

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

LJUBLJANA,  
MAJ-JUNIJ,  
JULIJ-AVGUST, 1992

LETNIK XXXXI  
STR. 109-180

# GRADBENI 5 - 6 VESTNIK 7 - 8



**SCT**  
sct ljubljana

**Glavni in odgovorni urednik:**

---

Franc **ČAČOVIČ**

**Lektor:**

---

Alenka **RAIČ**

**Tehnični urednik:**

---

Dane **TUDJINA**

**Uredniški odbor:**

---

Sergej **BUBNOV**, Vladimir **ČADEŽ**,  
Vojteh **VLODYGA**, Stane **PAVLIN**,  
Gorazd **HUMAR**, Ivan **JECELJ**,  
Branka **ZATLER-ZUPANČIČ**,  
Andrej **KOMEL**,  
Jože **ŠČAVNIČAR**, dr. Miran **SAJE**

Revija izdaja Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon: 221-587. Žiro račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska Tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Naročnina za člane društev znaša 840 SLT. Za študente in upokoјence velja polovična cena. Naročnina za gospodarske naročnike znaša 12.600 SLT, za inozemske naročnike 100 US \$. Revija izhaja ob finančni pomoči Ministrstva za znanost in tehnologijo, Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Centra za graditeljstvo. V naročnini je vštēt prometni davek.



# GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE  
ŠT. 5-6-7-8 • LETNIK 41 • 1992 • YU ISSN 0017-2774

## VSEBINA-CONTENTS

Članki, študije,  
razprave  
Articles studies,  
proceedings

Leon Gradnik: VIADUKT »REBER« ..... VIADUCT »REBER« .....	111
Živko Kajdež: TEHNOLOGIJA GRADNJE VIADUKTA »REBER« ..... CONSTRUCTION OF THE VIADUCT »REBER« .....	115
Antonija Rotar: GRADNJA KANALIZACIJSKEGA OMREŽJA ZA MESTO CONSTANTINE V ALŽIRIJI ..... CONSTRUCTION OF CONSTANTINE TOWN SEWAGE SYSTEM – ALGERIA .....	122
Matjaž Šajn: RAČUNALNIŠKA SIMULACIJA VOŽNJE PO BODOČI TRASI CESTE V DOLINI TRENTE – POSTOPKI IN PROGRAMSKA OPREMA ..... COMPUTER SIMULATION OF A CAR RIDE ON THE FUTURE ROAD IN THE VALLEY OF TRENTA – TECHNIQUES AND SOFTWARE .....	126
Slobodan Bošnjak: VELIKOPANELNI SISTEM VPMS – SCT LJUBLJANA ..... LARGE-PANEL SYSTEM VPMS – SCT LJUBLJANA .....	134
Anin Sever: VPMS – PRINCIPI SNOVANJA STANOVANJSKE ARHITEKTURE VILA-BLOK KOT PRIMER DOSLEDNE UPORABE SISTEMA ..... LARGE-PANEL PRECAST SYSTEM (VPMS) – CONCEPTUAL PRINCIPLES OF RESIDENTIAL ARCHITECTURE. VILA-BLOCK AS AN EXAMPLE OF A CONSISTENT PRACTICAL APPLICATION OF THE SYSTEM .....	141
Alojz Sever: TEMPERATURNA STANJA IN DILATIRANJE STRJUJOČEGA SE IN OTRDELEGA BETONA PRI GRADNJI LETALIŠČA IN LUKE V LIBIJI ..... TEMPERATURE CONDITIONS AND DILATATION OF SOLIDIFIED CONCRETE IN AIRPORT CONSTRUCTION .....	146
Franci Kavčič: HIDRATACIJA CEMENTA V ADIABATNEM KALORIMETRU ..... CEMENT HYDRATION IN ADIABATIC CALORIMETER .....	152
Janez Božič: ORGANIZACIJSKO INFORMACIJSKI SISTEM GRADBENIH PROJEKTOV ..... AN ORGANIZATION AND INFORMATION SYSTEM FOR BUILDING PROJECTS .....	155
Violeta Bokan, Franc Saje: LEZENJE BETONA PRI VISOKEM NIVOJU NAPETOSTI ..... CREEP OF CONCRETE AT HIGH STRESS LEVEL .....	163
Jakob Šušteršič: EROZIJSKO-ABRAZIJSKA ODPORNOST MIKROARMIRANIH BETONOV Z JEKLENIMI VLAKNI ..... EROSION-ABRASION RESISTANCE OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE .....	169

Poročila Fakultete za  
arhitekturo, gradbeništvo  
in geodezijo Univerze  
v Ljubljani

Proceedings of the  
Department of Civil  
Engineering University,  
Ljubljana

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



## REFERENCE, TRADICIJE