
HSC200	693	1040	PC15z45B	500	5	0.35
HSC300	695	1043	PC15z45B	500	10	0.35
HSC400	651	977	PC15z45B	600	0	0.30
HSC600	655	984	PC15z45B	600	5	0.30
HSC700	644	967	PC15z45B	600	10	0.30
HSC1100	483	1128	CEM I 52,5 R	600	10	0.30
HSC1200	586	878	PC15z45B	760	5	0.25
HSC1300	575	862	PC15z45B	760	10	0.25
HSC1400	487	1136	PC15z45B	600	10	0.30

Preglednica 3: Razmerja sestavin v mešanicah

D. SAJE, F. KAVČIČ: Vpliv sestavnih materialov na mehanske lastnosti betonov

oznaka vzorcev	kemijski dodatek [%] *	delež por [%]	prostorninska masa [kg/m <sup>3</sup> ]	posed [cm]	razlez [cm]
HSC100	3.3	1.7	2404	21	57
HSC200	2.5	1.8	2416	20	54
HSC300	3.0	1.8	2406	22	56
HSC400	2.5	2.5	2400	23	56
HSC600	2.5	2.0	2406	20	50
HSC700	3.2	1.8	2426	22	57
HSC1100	6.0	2.9	2380	14	47
HSC1200	3.2	2.5	2400	21	54
HSC1300	3.2	2.5	2388	16	49
HSC1400	3.5	3.4	2352	18	51

\*Skupna količina kemijskega dodatka je izražena v odstotkih glede na maso cementa.

Preglednica 4: Karakteristike svežega betona

urah smo vzorce razkalupili in jih do preizkušanja negovali v vodi pri sobni temperaturi.

## PREIZKUŠANCI IN MERILNA OPREMA

Tlačne trdnosti smo merili na kockah z robom 15 cm, statične elastične module in upogibne natezne trdnosti pa na prizmah z dimenzijami 10 cm x 10 cm x 40 cm.

Uporabljali smo različno merilno opremo, ki je bila pogojena s tipom preiskave in je naslednja:

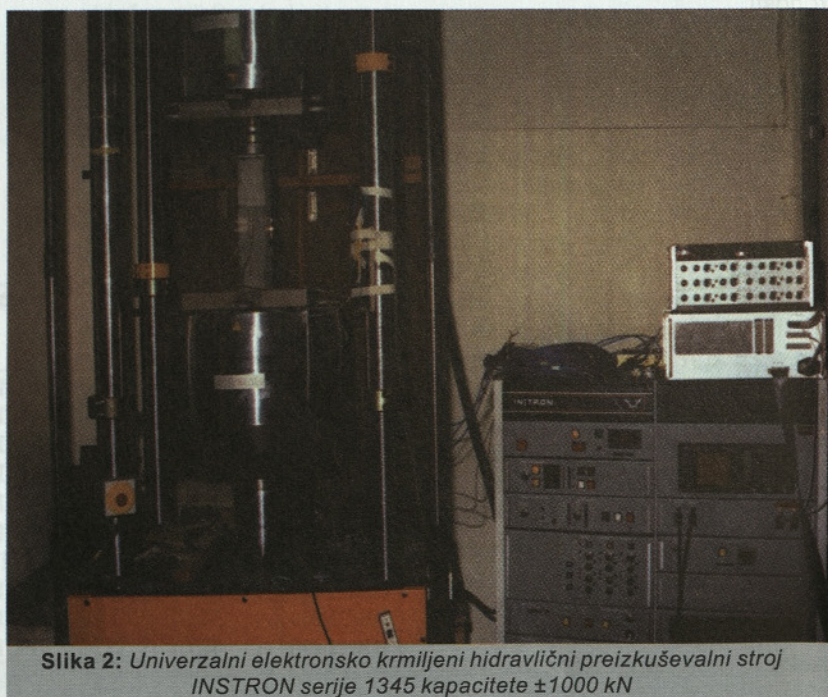
- Tlačno trdnost betona smo merili po posameznih terminih na elektromehaničnem preizkuševalnem stroju za statične tlačne preiskave s kapaciteto 5000 kN.

- Upogibno natezno trdnost s koncentrirano silo na sredini gredice smo merili pri osemindvajsetih dneh prav tako na elektromehaničnem preizkuševalnem stroju. Zaradi večje zahtevane natančnosti glede vnosa sile smo uporabili dodatno merilno celico za merjenje sile kapacitete 100 kN. Podatki so se prek 6-kanalnega merilnega mostičnega ojačevalnika in merilnega sistema DASCO INTERNATIONAL MS 1 zapisovali na računalnik.

- Statični elastični modul smo merili na univerzalnem elektronsko krmiljenem hidravličnem preizkuševal-

nem stroju INSTRON serije 1345 kapacitete ±1000 kN.

Deformacije na prizmah smo merili s pomočjo induktivnih deformetrov. Vsi potrebni podatki - sile in pripadajoče deformacije so se preko 6-kanalnega merilnega mostičnega ojačevalnika tipa HORVAT HPSC 3102-HP-02 z nosilno frekvenco 5 kHz in merilnega sistema DASCO INTERNATIONAL MS 1 s 16-imi vhodnimi kanali z območjem ±10 V zapisovali na računalnik, kjer smo jih nato dokončno obdelali. Hitrost obremenjevanja preizkušancev oziroma hoda bata je bila 1 cm v 2000 s.



Slika 2: Univerzalni elektronsko krmiljeni hidravlični preizkuševalni stroj INSTRON serije 1345 kapacitete ±1000 kN

## RAZPRAVA O EKSPERIMENTALNIH REZULTATIH

Pri visokotrdnih betonih imajo sestavni materiali in razmerja med njimi veliko večji vpliv na njihove mehanske karakteristike kot pri betonih običajnih trdnosti.

V preglednici 5 so podane povprečne vrednosti tlačnih trdnosti izmerjenih pri starostih betona 1 dan, 3, 7 in 28 dni ter statičnih elastičnih modulov in upogibnih nateznih trdnosti izmerjenih pri starosti betona 28 dni.

### a) Vpliv skupne zrnavostne sestave na mehanske karakteristike betona

Tako vrsta uporabljenega agregata kot tudi njegova zrnavostna sestava imata na mehanske karakteristike betona nedvomno zaznaven vpliv.

Obravnavali smo le različne skupne zrnavostne sestave, ne pa tudi agregata iz različnih vrst kamnin. V



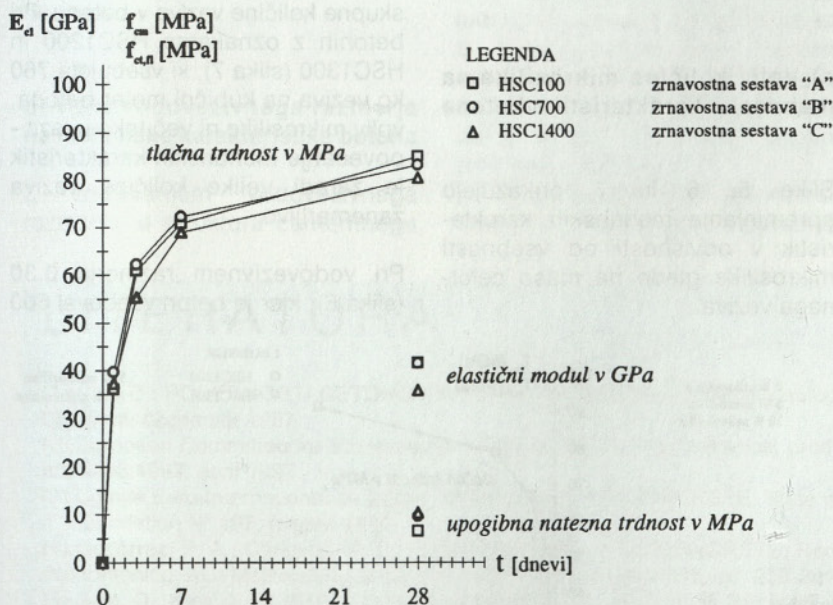
D. SAJE, F. KAVČIČ: Vpliv sestavnih materialov na mehanske lastnosti betonov

starost betona	1 dan	3 dni	7 dni	28 dni	28 dni	28 dni
oznaka vzorcev	$f_{cm, kocka}$				$E_{cl}$	$f_{ct,0}$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[GPa]	[MPa]
HSC100	36.1	60.8	70.8	84.9	41.50	6.43
HSC200	32.3	54.0	61.8	74.4	36.90	8.87
HSC300	31.6	52.8	65.6	78.5	-	8.92
HSC400	39.3	56.8	63.0	72.9	35.17	5.26
HSC600	38.9	60.3	67.6	79.5	39.51	9.38
HSC700	39.7	62.2	72.2	83.1	41.44	9.48
HSC1100	51.7	70.0	78.2	86.1	41.74	10.59
HSC1200	49.9	67.4	78.9	91.3	42.86	11.42
HSC1300	51.8	67.1	78.5	91.8	-	11.48
HSC1400	37.3	55.3	68.9	80.4	35.74	10.25

Preglednica 5: Mehanske karakteristike preiskovanih betonov

skupna zrnavostna sestava agregata	A		B		C	
mešanica	HSC100		HSC700		HSC1400	
	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
fini agregat	867	53 %	967	60 %	1136	70 %
grobi agregat	768	47 %	644	40 %	487	30 %
skupaj	1635	100 %	1611	100 %	1623	100 %

Preglednica 6: Delež finega in grobega agregata



Slika 3: Primerjava mehanskih lastnosti preiskovanih betonov, če spreminjamo le skupno zrnavostno sestavo agregata

preglednici 6 je podana količina finega in grobega agregata na kubični meter betona in njun delež glede na celotno maso agregata.

Čeprav se pri visokotrdnih betonih trdnost cementnega kamna močno poveča, pa je v splošnem tlačna trdnost agregata še vedno večja. Grobe frakcije lahko tvorijo v

betonu močnejši nosilni skelet kot fine, zaradi česar je po našem mnenju tlačna trdnost betona z oznako HSC1400, ki je v skupni zrnavostni sestavi vseboval 10 % manj grobih frakcij kot beton z oznako HSC700, v primerjavi s tlačno trdnostjo tega betona nižja za 3.2 %, medtem ko sta tlačni trdnosti betonov z zrnavostnima sestavama "A" in "B" primerljivi.

Izboljšanje stičnega območja in cementnega kamna povzroči, da se pokažejo tudi elastične lastnosti agregata. Močnejši skelet iz grobih zrn je tudi manj deformabilen, glede na to je elastični modul betona z oznako HSC1400 nižji od ostalih dveh.

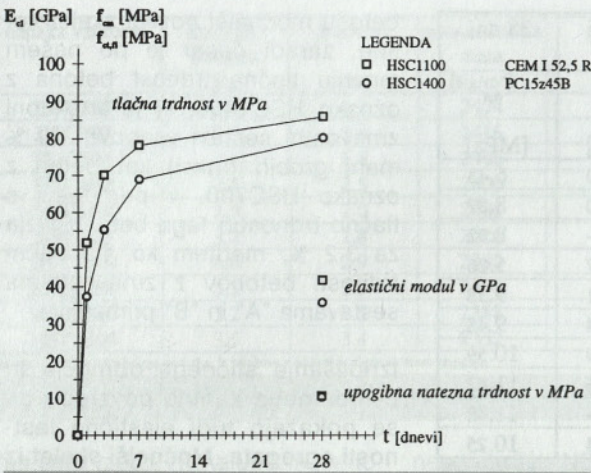
Povečanje natezne trdnosti stičnega območja ni tako veliko, da bi lahko sama natezna trdnost agregata pomembno vplivala na natezno trdnost betona. Predvidevamo, da ima na natezno trdnost betona največji vpliv cementni kamen. Cementni kamen pa skupaj s finimi frakcijami tvori kompaktnjšo strukturo, zaradi česar je upogibna natezna trdnost betona HSC1400, ki vsebuje v skupni zrnavostni sestavi več finih frakcij kot ostala dva betona, največja.

V splošnem je razvidno, da vpliv različnih skupnih zrnavostnih sestav na mehanske karakteristike ni v vseh pogledih dovolj izrazit.

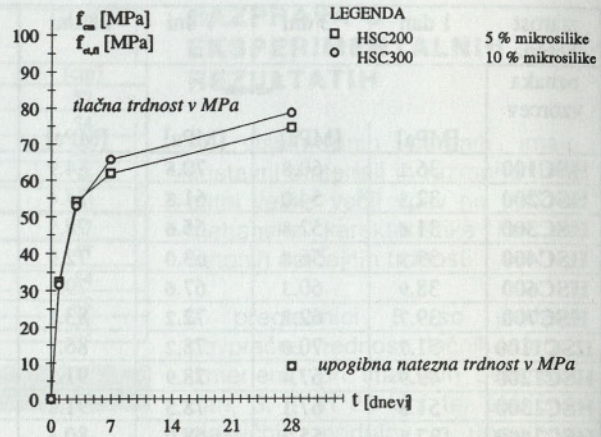
## b) Vpliv vrste cementa na mehanske karakteristike betona

Rezultati na sliki 4 jasno kažejo, da kakovostnejši cement izboljša tako tlačno trdnost, kot tudi statični elastični modul in upogibno natezno trdnost. To je posledica izboljšanja cementnega kamna in stičnega območja, saj je specifična površina kakovostnejšega cementa za 20.9 % večja.

Pri uporabi cementa CEM I 52,5R je beton pri starosti 28 dni dosegel za



Slika 4: Primerjava mehanskih lastnosti preiskovanih betonov, če uporabimo le različne vrste cementsa



Slika 5: Primerjava mehanskih lastnosti preiskovanih betonov, če spreminjamo le količino mikrosilike. Vodovezivno razmerje je 0.35.

približno 7 % večjo tlačno trdnost, elastični modul je bil višji za okoli 17 %, natezna trdnost pa za nekaj več kot 3 %.

Pri sestavljanju mešanic se je izkazalo, da so za doseganje ustrezne konsistence betona s kakovostnejšim cementom potrebne večje količine superplastifikatorja kot pri betonih s cementom PC15z45B (preglednica 4). Vzrok za to je večja specifična površina kakovostnejšega cementsa. Uporabljeni superplastifikatorji so razviti za cimente, ki so dostopni na našem tržišču. Cement Anhovo CEM I 52,5 R trenutno ni dovolj preizkušan v praksi, zato tudi dodatki, ki so na našem tržišču na voljo, zanj pri tej

vrsti konsistence niso najustrežnejši.

Po obsežnem pregledu literature in na podlagi lastnih raziskav smo ugotovili, da se optimalna količina veziva za izdelavo kakovostnih visokotrdnih betonov giblje med 500 in 600 kg/m<sup>3</sup>.

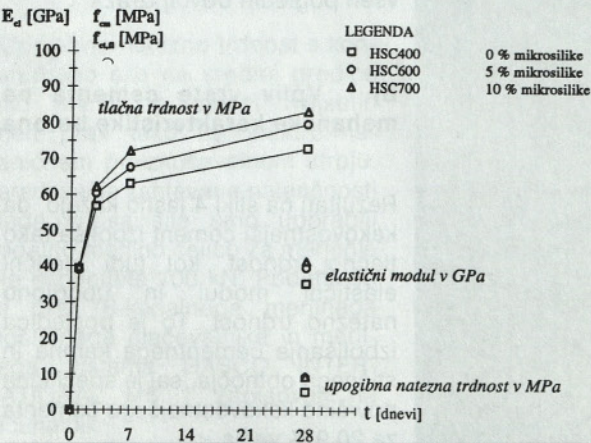
**c) Vpliv količine mikrosilike na mehanske karakteristike betona**

Slike 5, 6 in 7 prikazujejo spreminjanje mehanskih karakteristik v odvisnosti od vsebnosti mikrosilike glede na maso celotnega veziva.

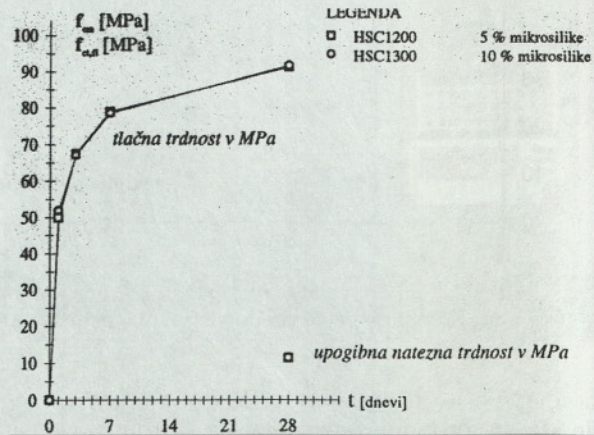
Z dodatkom mikrosilike v beton se izboljša predvsem stično območje, struktura je bolj homogena, poroznost je manjša.

S povečevanjem količine mikrosilike glede na maso cementsa se mehanske karakteristike v večji ali manjši meri povečujejo, kar je odvisno od skupne količine veziva v betonu. Pri betonih z oznakama HSC1200 in HSC1300 (slika 7), ki vsebujeta 760 kg veziva na kubični meter betona, vpliv mikrosilike ni več tako izrazit - povečanje mehanskih karakteristik je zaradi velike količine veziva zanemarljivo.

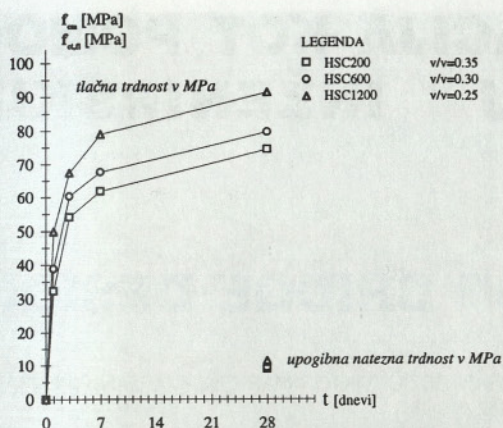
Pri vodovezivnem razmerju 0.30 (slika 6), kjer je beton vseboval 600



Slika 6: Primerjava mehanskih lastnosti preiskovanih betonov, če spreminjamo le količino mikrosilike. Vodovezivno razmerje je 0.30.



Slika 7: Primerjava mehanskih lastnosti preiskovanih betonov, če spreminjamo le količino mikrosilike. Vodovezivno razmerje je 0.25



**Slika 8:** Primerjava mehanskih lastnosti preiskovanih betonov, če spreminjamo le vodovezivno razmerje. 5 % mase veziva predstavlja mikrosilika.

kg veziva na kubični meter betona, je bil vpliv mikrosilike precejšen. Beton z oznako HSC400, ki ni vseboval mikrosilike, je imel upogibno natezno trdnost nižjo celo za 44.5 % v primerjavi z betonom HSC700, ki je vseboval 10 % mikrosilike.

Tudi pri vodovezivnem razmerju 0.35 (slika 5) je bil vpliv mikrosilike opazen.

#### d) Vpliv vodovezivnega razmerja na mehanske karakteristike betona

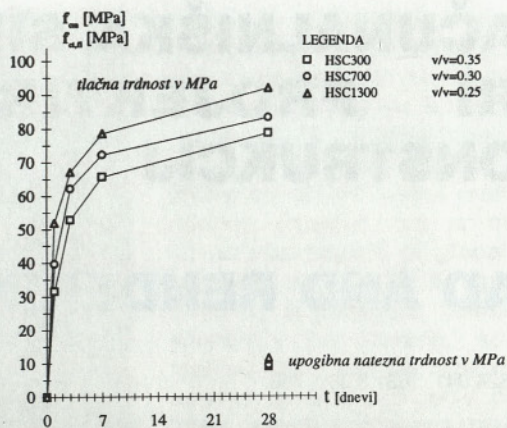
Z zniževanjem vodovezivnega razmerja je struktura cementnega

kamna manj porozna, zaradi česar se trdnost le-tega poveča.

#### SKLEPI

Iz navedenega lahko povzamemo naslednje:

- Na mehanske karakteristike imajo določen vpliv tako fine kot tudi grobe frakcije agregata, za kar bi bilo potrebno najti ustrezno optimalno skupno zrnavostno sestavo. V naših raziskavah se je dokaj dobro "izkazala" skupna zrnavostna sestava "B".
- Za doseganje višjih trdnosti bo vsekakor potrebno uporabljati



**Slika 9:** Primerjava mehanskih lastnosti preiskovanih betonov, če spreminjamo le vodovezivno razmerje. 10 % mase veziva predstavlja mikrosilika.

kakovostnejše cemente, za katere pa bi potrebovali tudi ustrezne kemijske dodatke - superplasti-fikatorje.

- Potrebno je definirati območje optimalne količine veziva.
- Nadomeščanje cementa z ustreznimi količinami mikrosilike izboljša strukturo cementnega kamna in stičnega območja, s tem pa tudi ostale mehanske lastnosti. Optimalne količine je potrebno še določiti.
- Zaradi nižjega vodovezivnega razmerja imajo zadostno skompaktirani betoni manj porozno strukturo, kar ugodno vpliva na trajnost in obstojnost tovrstnih betonov.

## LITERATURA

- (1) Saje D.: POSEBNOSTI BETONOV VISOKIH TRDNOSTI, Magistrska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, december 1997
- (2) European Committee for Standardization: CONCRETE - Performance, production and conformity, European Standard, prEN206:1997, april 1997.
- (3) Comité Euro-International du Béton: HIGH-STRENGTH CONCRETE, State of the Art Report, FIP/CEB, SR 90/1, Bulletin d'Information N° 197, avgust 1990.
- (4) Gutiérrez, P. A., Cánovas, M. F.: HIGH-PERFORMANCE CONCRETE: Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning, ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 3, maj-junij 1996, str. 233-241.
- (5) Saje, D., Kavčič, F.: BETONI VISOKIH TRDNOSTI V SVETU IN PRI NAS, Gradbeni vestnik, 11-12 / 1997, november-december 1997, str. 354-360.
- (6) POROČILO O PRAKTIČNI UPORABNOSTI MIVKE CALCIT STAHOVICA S PODANO KOREKCIJO ZRNAVOSTI, IGMAT, Ljubljana, 20. 10. 1997.
- (7) POROČILO O PREISKAVI KAMNINE IZ KAMNOLOMA UŠENIŠČE, IGMAT, Ljubljana, 17. 04. 1997.
- (8) POROČILO O PREISKAVAH CEMENTA PC15z45B, Salonit Anbovo, Anhovo, 15.09. 1997.
- (9) POROČILO O KAKOVOSTNIH KARAKTERISTIKAH CEMENTA CEM I 52,5 R, Salonit Anhovo, Anhovo, 03.11.1997.
- (10) TEHNIČNE KARAKTERISTIKE MIKROKREMENICA/MIKROSILIKA TKK, TKK Srpenica, Srpenica, oktober 1997.
- (11) OSNOVNE KARAKTERISTIKE CEMENTOLOV - DODATKOV ZA BETON IN MALTE, TKK Srpenica, Srpenica, avgust 1997.

# RAČUNALNIŠKA SIMULACIJA KOT POMOČ PRI PROJEKTIRANJU INŽENIRSKIH KONSTRUKCIJ

## CAD AND RENDERING FOR BRIDGE DESIGN

UDK 624.041 : 681.3.06 : 766

DUŠAN ROŽIČ, VIKTOR MARKELJ, MARJAN PIPENBAHER

### POVZETEK

V prispevku je predstavljena računalniška simulacija kot orodje, ki se vedno bolj uporablja kot pomoč pri zasnovi inženirskih konstrukcij z vidika primernosti objekta v okolju. Prikazano je nekaj primerov računalniških simulacij ter primerjava le-teh z že izvedenimi objekti.

### SUMMARY

The article presents CAD and rendering as a very useful tool for bridge design in the context of suitability on the environment. Some render examples and comparing with already finish bridges are shown.

#### Avtorji:

Dušan ROŽIČ, dipl.inž.gr., Inženirski biro PONTING d.o.o., Maribor, Strossmayerjeva 28

Viktor MARKELJ, dipl.inž.gr., Inženirski biro PONTING d.o.o., Maribor, Strossmayerjeva 28

Marjan PIPENBAHER, dipl.inž.gr., Inženirski biro PONTING d.o.o., Maribor, Strossmayerjeva 28

### UVOD

Vsi gradbeni objekti, še posebej pa premostitveni objekti, zaradi svojih velikih dimenzij trajno spreminjajo okolje, v katerem se nahajajo. Prav zaradi tega mora projektant pri zasnovi in projektiranju takšnih konstrukcij poleg tehničnih (uporabnost in varnost konstrukcije) ter ekonomskih (ekonomičnost in trajnost) komponent upoštevati tudi estetski kriterij bodočega objekta.

Pri prikazu bodočega objekta v okolju se lahko uporabljajo različne tehnike, npr. razne skice, načrti, makete ipd. Ena od tehnik, ki se je uveljavila zaradi hitrega razvoja računalništva v zadnjem času, pa je računalniška simulacija.

### RAČUNALNIŠKA SIMULACIJA

Vse klasične tehnike, ki so se uporabljale in se še danes uporabljajo za prikaz in predstavitev bodočih objektov, imajo poleg svojih prednosti tudi svoje slabosti. Za podroben prikaz objekta s pomočjo arhitektonskih skic in načrtov je potrebno veliko dela, saj lahko prikaže posamezna skica oz. načrt pogled samo z ene strani. Izdelava maket je to pomanjkljivost odpravila, vendar so zaradi majhnega merila makete primerne samo za globalni prikaz objekta v okolju, detajliranje pa je zahtevno in zahteva veliko časa, umetniške žilice ter spretnosti izdelavalca makete. Zaradi relativno velikih stroškov izdelave kakovostne makete se v

fazi zasnove ta tehnika le redko uporablja za prikaz različnih variant objekta.

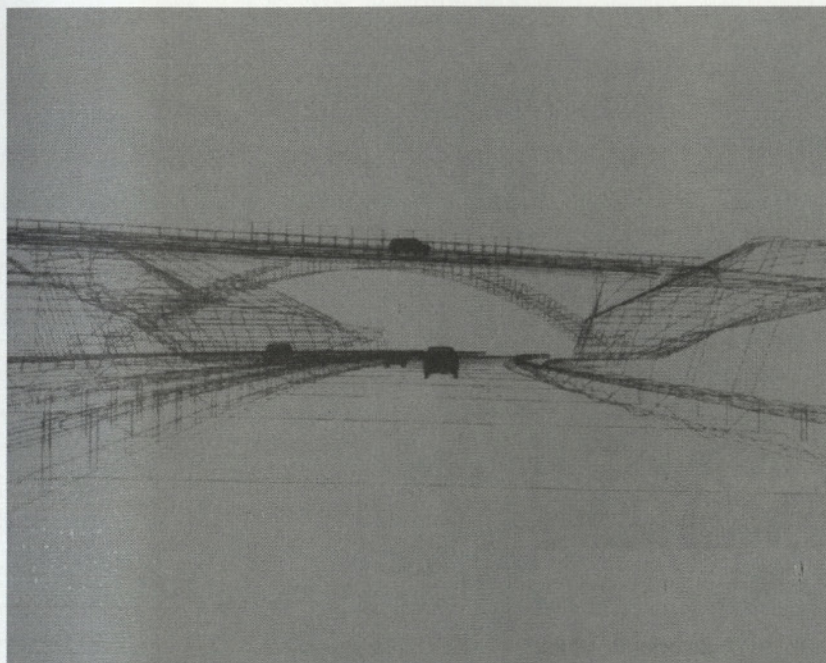
Z razvojem računalništva pa se v vedno večjem obsegu uveljavlja računalniška simulacija za nazoren in realističen prikaz objekta v okolju. Izdelava računalniške simulacije objekta običajno poteka v dveh fazah:

- izdelava mrežnega modela okolja (terena)
- izdelava mrežnega modela konstrukcije

ter

- določitev pogledov
- senčenje.

Na podlagi podatkov o terenu, kot



Slika 1: Mrežni model terena in konstrukcije - nadvoz 4-3 na AC Divača-Kozina

so plastnice, geodetske točke ipd., se začne izdelava mrežnega modela terena z vsemi zaseki, vkopi, zasipi in nasipi. Nato se izdelava 3D model bodočega objekta v različnih variantah, ki se vkomponira v 3D model terena. Ko je mrežni model pripravljen, lahko

pričnemo s senčenjem.

Najpomembnejša faza za doseganje dobrih rezultatov pri senčenju je definicija materialov, ki jih priredimo posameznim objektom modela. Materiali so lahko definirani samo z barvo, lahko pa jim predpišemo tudi ostale karakte-

ristike, kot so struktura, tekstura, transparentnost, refleksija ipd. Ko definiramo materiale za vse objekte v modelu, postavimo sceno, ki je sestavljena iz različnih tipov luči, ozadja ter izberemo poglede, ki jih želimo senčiti. Pri tem ni praktično nobene omejitve, saj je možno izbrati vsak pogled, od globalnega pogleda na objekt do prikaza detajlov. S preprosto zamenjavo elementov konstrukcije, kot so različni stebri, različni razponi, tipi nosilne konstrukcije ipd., pa se lahko naredi primerjava različnih variant konstrukcije.

Če imamo na razpolago fotografijo okolja, v katerem se bo objekt nahajal, jo lahko uporabimo za ozadje senčenega modela in nato z retuširanjem izdelamo fotomontažo, ki na najbolj nazoren način prikaže bodoči objekt v okolju.

## SKLEP

Računalniško modeliranje ne more nadomestiti prvih prostoročnih skic ob porajanju in obdelavi ideje, prav tako ne more nadomestiti dotika in otipa materiala na maketi ter njenega tridimenzionalnega zaznavanja.

V marsičem pa računalniško modeliranje naštetih metode prekaša, to pa je predvsem hitrost in cena prikaza, pa tudi popolna realnost in nepristranskost prikaza, ki ni odvisna od umetniške fantazije pri skicah in modelarske spretnosti pri maketah.

Ena od prednosti računalniške simulacije, ki ni zanemarljiva, je tudi enostaven prenos in prikaz digitalne slike z disketami na druge računalnike ter prikaz na svetovni internet mreži. Zato čaka ta način računalniške grafike najhitrejši razvoj (navidezna realnost) in množično uporabo v prihodnosti.

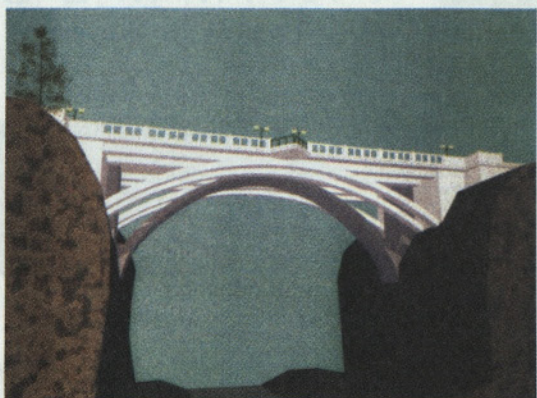


Slika 2: Računalniška simulacija - nadvoz 4-3 na AC Divača-Kozina



Slika 3: Fotomontaža - viadukt Lešnica na obvoznici Ormož

Primerjava računalniške simulacija in nekaterih izvedenih objektov, ki so bili projektirani v Inženirskem biroju PONTING d.o.o. Maribor.



Slika 4: Most prek Kokre v Kranju

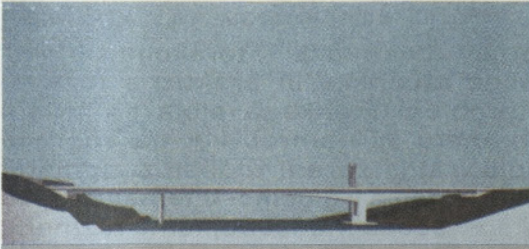


Slika 5: Viadukt Bandera na AC Razdrto - Čebulovica

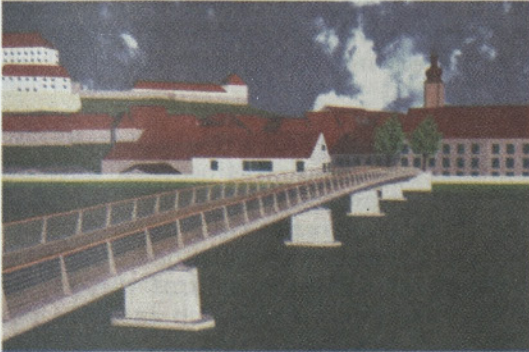
D. ROŽIČ, V. MARKELJ, M. PIPENBAHER: Računalniška simulacija kot pomoč pri projektiranju



Slika 6: Viadukta na razcepu AC v Malencah



Slika 7: Koroški most v Mariboru



Slika 8: Most za pešce preko Drave v Ptuj

# DINAMIČNA INTERAKCIJA OBJEKT - TLA: PROBLEM MEHKEGA SLOJA NA TRDEM POLPROSTORU

## DYNAMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTION: THE PROBLEM OF A SOFT LAYER ON A RIGID HALFSPACE

UDK 624.131.5

MIROSLAV PREMROV

### POVZETEK

Pri obravnavi problemov dinamične interakcije objekt-tla naletimo na številne računske in praktične težave. Eden izmed njih je problem mehkega sloja na trdem polprostoru. V tem primeru se namreč večina energije zadrži v zgornjem sloju, saj je zaradi togosti spodnjega sloja onemogočeno njeno širjenje v globino. V tem prispevku je posebna pozornost posvečena medsebojnemu razmerju v togosti zgornjega sloja in spodnjega polprostora, kakor tudi vplivu debeline zgornjega sloja na širjenje energije. Podrobno je obdelan primer ko je širjenje energije v horizontalni smeri večje od tistega v vertikalni. Poimenovali smo ga "kritično področje" in je lahko pri potresih, zlasti tistih z daljšim vzburjanjem, zelo nevarno. V prispevku so podani tudi nekateri praktični nasveti pri izračunih omenjenega problema, kakor tudi nekateri nasveti glede temeljenja.

### SUMMARY

In treatment of dynamic structure-soil interaction problems many numerical and practical difficulties can be found. One of their is the problem of a soft layer on a rigid halfspace. In this case a greater part of energy is retained in the upper layer. Her propagation in a deepness is prevented because of the stiffness of the lower halfspace. In this paper a special attention is devoted to a reciprocal relation in the stiffness between the upper layer and the lower halfspace. A problem of a thickness of the upper layer to the energy propagation also is discussed. In detail is treated a case when the energy propagation in a horizontal is greater as in a vertical direction. This "critical domain" can be by earthquakes very dangerous, special by these with longer excitation. In this paper also some practical suggestions for calculating and foundation are presented.

Avtor:

asist. dr. Miroslav PREMROV, dipl.inž.gr., Fakulteta za gradbeništvo Maribor, Smetanova 17, 2000 Maribor



## 1.0. UVOD

V večini dinamičnih izvajanj v gradbeništvu se predpostavlja, da je konstrukcija togo vpeta v temeljna tla in se obravnava neodvisno od tal. Ta predpostavka ustreza primeru, ko je konstrukcija temeljena na togih tleh. Dejanske razmere so pogosto drugačne, saj nad skalo leže plasti mehkejših zemljin. V takem primeru predstavlja zemljina in konstrukcija celovit sistem, saj dinamično obnašanje zemljine vpliva na obnašanje konstrukcije in obratno. Opisan problem je priporočljivo upoštevati pri dinamični (potresni) analizi zahtevnejših objektov. Sistem je najugodnejše reševati z metodo podkonstrukcij, pri čemer zemljina predstavlja prvo podkonstrukcijo, objekt pa drugo. Pri potresni analizi tako obnašanje objekta z matematičnim modelom zapišemo kot:

$$\begin{bmatrix} [S_{ss}] & [S_{sb}] \\ [S_{bs}] & [S_{bb}] \end{bmatrix} + [X_{bb}] \begin{Bmatrix} \{f_s\} \\ \{f_b\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{f_s\} \\ \{f_b\} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

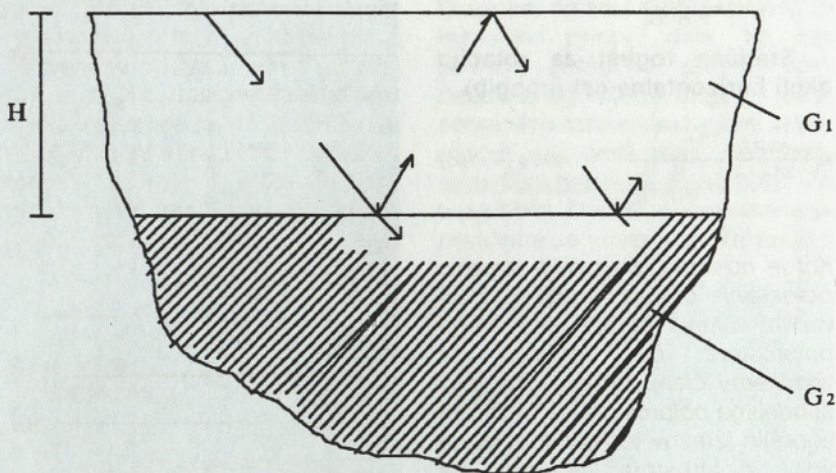
kjer pomeni indeks s prostostne stopnje, ki niso v stiku z zemljino. Vektor  $u_b'$  predstavlja predpisane pomike proste površine tal, matrika  $X_{bb}$  pa dinamično matriko proste površine temeljnih tal. Le-ta predstavlja računsko v enačbi (1) tudi največji problem, saj je zemljina običajno homogen ali slojevit polprostor in jo zato z dovolj gosto mrežo končnih elementov težko dovolj dobro opišemo, ne da bi pri tem kršili t.i. pogoj polprostora oz. **radiacijskega dušenja**. Ta zahteva, da obstajajo v dovolj veliki oddaljenosti od temelja še samo valovi, ki se od temelja oddaljujejo, torej *ne eksistirajo nobeni povratni valovi*. Zagotovitev pogoja polprostora tako **predstavlja dominantno karakteristiko vsakega dobrega modela temeljnih tal**.

V tem prispevku bomo obdelali problem slojevitega polprostora. Celotno valovanje v prostoru je generirano kot skupek primarnih (P) ter sekundarnih (SV in SH) valov. Razmerje refleksijskih (odbitih) in

transmisijskih (prenesenih) valov na stiku med dvema slojema je odvisno od razmerja togosti obeh slojev. Če je to razmerje veliko, potem se bo skoraj ves vpadni val odbil. To pa pomeni, da se bo v primeru mehkega sloja na relativno

## 2.0. VPLIV ZGORNJEGA SLOJA NA STATIČNO TOGOST ZEMLJINE

V tem poglavju želimo prikazati, kako na statično togost toge temelja na slojevitem polprostoru



Slika 1: Mehek sloj na togem polprostoru

trdi podlagi skoraj vso valovanje "ujelo" v zgornjem mehkem sloju (slika 1).

Najbolj tragičen primer zgornjega problema sta potresa v Mexico Cityu v letih 1964 in 1986. Iz akcelograma potresa z dne 6. julija leta 1964 je razvidno, da je potresni sunek trajal kar približno 120 sekund. Vzrok je predvsem v dejstvu, da mesto leži na relativno mehkem sloju, ki pa je površ je relativno tanek.

V tem prispevku bomo obravnavali predvsem dva problema slojevitega polprostora:

- Vpliv togosti in debeline zgornjega sloja na statično togost zemljine.
- Vpliv togosti in debeline zgornjega sloja na dinamično togost zemljine.

(sloj na polprostoru) vplivata razmerje med togostma sloja in spodnjega polprostora ter kot drugi faktor tudi debelina zgornjega sloja. Pri tem zlasti želimo prikazati, kako z večanjem debeline zgornjega sloja vpliv spodnjega polprostora relativno hitro upada. Prikazali bomo vse prostostne stopnje (dve translaciji in dve rotaciji) na primeru kvadratnega temelja dimenzij  $2a/2a$  in podali določene zaključke.

Opisani problem so obravnavali že številni avtorji. Prve numerične rešitve sta podala **Hadjian in Luco** leta 1977 na primeru okroglega temelja, **Gazetas in Roesset** pa leta 1976 in 1979 na primeru pasovnih temeljev. **Gazetas** je rešitve Hadjiana in Luca še nekoliko razdelal in dodal in podal v (1) leta 1983 precej enostavne, vendar splošno priznane in veljavne izraze na primeru okroglega temelja z radijem R. Izrazi so z ustrezno transformacijo uporabni tudi za poljubne oblike temeljev.

M. PREMROV: Dinamična interakcija objekt-tla

• Vertikalna statična togost

$$K_v = \frac{4G_1 R_0}{1 - \nu_1} \cdot \frac{1 + 1.28 \frac{R_0}{H}}{1 + 1.28 \frac{R_0}{H} \frac{G_1}{G_2}}; \quad 1 \leq \frac{H}{R_0} < 5 \quad (2a)$$

• Horizontalna statična togost

$$K_h = \frac{8G_1 R_0}{2 - \nu_1} \cdot \frac{1 + \frac{1}{2} \frac{R_0}{H}}{1 + \frac{1}{2} \frac{R_0}{H} \frac{G_1}{G_2}}; \quad 1 \leq \frac{H}{R_0} < 4 \quad (2b)$$

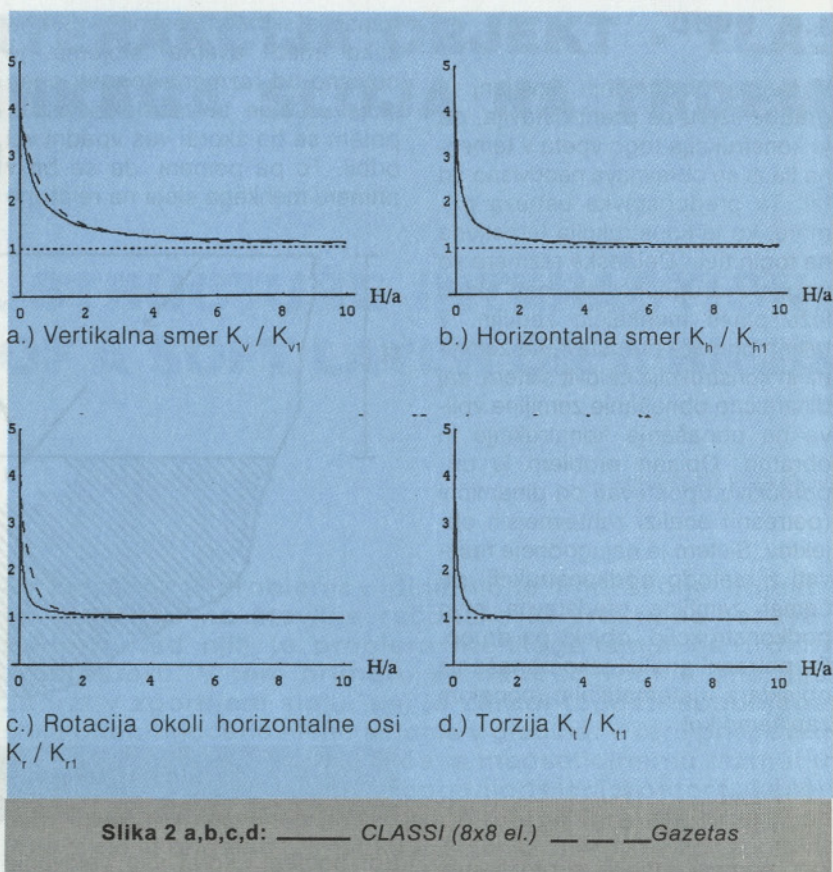
• Statična togost za rotacijo okoli horizontalne osi (upogib)

$$K_r = \frac{8G_1 R_1^3}{3(1 - \nu_1)} \cdot \frac{1 + \frac{1}{6} \frac{R_1}{H}}{1 + \frac{1}{6} \frac{R_1}{H} \frac{G_1}{G_2}}; \quad 0.75 \leq \frac{H}{R_1} < 2(3)$$

Kot je razvidno iz zgornjih izrazov, predstavlja togost zgornjega sloja vodilni člen, togost slojevitega polprostora pa dobimo, če vodilnemu členu dodamo še vpliv spodnjega polprostora. Iz vseh treh zgornjih izrazov je razvidno, da je vpliv polprostora odvisen od debeline zgornjega sloja (H) in od razmerja obeh strižnih modulov ( $G_1/G_2$ ). Vsi zgornji izrazi imajo tudi dve limiti (ekstremna primera). Prvi je razmerje  $G_1/G_2=1$  (homogen prostor), drugi pa  $G_1/G_2=0$  (sloj na trdi podlagi)

Zgornje izraze bomo primerjali z izračunom s programom CLASSI, ki izračunava statično in dinamično togost zemljine s t.i. indirektno metodo robnih elementov in pogoj radiacijskega dušenja upošteva povsem analitično. Za zemljino bomo privzeli  $\nu=0.4$ . Izbrali smo primer, ko je togost zgornjega sloja ( $K_1$ ) 4-krat manjša od togosti spodnjega polprostora ( $K_2$ ).

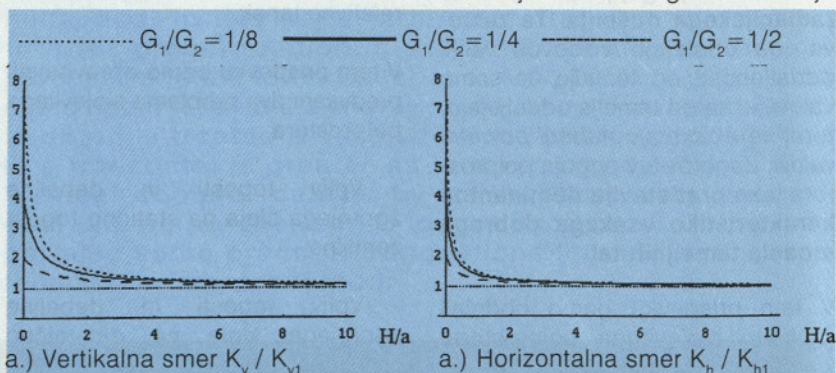
Kot vidimo (slika 2a,b,c,d), se rezultati z izrazi, ki jih je podal Gazetas, zelo dobro ujemajo. Vpliv spodnjega sloja je zlasti velik pri majhnih debelinah zgornjega sloja, kasneje pa relativno hitro upada. Pri torziji je za razmerje  $H/a > 0.75$  vpliv spodnjega sloja praktično nepomemben. Ta je nekoliko bolj opazen pri rotaciji okoli horizontalne osi, medtem ko sta obe translaciji tudi pri večjih razmerjih  $H/a$  bolj odvisni od spodnjega sloja. Če ju



Slika 2 a,b,c,d: — CLASSI (8x8 el.) — — — Gazetas

medsebojno primerjamo, je ta vpliv bolj opazen za vertikalno kakor pa za horizontalno smer. Vsekakor pa je vpliv spodnjega sloja tem večji, čim večje je razmerje v togosti med slojema. Za ta namen podajamo primerjave tega vpliva za tri različna razmerja togosti. Podajamo samo obe translaciji, saj smo že prej ugotovili, da je vpliv spodnjega

sloja na obe rotaciji mnogo manjši. Iz obeh grafov (slika 3a,b) je lepo razvidno, da je vpliv spodnjega sloja zlasti velik pri majhnih debelinah zgornjega sloja, nato pa kar hitro upada. Seveda je vpliv tem večji, čim večje je razmerje med togostma obeh slojev. Vpliv je večji za vertikalno kakor za horizontalno smer. Vidimo tudi, da ne glede na razmerje obeh togosti funkcije



Slika 3 a,b: Vpliv medsebojnega razmerja v togosti na statično togost temeljnih tal

(statične togosti) relativno hitro konvergirajo k vrednosti za polprostor ( $K_p$ ). Tako za **vertikalno smer** lahko trdimo, da se vpliv spodnjega sloja povsem izgubi za razmerje približno  $H/a > 6$ , za **horizontalno smer** pa za razmerje približno  $H/a > 4$ . V obeh primerih lahko **potem o statični togosti slojevitega polprostora govorimo kot o statični togosti homogenega polprostora s karakteristikami zgornjega sloja**.

### 3.0. VPLIV ZGORNJEGA SLOJA NA DINAMIČNO TOGOST ZEMLJINE

S prikazom vpliva debeline zgornjega sloja in medsebojnega razmerja togosti, slojev na statično togost v prejšnjem poglavju še seveda nismo zadovoljili naših hotenj po prikazu omenjenih vplivov na dinamično togost slojevitega polprostora. Dinamično togost zemljine lahko v frekvenčni domeni zapišemo kot:

$$S(a_0) = K \left[ K(a_0) + i a_0 c(a_0) \right] \quad (4)$$

Kot vidimo, predstavlja statična togost ( $K$ ) le vodilni koeficient izraza za dinamično togost in torej s prikazom vpliva na statično togost še nismo povsem zadovoljivo prikazali tudi vpliva na dinamično togost. Prikazati bi morali še vpliv na dinamični koeficient ( $k$ ) in koeficient dušenja ( $c$ ), ki sta oba frekvenčno odvisna. Kot smo že omenili, predstavlja v primeru polprostora problem predvsem radiacijsko dušenje, ki fizikalno predstavlja odvajanje energije iz sistema. Če sedaj zgornje trditve apliciramo na problem slojevitega polprostora, ki ga obravnavamo v tem poglavju, bomo želeli prikazati, kaj se dogaja z radiacijskim dušenjem v obeh smereh (vertikalni in horizontalni) glede na medsebojno razmerje v togosti slojev, pri tem pa bomo podobno kot za statično togost prikazali tudi vpliv debeline zgornjega sloja. Iz vsega naštetega torej izhaja naš interes

po prikazu koeficienta dušenja ( $c$ ), po potrebi pa bi lahko naredili podoben prikaz tudi za koeficient  $k$ .

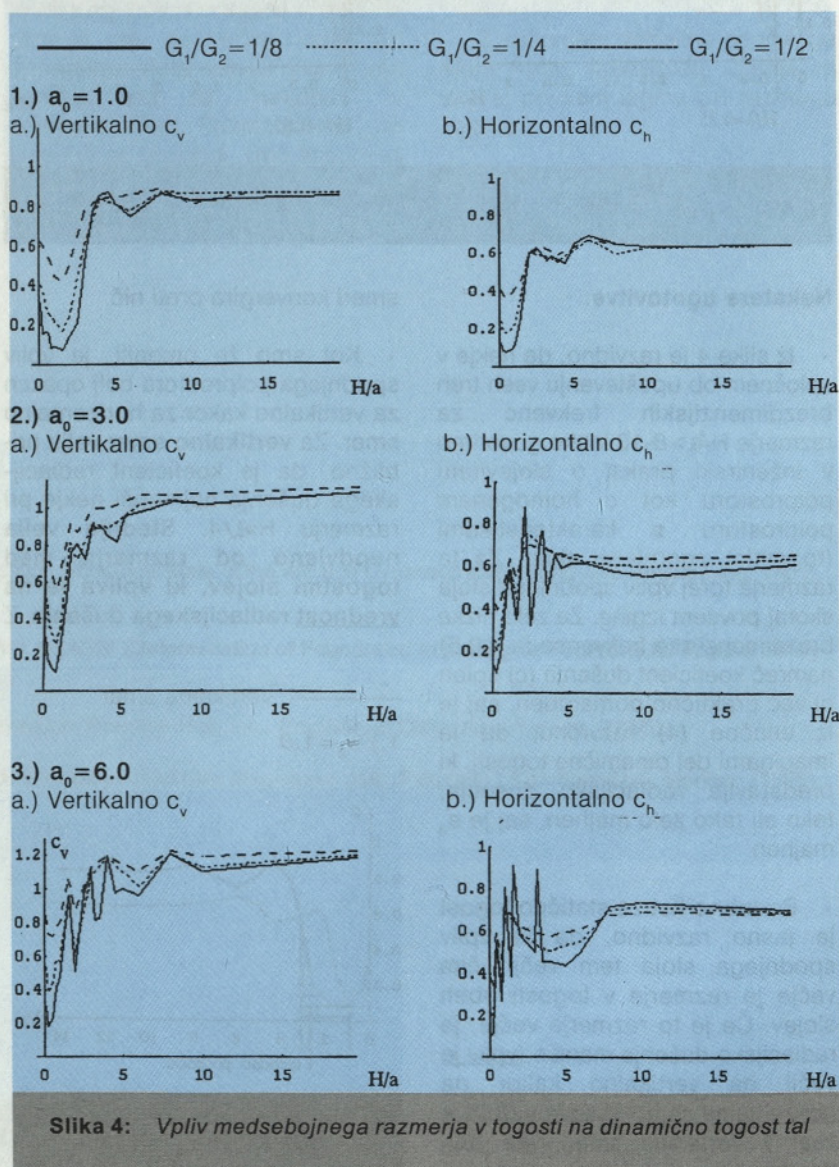
Podobno kot statično togost obravnavamo togi kvadratni temelj dimenzij  $2a/2a$  na slojevitem polprostoru z debelino zgornjega sloja  $H$  in Poissonovim koeficientom 0.4. Ker je koeficient  $c$  frekvenčno odvisen, bomo naredili prikaz za tri različne brezdimenzijske frekvence ( $a_0 = 1.0$ ,  $a_0 = 3.0$  in  $a_0 = 6.0$ ) in za tri različna razmerja v togosti zgornjega sloja in polprostora. Pri tem bomo spreminjali togost spodnjega sloja, zgornjega

pa ne. Za brezdimenzijski koeficient

$$\left( a_0 = \frac{\omega \cdot a}{c_T} \right)$$

namreč velja, da je vezan na karakteristike zgornjega sloja.

Diagrami na sliki 4 so pripravni za inženirski princip dela, ko nas povsem praktično zanima vpliv debeline zgornjega sloja in medsebojnega razmerja v togosti slojev glede na (večinoma poznano) dimenzijo temeljne plošče ( $a$ ). Za teoretično študijo obravnavanega problema pa lahko z upoštevanjem



Slika 4: Vpliv medsebojnega razmerja v togosti na dinamično togost tal

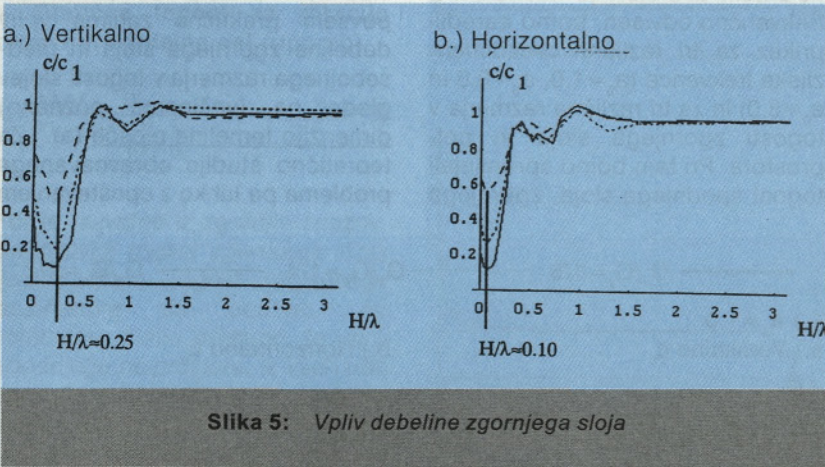
M. PREMROV: Dinamična interakcija objekt-tla

izraza  $\frac{H}{\lambda} = \frac{H}{a} \cdot \frac{a_0}{2\pi}$ ; ( $\lambda = c_T / f$ )

dobimo za vertikalno in horizontalno smer splošne diagrame, pri katerih bodo razmerja koeficientov dušenja  $c/c_1$ , odvisna od razmerja  $H/1$ . Tako odpade odvisnost glede na dimenzijo temelja.

Razlaga je povsem logična, saj večje, kot je razmerje v togosti obeh slojev, večji je delež refleksijskih in manjši delež transmisijskih valov. V limitnem primeru ( $G_1/G_2 \gg 0$ ) se seveda skoraj vsi valovi odbijejo (ni transmisije v spodnji polprostor), zato tudi radiacijsko dušenje v vertikalni

večanjem debeline zgornjega sloja pa se radiacijsko dušenje v vertikalni smeri povečuje in nekje pri razmerju  $H/1 \gg 2$  vpliv spodnjega sloja praktično izgine. **Za horizontalno smer** podobno velja, da je koeficient radiacijskega dušenja najmanjši nekje pri  $H \gg 1/10$  in je prav tako neodvisen od razmerja med togostmi slojev. Iz vsega naštetega je seveda razvidno, da v praksi nastopijo torej predvsem težave v horizontalni smeri (ker sloji ponavadi niso zelo tanki), saj lahko postane **radiacijsko dušenje v horizontalni smeri večje kakor pa v vertikalni**. Za ta namen si pogledjmo primerjavo za razmerje  $G_1/G_2 = 1/8$ .



Slika 5: Vpliv debeline zgornjega sloja

Nekatere ugotovitve:

- Iz slike 4 je razvidno, da nekje v splošnem ob upoštevanju vseh treh brezdimenzijskih frekvenc za razmerje  $H/a > 8-10$  lahko govorimo v inženirski praksi o slojevitem polprostoru kot o homogenem polprostoru s karakteristikami (togostjo) zgornjega sloja. Za ta razmerja torej vpliv spodnjega sloja skoraj povsem izgine. Za zelo nizke brezdimenzijske frekvence ( $a_0 < 0.5$ ) namreč koeficient dušenja ( $c$ ) sploh ni več praktično pomemben, saj je iz enačbe (4) razvidno, da je imaginarni del dinamične togosti, ki predstavlja radiacijsko dušenje, tako ali tako zelo majhen, saj je  $a_0$  majhen.

- Podobno kot za statično togost je jasno razvidno, da je vpliv spodnjega sloja tem večji, čim večje je razmerje v togosti obeh slojev. Če je to razmerje večje, je radiacijsko dušenje manjše (vpliv je večji na vertikalno kakor na horizontalno smer) in sistem dobiva vsaj v vertikalni smeri vse bolj karakteristike končnega sistema.

smeri konvergira proti nič.

- Kot smo že omenili, je vpliv spodnjega polprostora bolj opazen za vertikalno kakor za horizontalno smer. Za **vertikalno smer** velja približno, da je koeficient radiacijskega dušenja najmanjši nekje pri razmerju  $H \gg 1/4$ . **Slednje velja neodvisno od razmerja med togostmi slojev, ki vpliva le na vrednost radiacijskega dušenja.** Z

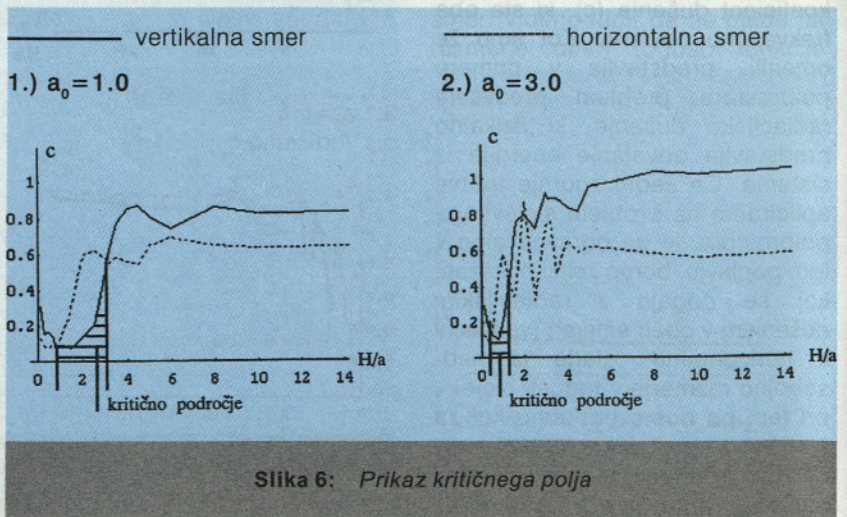
Iz diagramov na sliki 6 je lepo razvidno področje, v katerem je radiacijsko dušenje v horizontalni smeri večje kakor v vertikalni smeri. Ob upoštevanju zveze

$$a_0 = \frac{2\pi a}{\lambda}$$

velja to nekje približno za področje  $1/7 < H < 0.51$ . To je torej že prej omenjeno **kritično področje**, ko se večina valov odbije in se energija valovanja ujame v zgornjem sloju.

4.0. SKLEP

- Prikazali smo, da je vpliv slojevitosti v splošnem precej večji



Slika 6: Prikaz kritičnega polja

v vertikalni kakor v horizontalni smeri. Tako za statično togost velja, da vpliv spodnjega sloja skoraj povsem izgine v vertikalni smeri nekje pri razmerju  $H/a > 6$ , v horizontalni smeri pa nekje pri  $H/a > 4$ . V področju  $H/a < 6$  (vertikalna smer) oz.  $H/a < 4$  (horizontalna smer) velja, da je vpliv spodnjega sloja (polprostora) tem večji, čim večje je razmerje v togosti med slojema. Mnogo manjši je vpliv slojevitosti na obe rotaciji. Tako za torzijo vpliv slojevitosti skoraj povsem izgine že pri razmerju  $H/a > 0.75$ .

• Vpliv slojevitosti pa je še pomembnejši na dinamično togost, in sicer še prav posebno na t.i. radiacijsko dušenje. Koeficient radiacijskega dušenja v vertikalni smeri doseže tako minimalno vrednost neodvisno od razmerja

med togostma slojev nekje pri razmerju  $H/1 \gg 1/4$ , v horizontalni smeri pa pri  $H/1 \gg 1/10$ . Od razmerja med togostma obeh slojev je odvisna le vrednost koeficienta radiacijskega dušenja, ki je v slučaju mehkega sloja na zelo trdem polprostoru skoraj nič. Iz vrednosti koeficienta radiacijskega dušenja pri  $H/1 \gg 0.25$  lahko torej sklepamo o medsebojnem razmerju med togostima slojev.

• Če je razmerje med slojema dovolj veliko, **postane radiacijsko dušenje v horizontalni smeri večje kakor v vertikalni smeri**. Za to obstaja povsem logična fizikalna razlaga, saj se večina valov od spodnjega sloja odbije, skoraj vsa energija pa se "nakopiči" v zgornjem sloju. Razmerje  $H/1$ , pri katerem se to zgodi, smo imenovali

**kritično področje**. Razlika v medsebojnem razmerju obeh dušenj je tem večja, čim večje je razmerje v togosti med obema slojema. Prikazali smo, da je to t.i. kritično področje približno za razmerje  $1/7 < H < 0.5 \cdot 1$ . V primeru zelo mehkega sloja na zelo togi podlagi ( $G1/G2 \gg 0$ ) je to področje, ko radiacijskega dušenja praktično ni, v horizontalni smeri pa seveda obstaja, saj se je vsa energija nakopičila v zgornjem sloju. Tako je sistem v vertikalni smeri pravzaprav dobil lastnosti končnega sistema, saj je dinamična togost praktično realna vrednost.

• Z večanjem debeline zgornjega sloja vpliv slojevitosti izginja in skoraj povsem izgine pri razmerju  $H/1 > 2$ .

## LITERATURA

- (1) Gazetas G.: Analysis of machine foundation vibrations: state of the art: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 2, No. 1, (1983).
- (2) Siemens Power Generation Group KWU. CLASSI (Determination of Foundation Impedance Functions for Rigid arbitrary Shaped Foundations); Offenbach, (1991).
- (3) Wolf J.P.: Dynamic Soil-Structure Interaction; Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, (1985).
- (4) Premrov M.: Izbrani problemi dinamične interakcije objekt-tla; Magistrsko delo; Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, (1996).

S. LAPAJNE: Upogibni momenti v neskončno široki plošči

# UPOGIBNI MOMENTI V NESKONČNO ŠIROKI PLOŠČI ZARADI POSAMEZNE KONCENTRIRANE OBTEŽBE

## BENDING MOMENTS IN AN ENDLESS WIDE PLATE DUE TO THE INDIVIDUAL CONCENTRATION LOAD

UDK 624.042

SVETKO LAPAJNE

### POVZETEK

Avtor podaja rezultate svojega študija upogibnih momentov obeh pravokotnih smeri v ojačenobetonskih ploščah obteženih s koncentriranimi obtežbami. Študij temelji na principu nosilca na elastični podlagi, ki jo tvorijo pasovi plošče. Ugodni vpliv torzijskih momentov, ki niso kriti s posebnim armiranjem, je opuščen.

L ... razpon plošče

$\mathcal{L}$  ... karakteristična dolžina

J ... vztrajnostni moment nosilca vzdolžne smeri (J = nadomestna širina plošče krat enotni J plošče)

$\delta$  ... povesek pasu plošče pod vplivom enotne sile

x ... razmerje  $x/\mathcal{L}$  pri čemer se meri x od prijemališča sile

### SUMMARY

The author presents the results of his study of bending moments in both perpendicular directions of reinforced concrete plates charged by concentrated loads. The study is based on the principle of a girder on elastical base, formed by plate-strips. The favorable influence of torsional moments, which are covered by any special reinforcing is neglected.

Avtor:

inž. Svetko LAPAJNE, univ. prof. v pokoju, Bogišičeva ul. 1, 1000 Ljubljana

Klasični način zahteva razstavitev obtežbe v zaporedje Fourierovih členov in daje rezultat z vsoto upogibnih momentov teh členskih obremenitev. Za prakso lahko enostavne in priročne formule dobimo po švicarskem predpisu iz l. 1935. Avtor članka pa se je lotil problema v smislu svojega članka v Gradbenem Vestniku l. 1984 z naslovom: "Nosilec na elastični podlagi". Te teorije nam na fakul-

tetnem študiju v letih 1930 in 1935 nista predavala niti prof. dr. inž. Alojz Král pri predmetu Tehniška mehanika niti znameniti mojster ojačanega betona dr. inž. Miroslav Kasal. Pač pa nam je to teorijo podal naš izredni profesor inž. Ciril Žnidaršič pri predmetu Vodne zgradbe, in to v sklopu predavanj o fundiranju zgradb (temeljenje zgradb).

Ploščo sem obravnaval kot zaporedje vzporednih ozkih pasov v smeri razpona v dveh variantah: prosto položenih pasov in v varianti obojestransko polnovpetih pasov. Navedeni pasovi tvorijo elastično podlago za "nosilec na elastični podlagi" v smeri neskončne širine. Računsko širino nosilca na elastični podlagi, označeno z B, sem določil iz pogoja, da tvori površina te širine, pomnožena z

višino enako ploskev, kot jo zajema deformacijska linija glavnega pasu plošče. Za raznos koncentrirane obtežbe je odločilna dvojna karakteristična dolžina "L". To karakteristično dolžino pa izračunamo po teoriji nosilca na elastični podlagi s formulo

$$L = \sqrt[4]{4 \cdot E \cdot J \cdot \delta}$$

Rezultat je ta, da je upogibni moment na enoto širine plošče, izražen v kg ali kN, premo-sorazmeren obtežbi P, a neodvisen od razpona. Koeficient pa je odvisen od vrste obtežbe (posamezna sila, dve sili v določenem razmiku, enakomerna obtežba) in od ležiščnih pogojev (prosto položena plošča, vpeta plošča). Za

ploščo podprto na dveh zidovih ali nosilcih, izvršen račun za 5 različnih obtežb in dve vpetostni varianti: tečajna ležišča in obojestransko polno vpetost. Za konzolno ploščo konstantne debeline so izračunane tri vpetostne variante konstantne debeline in vse tudi za konzolno ploščo s tanjšanjem debeline proti zunanemu robu na dvotretjinsko debelino. Razume se, da je za vse vmesne primere možno v preglednici predložene rezultate interpolirati.

Če imamo opravka še z dodatnimi obtežbami po vzdolžni smeri, to pomeni smeri razdelilnega nosilca, moramo obtežbe kombinirati v najneugodnejši vpliv. Prenos glavnih momentov razpanske smeri

se ravna po zakonu:

$$\sqrt{2} e^{-\xi} \sin\left(\xi + \frac{\pi}{4}\right)$$

vpliv razdelilnih momentov pa po zakonu za dušeno nihanje:

$$\sqrt{2} e^{-\xi} \cos\left(\xi + \frac{\pi}{4}\right)$$

Pri tem predstavlja  $x$  razmerje oddaljenosti nastopajoče sile do opazovanega prereza, proti karakteristični dolžini "L". Zato vsebujejo tabele tudi iznos "L".

Če računamo plošče po strogi teoriji, dobimo bistveno manjše upogibne momente zaradi ugodnega vpliva zvojnih momentov  $m_{xy}$  (skoraj pol manjše). Pri ploščah iz

Vrsta obtežbe in ležiščni pogoji		Širina razdelilnega nosilca B	Karakteristična dolžina L	Upogibni momenti		
				v smeri razpona		razdelilni $+m_{max}$
				$+m_{max}$	$-m_{max}$	
1 sila P v sredini	prostopoloženo	0,625 L	0,478 L	0,262 P	0	0,191 P
	polno vpeto	0,500 L	0,320 L	0,196 P	0,196 P	0,160 P
2 sili P v razstoku 0.2 L v sredini	prostopoloženo	0,631 L	0,561 L	0,356 P	0	0,445 P
	polno vpeto	0,514 L	0,372 L	0,215 P	0,322 P	0,361 P
2 sili P v razstoku 0,3 L v sredini	prostopoloženo	0,636 L	0,552 L	0,317 P	0	0,434 P
	polno vpeto	0,528 L	0,363 L	0,169 P	0,314 P	0,343 P
2 sili P v razstoku 0.4 L v sredini	prostopoloženo	0,642 L	0,540 L	0,278 P	0	0,420 P
	polno vpeto	0,544 L	0,348 L	0,129 P	0,302 P	0,320 P
Enakomerna obtežba qL	prostopoloženo	0,640 L	0,427 L	0,146 qL	0	0,167 qL
	polno vpeto	0,533 L	0,273 L	0,076 qL	0,153 qL	0,128 qL

Preglednica 1: Plošča, položena na dva vzdolžna zidova na razpon L

## S. LAPAJNE: Upogibni momenti v neskončno široki plošči

ojačanega betona pa bi smeli ta ugodni vpliv upoštevati le v primeru, da bi izračunali in vložili tudi posebno armaturo za kritje zvoja. Taka armatura dveh smeri v odklonu  $45^\circ$ , glede na smeri  $x$  in  $y$

pa praktično ni izvedljiva zaradi premajhne debeline betona in zaradi izvršitvenih komplikacij.

Preglednica lahko pride prav tako pri originalnem računanju ojačeno-

betonskih zelo širokih mostnih plošč kot pri preverjanju rezultatov, dobljenih na druge načine.

Obtežba: 1 sila v robu konzole		Širina razdelilnega nosilca $B$	Karakteristična dolžina $z$	Upogibni momenti	
Vpetost, določena s sosednim poljem razpona $n \times L$ s polnovpetim kr.	Konzola, enako debela ali po ševno posneta na $2/3$ debeline			v smeri razpona $-m_{\max}$	razdelilni v robu $+m_{\max}$
Polna vpetost	enaka debelina	0,375 $L$	0,774 $L$	-0,646 $P$	0,516 $P$
	reducirana $2/3$	0,375 $L$	0,571 $L$	-0,875 $P$	0,381 $P$
Vpetost v sosednjem polju razpona $2 L$ , vpeto ali $1,5 L$ tečaj	enaka debelina	0,450 $L$	1,023 $L$	-0,489 $P$	0,568 $P$
	reducirana $2/3$	0,450 $L$	0,755 $L$	-0,663 $P$	0,419 $P$
Vpetost v sosednjem polju razpona $8 L$ , vpeto ali $6 L$ tečaj	enaka debelina	0,482 $L$	1,352 $L$	-0,370 $P$	0,701 $P$
	reducirana $2/3$	0,482 $L$	0,998 $L$	-0,501 $P$	0,517 $P$

Preglednica 2: Konzolna plošča razpona  $L$ , položena na zid in vpeta

## LITERATURA

- Lapajne: NOSILEC NA ELASTIČNI PODLAGI, Gradbeni Vestnik 1984, št.1 -2, stran 13-18.



# Iz poročila o delu FGG v letu 1997: ORGANIZACIJA UPRAVLJANJA IN KADROVSKA STRUKTURA

## 1. ORGANIZACIJA UPRAVLJANJA

### 1.1 SPLOŠNO

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (v nadaljevanju FGG) v okviru Univerze v Ljubljani opravlja izobraževalno, raziskovalno in strokovno delo na področju gradbeništva in geodezije. Osnovni dejavnosti sta izobraževanje in raziskovanje.

Izobraževalno in raziskovalno dejavnost v glavnem financira Republika Slovenija. Izobraževalno, raziskovalno in strokovno delo je razdeljeno na osem področij :

- geodezija,
- komunalno gospodarstvo in prostorsko planiranje,
- materiali in konstrukcije,
- operativno gradbeništvo,
- promet in prometne gradnje,
- hidrotehnika,
- gradbena informatika in
- osnovni predmeti,

uresničuje pa se v osemnajstih pedagoško raziskovalnih enotah (PRE).

Oddelek za gradbeništvo ima naslednje PRE:

- Katedra za splošno hidrotehniko,
- Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem,
- Inštitut za zdravstveno hidrotehniko,
- Katedra za mehaniko,
- Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo,
- Katedra za masivne in lesene konstrukcije,
- Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente,
- Katedra za metalne konstrukcije,
- Katedra za mehaniko tal z laboratorijem,
- Prometno-tehniški inštitut,
- Inštitut za komunalno gospodarstvo,
- Katedra za operativno gradbeništvo,
- Katedra za osnovne predmete,
- Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij.

Oddelek za geodezijo ima naslednje PRE:

- Katedra za nižjo geodezijo,
- Katedra za matematično geodezijo in geoinformatiko,
- Katedra za fotogrametrijo, kartografijo in fotointerpretacijo in
- Katedra za prostorsko planiranje

Znotraj oddelka za gradbeništvo deluje še Konstrukcijsko-prometni laboratorij.

Iz poročila o delu FGG v letu 1997

## 1.2 DEKAN IN PRODEKANI FGG

prof. dr. Miran Saje, dekan (do 30.9.1997)

prof. dr. Jurij Banovec, dekan (od 1. 10. 1997)

prof. dr. Bojan Majes, prodekan za študijske zadeve

doc. dr. Anton Prosen, prodekan za raziskovalno dejavnost (do 30.9.1998)

prof. dr. Andrej Pogačnik, prodekan za raziskovalno dejavnost (od 1.10.1997) doc. dr.

Janez Reflak, prodekan za gospodarske zadeve

prof. dr. Hinko Šolinc, prodekan za študentske zadeve (do 30.9.1997)

doc. dr. Božo Koler, prodekan za študentske zadeve (od 1.10.1997)

## 1.3 SENAT FAKULTETE

Senat je najvišji strokovni organ FGG. Sestavljajo ga redni profesorji FGG, ki so v delovnem razmerju s polnim delovnim časom, in izvoljeni predstavniki tistih pedagoško-raziskovalnih enot, ki nimajo rednih profesorjev. Seje senata sklicuje in vodi dekan fakultete

## 1.4 UPRAVNI ODBOR FAKULTETE

FGG ima upravni odbor, ki odloča o zadevah materialne narave in skrbi za nemoteno poslovanje fakultete v primeru, ko le-ta nastopa v pravnem prometu v svojem imenu in za svoj račun. V skladu s pooblastili odloča upravni odbor tudi v zadevah iz nacionalnega programa visokega šolstva. Upravni odbor vodi dekan fakultete, člani pa so prodekan za študijske zadeve v funkciji predstojnika za gradbeništvo, prodekan za raziskovalno dejavnost, prodekan za gospodarske zadeve, prodekan za študentske zadeve, predstojnik oddelka za geodezijo in tajnik FGG.

## 2. KADROVSKA STRUKTURA

### 2.1 SEZNAM ZAPOSLENIH PO PEDAGOŠKO RAZISKOVALNIH ENOTAH

#### 2.1.1 ODDELEK ZA GRADBENIŠTVO

##### 2.1.1.1 Katedra za splošno hidrotehniko-(KSH)

prof. dr. Mitja Brilly, dipl. inž. gradb., predstojnik

doc. dr. Matjaž Mikoš, dipl. inž. gradb., namestnik predstojnika

mag. Mario Krzyk, dipl. inž. gradb., strokovno-raziskovalni sodelavec

Mojca Šraj, dipl. inž. gradb., strokovna sodelavka

Gregor Petkovšek, dipl. inž. gradb., strokovno-raziskovalni sodelavec (od 1.12.1997)

Mojca Spazzapan, dipl. inž. elektr., raziskovalna sodelavka (od 1.7.1997)

##### 2.1.1.2 Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem (KMTek)

prof. dr. Rudi Rajar, dipl. inž. gradb., predstojnik

doc. dr. Franci Steinman, dipl. inž. gradb., namestnik predstojnika in predstojnik interdisciplinarnega podiplomskega študija hidrotehnike in zaščite voda (do 1.10.1997, od 1.11.1997 dalje 1/3 delovni čas)

doc. dr. Matjaž Četina, dipl. inž. gradb., namestnik predstojnika in predstojnik interdisciplinarnega podiplomskega študija hidrotehnike in zaščite voda (od 1.10.1997)

dr. Andrej Širca, dipl. inž. gradb., strokovni sodelavec (1/3 delovni čas)

izr. prof. dr. Aleš Krainer, dipl. inž. arh., namestnik predstojnika  
 asist. dr. Živa Kristl, dipl. inž. arh.  
 mag. Miha Tomšič, dipl. inž. gradb., asistent raziskovalec  
 Boštjan Furlan, dipl. inž. gradb. mladi raziskovalec  
 Mateja Trobec Lah, dipl. inž. gradb. mlada raziskovalka  
 Rudi Perdan, laborant

#### 2.1.1.8 Katedra za metalne konstrukcije (KMK)

izr. prof. dr. Darko Beg, dipl. inž. gradb., predstojnik  
 prof. dr. Jure Banovec, dipl. inž. gradb., namestnik predstojnika  
 dr. Jože Korelc, dipl. inž. gradb.  
 mag. Aleš Krajnc, dipl. inž. gradb., stažist raziskovalec

#### 2.1.1.9 Katedra za mehaniko tal z laboratorijem (KMTal)

prof. dr. Silvan Vidmar, dipl. inž. gradb., predstojnik (do 30.9.1997)  
 izr. prof. dr. Bojan Majes, dipl. inž. gradb., predstojnik (od 1.10.1997)  
 viš. pred. mag. Ana Marija Gaberc, dipl. inž. gradb., namestnica predstojnika (od 1.10.1997)  
 asist. mag. Janko Logar, dipl. inž. gradb.  
 asist. mag. Boštjan Pulko, dipl. inž. gradb., stažist asistent  
 Mojca Bavdaž, inž. gradb., strokovna sodelavka  
 Alike Kalagasidu, dipl. inž. gradb., strokovna sodelavka  
 Miran Merc, laborant

#### 2.1.1.10 Prometno-tehniški inštitut (PTI)

prof. dr. Tomaž Kastelic, dipl. inž. gradb., predstojnik  
 doc. dr. Alojz Juvanc, dipl. inž. gradb.  
 doc. dr. Marijan Žura, dipl. inž. gradb.  
 doc. dr. Niko Čertanc, dipl. inž. gradb.  
 doc. dr. Tomaž Maher, dipl. inž. gradb.  
 Asist. mag. Peter Lipar, dipl. inž. gradb.  
 mag. Dušan Fajfar, dipl. inž. mat., strokovni sodelavec  
 mag. Bojan Strah, dipl. inž. gradb., strokovni sodelavec  
 Robert Rijavec, dipl. inž. gradb., stažist raziskovalec  
 prof. dr. Bogdan Zgonc, dipl. inž. gradb. (1/3 delovni čas)  
 prof. dr. Janez Žmavc, dipl. inž. gradb. (1/3 delovni čas)  
 Jurij Velkavrh, sodelavec (od 1.11.1997)

#### 2.1.1.11 Inštitut za komunalno gospodarstvo (IKG)

prof. dr. Albin Rakar, dipl. geod. kom. inž., predstojnik  
 viš. pred. dr. Maruška Šubic Kovač, dipl. inž. gradb.  
 Zoran Marinkovič, dipl. inž. gradb., stažist (od 1.11.1997)

#### 2.1.1.12 Katedra za operativno gradbeništvo (KOG)

doc. dr. Dušan Zupančič, dipl. inž. gradb., predstojnik  
 mag. Slobodan Bošnjak, dipl. inž. gradb., višji predavatelj

Iz poročila o delu FGG v letu 1997

Petra Nagode, dipl. inž. gradb., asistent  
Aleksander Srđić, dipl. inž. gradb., stažist raziskovalec

### 2.1.1.13 Katedra za osnovne predmete (KOP)

doc. dr. Žiga Turk, dipl. inž. gradb., predstojnik  
izr. prof. dr. Hinko Šolinc, dipl. inž. fiz.  
izr. prof. dr. Jože Peternelj, dipl. inž. fiz.  
doc. dr. Vito Lampret, prof. mat. in fiz.  
doc. dr. Aleš Založnik, dipl. inž. mat.  
asist. dr. Zvonko Jagličič, dipl. inž. fiz.  
pred. Božidar Bučar, prof. telesno kulturne stroke  
viš. pred. mag. Mitja Lakner, dipl. inž. mat.  
asist. mag. Marjeta Škapin - Rugelj, dipl. inž. mat.  
Zdene Breška, prof. fiz. in mat., strokovni sodelavec  
Marjeta Kramar, dipl. inž. mat., stažistka raziskovalka

### 2.1.1.14 Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij

doc. dr. Roko Žarnić, dipl. inž. gradb., predstojnik  
asist. dr. Violeta Bokan Bosiljkov, dipl. inž. gradb., namestnica predstojnika asist. mag.  
Samo Gostič, dipl. inž. gradb., stažist raziskovalec  
asist. mag. Vlatko Bosiljkov, dipl. inž. gradb., stažist raziskovalec  
Bruno Dujič, dipl. inž. gradb., stažist asistent  
Franci Čepon, laborant

## 2.1.2 ODDELEK ZA GEODEZIJO

### 2.1.2.1 Katedra za geodezijo (KG)

dr. Florjan Vodopivec, dipl. inž. geod., predstojnik  
prof. dr. Dušan Kogoj, dipl. inž. geod.  
doc. dr. Božo Koler, dipl. inž. geod.  
doc. dr. Aleš Breznikar, dipl. inž. geod.  
viš. pred. mag. Vesna Ježovnik, dipl. geod. kom. inž.  
asist. mag. Simona Savšek-Sefić, dipl. inž. geod., stažistka raziskovalka  
asist. mag. Marjan Čeh, dipl. inž. geod., stažist raziskovalec  
asist. Darko Trlep, dipl. inž. geod. (1/3 delovni čas)  
asist. Jakob Bitenc, dipl. inž. geod. (1/3 delovni čas)  
dr. Milivoj Vulić, dipl. inž. geod., strokovni sodelavec (od 10.3.97)  
Dušan Petrovič, dipl. inž. elektrotehnike in inž. geod., stažist raziskovalec  
Janez Goršič, inž. geod., laborant  
Milan Pajer, laborant  
Bojan Stegenšek, laborant

### 2.1.2.2 Katedra za fotogrametrijo in kartografijo (KFK)

izr. prof. dr. Branko Rojc, mag. Kartografije, predstojnik  
viš. pred. mag. Dalibor Radovan, dipl. inž. geod. (1/3 delovni čas)  
Dejan Grigillo, inž. geod., laborant

### 2.1.2.3 Katedra za matematično geodezijo in geo-informatiko (KMGG)

doc. dr. Radoš Šumrada, dipl. inž. geod., predstojnik

asist. dr. Miran Ferlan, dipl. inž. geod., namestnik predstojnika  
doc. dr. Bojan Stopar, dipl. inž. geod.  
višji pred. mag. Samo Drobne, dipl. Inž. geod.  
asist. dr. Miran Kuhar, dipl. inž. geod.

#### **2.1.2.4 Katedra za prostorsko planiranje (KPP)**

prof. dr. Andrej Pogačnik, dipl. inž. arh., predstojnik  
doc. dr. Anton Prosen, dipl. geod. kom. inž.  
asist. mag. Alma Zavodnik, dipl. inž. arh. (od 1.10.1997)  
asist. mag. Ilka Čerpes, dipl. inž. arh. (do 31.4.1997)  
stažist - asist. Mojca Foški, dipl. inž. geod. (od 15.12.1996)  
Konstanca Soss, inž. tekst. obl., laborantka

#### **2.1.3 KONSTRUKCIJSKO PROMETNI LABORATORIJ**

doc. dr. Roko Žarnić, dipl. inž. gradb., predstojnik  
doc. dr. Franc Saje, dipl. inž. gradb., predsednik kolegija laboratorija

#### **2.1.4 TAJNIŠTVO FAKULTETE**

Nada Jamnik, dipl. Pravn., tajnica fakultete  
Marija Zemljič, referentka za kadrovske zadeve  
Lidija Košak, tajnica vodstva

#### **2.1.5 KNJIŽNICA**

Dragica Matajdl, dipl. pedagoginja, vodja knjižnice  
Aleksander Ditrich, višji knjižničar  
Barbara Šivec, višja knjižničarka  
Jelka Rovanešek, inž. strojn.

#### **2.1.6 ŠTUDENSKI REFERAT**

Frida Vlaj Kernjak, vodja študentskega referata  
Janja Ribič, referentka za študijske in študentske zadeve (odd. za gradbeništvo) Tanja Jesih, referentka za študijske in študentske zadeve (odd. za geodezijo)

#### **2.1.7 STROKOVNI IN TEHNIČNI SOVELAVCI**

Ivan Dermastja, laborant  
Romana Hudin, dipl. anglistka in nemčistka, strokovna sodelavka na konstrukcijski smeri  
Jože Jeraj, tehnični sodelavec, laborant na hidrotehnični smeri  
Jožica Škerjanc, administrativno tehnična sodelavka na hidrotehnični smeri  
Nada Zuccato, pisarniška referentka na prometni smeri  
Marija Zega Deželak, administrativno tehnična sodelavka na HS in knjižničarka

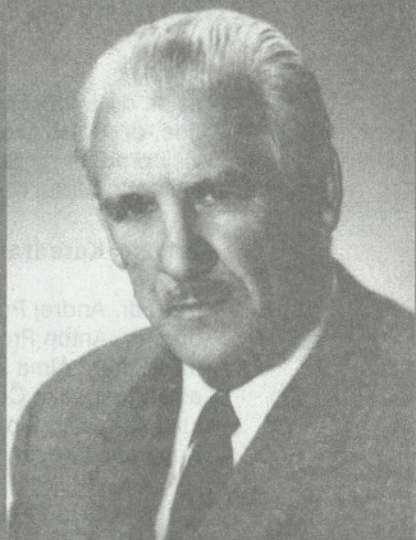
#### **2.1.8 RAČUNOVODSTVO**

Jožica Trampuš, vodja računovodstva  
Rozi Hribar  
Sonja Karakaš  
Urška Dolžan  
Marjan Kuret, ekonomat

# IN MEMORIAM

Marjan BRILLY

dipl.inž.gradb.



Nedavno je iz naših vrst odšel gradbenik, ki je svoje življenje in vse svoje moči dal gradbeništvu.

Marjan Brilly je bil rojen 1. 11. 1913 v Kranju. Maturiral je leta 1932 na državni realni gimnaziji v Kranju, leta 1938 pa je diplomiral iz področja vodnih gradenj na gradbenem odseku Tehnične fakultete v Ljubljani.

Po končanem šolanju je odslužil vojaški rok v šoli za rezervne inženirske oficirje v Šabcu. Na fakulteti se je udeleževal v naprednih akademskih društvih in bil zaradi tega tudi aretiran. Med nemško okupacijo je od samega začetka sodeloval z osvobodilno fronto. Marca 1943 je postal član mestnega odbora OF v Kranju. Avgusta istega leta je bila organizacija izdana, Marjan Brilly pa aretiran in zaprt v Begunjah. Decembra so ga odpeljali v taborišče Reichenau pri Innsbrucku in od tam na prisilno delo v neko gradbeno podjetje v Innsbrucku. Med zračnim napadom na mesto, marca 1945, mu je uspelo pobegniti in se je priključil partizanom.

Februarja 1946 je dobil nalogo, da organizira gradbeno enoto ljubljanskega okrožja v Kranju (kasnejši SGP PROJEKT Kranj). V Kranju se je vključil v politično in družbeno življenje. Postal je član mestnega odbora OF in bil v začetku leta 1947 izvoljen za predsednika mestnega

# I N M E M O R I A M

ljudskega odbora. Jeseni 1947 je bil po službeni dolžnosti premeščen v Ljubljano. Tudi tam je deloval v političnih, družbenih in strokovnih organizacijah. Bil je član komisije MLO za gospodarski plan in finance, predsednik sveta za urbanizem OLO Ljubljana, član univerzitetnega sveta in predsednik njegove komisije za gospodarstvo. Od ustanovitve Društva gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (1951) pa do odhoda v Beograd, je bil njegov predsednik in pozneje častni član društva.

V začetku 1957 je bil premeščen v Beograd, v Zvezni izvršni svet, junija 1958 pa je bil izvoljen za generalnega sekretarja Zvezne gradbene zbornice. Po spojitvi vseh zbornic v osrednjo Zvezno gospodarsko zbornico, ga je Zvezni izvršni svet z odločbo imenoval za predsednika sekcije za gradbeništvo; v začetku leta 1963 pa je bil izvoljen za sekretarja Sveta za gradbeništvo pri Zvezni gospodarski zbornici in opravljal to funkcijo do leta 1968, ko je zapustil Beograd.

Tudi v obdobju službovanja v Beogradu je imel vidne funkcije v političnih in družbenih organizacijah. Bil je član Upravnega odbora Jugoslovanske investicijske banke, predsednik sveta Jugoslovanskega centra za tehnično in znanstveno dokumentacijo, član in predsednik redakcijskega odbora raznih strokovnih časopisov. Zvezna skupščina ga je 1959 imenovala za občasnega sodnika Vrhovnega gospodarskega sodišča. Julija 1967 ga je Zvezna skupščina izvolila za člana Zveznega sveta za izobraževanje in kulturo. Bil je tudi član mešane jugoslovansko-romunske komisije za graditev hidroenergetskega plovnega sistema Djerdap. Ves čas je bil aktiven tudi pri Zvezi gradbenih inženirjev in tehnikov ter v Zvezi inženirjev in tehnikov Jugoslavije, kjer je bil izvoljen za častnega člana.

# I N M E M O R I A M

Po povratku v Ljubljano je bil zlasti aktiven pri delu v Gospodarski zbornici Slovenije; bil je predsednik Sveta za gradbeništvo, član Upravnega odbora zbornice, član skupščine Zvezne gospodarske zbornice in predsednik odbora za napredek v tej zbornici.

V letih 1968-70 je bil direktor sektorja za inozemstvo v GP TEHNIKA. Od 1970-75 je deloval kot šef predstavništva Gospodarske zbornice Jugoslavije v Libiji, nato pa v Gospodarski zbornici Slovenije kot svetovalec predsedstva zbornice. Ves čas svojega službovanja se je stalno strokovno izobraževal. Jeseni 1959 je bil na dvomesečnem študijskem potovanju v ZDA (stanovanjska graditev). Postal je redni član ASCE (American Society of Civil engineers).

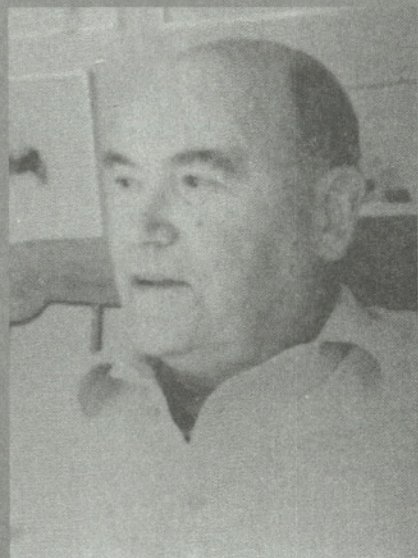
Z odhodom Marjana Brillyja smo izgubili odličnega strokovnjaka za upravne in organizacijske probleme v gradbeništvu. Izgubili smo tudi dobrega kolega, tovariša in prijatelja. Bil je vedno dostopen in prijazen, ne glede na visoke položaje, ki jih je v svoji bogati karieri zavzemal. Vedno je našel dobro in ljubeznivo besedo za vsakogar, ki je imel z njim opravka, bodisi delavca ali inženirja. V svojih sodbah in odločitvah je bil vedno objektivni in pravičen. Skratka, pošten človek, kakršnih v današnjem času ne srečujemo pogosto. Poznali smo ga tudi kot vzornega soproga in očeta.

Deloval je nesebično, z ljubeznijo do stroke in z velikim čutom odgovornosti do družbe, v kateri je živel. Zato nam bo ostal v lepem spominu in kot vzornik generacijam, ki prihajajo.

Sergej Bubnov



# IN MEMORIAM



prof. dr. JANKO SKETELJ

Letos poleti, dne 7. avgusta 1998, je umrl v starosti 89 let prof. Janko Sketelj, redni univerzitetni profesor in predstojnik Inštituta za zdravstveno hidrotehniko na Hidrotehnični smeri Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani.

Profesor Sketelj se je rodil 5. Septembra 1909 v Trstu. Leta 1927 je končal gimnazijo v Ljubljani in se nato vpisal na gradbeno smer tehniške fakultete v Ljubljani, kjer je diplomiral leta 1936. Jeseni leta 1941 je nastopil mesto asistenta v Institutu za vodne zgradbe Ljubljanske univerze. Med vojno je aktivno sodeloval v vrstah Osvobodilne fronte. Takoj po osvoboditvi je prevzel mesto vodje odseka na tedanjem ministrstvu za industrijo. Leta 1946 je bil imenovan za docenta na gradbenem oddelku tehniške fakultete, marca 1953 za izrednega in decembra 1961 za rednega profesorja za predmete Vodovod, Kanalizacijo in Čiščenje pitne in odpadne vode. Na tem mestu in kot predstojnik Inštituta za zdravstveno hidrotehniko - IZH, ki ga je ustanovil že leta 1946, je deloval vse do upokojitve leta 1979.

Profesor Sketelj je uspel že ob ustanovitvi IZH uveljaviti interdisciplinarni pristop pri reševanju nalog zdravstvene hidrotehniške, tako da je s tem hitro prerasla v mnogo širši okvir inženirstva za zaščito voda. Z visokim strokovnim znanjem, disciplino in samoodrekanjem se mu je posrečilo novoustanovljeni inštitut opremiti s takrat naj sodobnejšimi

# I N M E M O R I A M

aparaturami. Za razvoj inštituta je značilno tudi, da so bile pod vodstvom prof. Sketlja konstruirane in izvedene številne specialne aparature, kot npr. Wanburngova aparatura, ombrografi za registriranje nalivov s kratkim trajanjem, aparatura za ugotavljanje nivojnic pri precejanju vode na temelju elektrohodinamične podobnosti, idr.

Spemljal je tuje raziskovalno delo in razvijal ter prenašal takrat za naše razmere novo in nam prirejeno metodologijo v raziskovalnem delu in v inženirsko prakso. Hkrati pa je ustvarjal tudi izvirno slovensko terminologijo na tem področju.

V večdesetletnem delu na inštitutu za zdravstveno hidrotehniko so nastala v avtorstvu prof. Sketlja številna znanstvena in strokovna dela, ki obravnavajo vrednotenje padavinskih podatkov, metode za dimenzioniranje vodovodnih in kanalizacijskih omrežij, preiskave odtočnih koeficientov, kakovost odpadne vode in drugo.

Zelo pomembo je pionirsko delo pod vodstvom prof. Sketlja pri preiskavah stanja kakovosti slovenskih voda. S prof.dr. Rejcem in prof.dr. Modicem ter drugimi sodelavci je vodil in opravil prve kakovostne in količinske preiskave vseh pomembnejših rek (Mure, Drave, Krke, Save, Soče idr.) v naši državi in tudi Blejskega jezera. Te raziskave, ki jih je izvedel že leta 1957, so bile kakovostna podlaga za kasnejšo uspešno sanacijo Blejskega jezera z natega. Bil je tudi član slovenske oz. jugoslovansko - avstrijske komisije za Muro ter več domačih in mednarodnih strokovnih organizacij.

Za svoje znanstveno delo je prejel Prešernovo nagrado in skupinsko nagrado Borisa Kidriča.

Svoja spoznanja s tega področja je prenašal širšemu strokovnemu auditoriju na domačih in mednarodnih kongresih.

# I N M E M O R I A M

Nazadnje, vendar ne najmanj pomembno pa je njegovo pedagoško delo, saj je bil dolgoletni učitelj pri predmetih Vodovod, Kanalizacija, Čiščenje pitne vode in Čiščenje odpadne vode. Bil je tudi mentor številnim diplomantom na zdravstveno – hidrotečni smeri Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo.

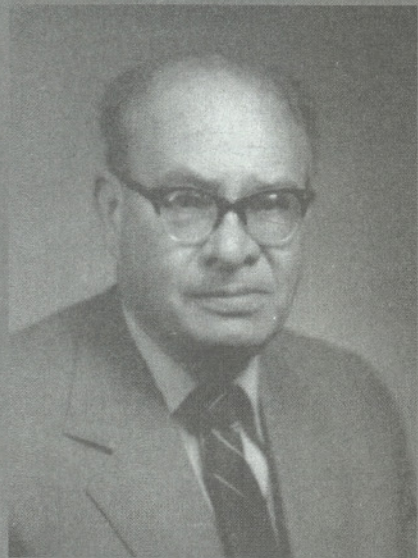
Prof. Sketlja se bomo spominjali kot učitelja in raziskovalca, ki je položil temelje slovenski zdravstveni hidrotehniko in nam s tem omogočil reševanje današnjih najbolj zapletenih problemov s tega področja.

V imenu sodelavcev IZH

Jože Panjan

# IN MEMORIAM

prof. dr. SRDAN TURK



Ko se mu je po lažji obliki kapi zdravje že v veliki meri povrnilo, je dne 30. julija 1998 dr. inž. Srdan Turk, redni profesor za področji masivnih in lesenih konstrukcij na fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani nepričakovano umrl.

Profesor Srdan Turk je bil rojen 26. aprila 1920 v Ljubljani. Po končani gimnaziji se je leta 1938 vpisal na Gradbeni oddelek Tehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Med vojno je bil začasno interniran v Gonars, vendar je kljub temu leta 1944 diplomiral. Od diplome do leta 1946, ko je postal asistent na Inštitutu za gradbeno mehaniko na Oddelku za gradbeništvo in geodezijo Tehniške fakultete, je bil zaposlen pri Mestnem vodovodu v Ljubljani. Leta 1949 je bil imenovan za docenta za predmete: Lesene inženirske konstrukcije z mostovi, Masivne inženirske konstrukcije ter Masivni in jekleni mostovi. Leta 1954 je na Tehniški visoki šoli v Ljubljani doktoriral, leta 1958 je bil izvoljen za izrednega, leta 1964 pa za rednega profesorja s področja masivnih in lesenih konstrukcij.

Razen nekaj let pred upokojitvijo je bil ves čas predstojnik Katedre za masivne in lesene konstrukcije na Gradbenem oddelku. Poleg tega je opravljal tudi različne druge vodstvene funkcije na fakulteti in zunaj nje. Zelo tvorno je sodeloval pri pripravi tehničnih predpisov s področja lesenih in betonskih konstrukcij. Bil je član mnogih strokovnih

# I N M E M O R I A M

komisij in žirij. Kot strokovni svetnik je sodeloval pri snovanju in izvajanju prvih prednapetih betonskih mostov v Sloveniji. Tudi po letu 1987, ko se je upokojil, je aktivno sodeloval pri raziskavah katedre s področja steklenih kompozitnih vlaken in reologije betona. Ves čas upokojitve je vsaj enkrat mesečno prihajal na fakulteto in z vsakim posebej prijazno poklepetal. Če je le mogel, je rad prišel tudi na družabna srečanja katedre.

Profesor Turk je bil učitelj številnih generacij gradbenih inženirjev. Njegovi študentje smo ga poznali kot zelo urejenega in umirjenega učitelja, ki se je kot velik mislec in mojster teorije reševanja problemov vedno loteval sistematično. Izjemno nazorna in sistematična predavanja so bila odsev njegove bistrine duha in urejenosti misli. Bil je mentor več kot 250 diplomantom, več magistrrom in doktorjem znanosti. Sodeloval je v številnih komisijah za oceno in zagovor magistrskih nalog in doktorskih disertacij na ljubljanski in zagrebški univerzi. Napisal je vrsto učbenikov, s katerimi je študentom bistveno olajšal študij, uporabljali pa so jih tudi v praksi.

Kot izvrsten teoretik je profesor Turk raziskovalno deloval na različnih področjih. V okviru priprave jugoslovanskih tehničnih predpisov za lesene konstrukcije je obdelal račun sestavljenih lesenih nosilcev. Razvil je izvirni postopek dimenzioniranja nearmiranih in armiranih betonskih stebrov, izboljšal račun prečne armature betonskih nosilcev in teoretično obdelal bočno stabilnost lokov. Precejšen del svojih raziskav je namenil prognoziranju in projektiranju marke betona. Eno izmed njemu najljubših področij raziskav pa je bila reologija betona. Že zelo zgodaj je predlagal cepitev viskoznih deformacij zaradi lezenja betona na njihov aktivni in pasivni del. Predmet njegovih zadnjih raziskav, pa so bili kompozitni materiali iz steklenih vlaken in umetnih smol, ki so zelo uporabni za prednapenjanje betonskih konstrukcij v agresivnih okoljih.

## I N M E M O R I A M

Z referati je aktivno sodeloval na številnih jugoslovanskih, slovenskih in mednarodnih strokovnih kongresih in posvetovanjih. V strokovnih revijah je objavil več izvirnih prispevkov. Tri svoje zamisli oziroma ideje je tudi patentiral.

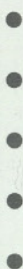
Bil je aktiven član številnih slovenskih in jugoslovanskih strokovnih društev ter Mednarodnega združenja za mostove in konstrukcije. Vrsto let je sodeloval v tehniški sekciji Terminološke komisije Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Za svoje delo je prof. Turk prejel več priznanj in odlikovanj. Bil je častni član Zveze inženirjev in arhitektov Jugoslavije (1984) in zaslužni član Društva jugoslovanskih laboratorijev za raziskavo materiala in konstrukcij (1973).

Njegovi študentje in sodelavci ga bomo ohranili v spominu kot zavzetega iskalca novih spoznanj in redoljubnega ter dobrohotnega človeka.

Jože Panjan



**tiskarna  
tone tomšič d.d.**



**1000 LJUBLJANA, GREGORČIČEVA 25A  
• 061/126 32 19 • FAX 061/218 646**

*Cenjeni poslovni partnerji!  
Nudimo vam kvalitetne in hitre  
usluge stavljenja, preloma,  
ofsetnega tiska, knjigotiska  
in različne vezave.*

*Obiščite nas in se prepričajte!*

*Nudimo kvalitetne izdelke po konkurenčnih  
cenah.*

*Izdelujemo vse vrste fotokopij in vezav.*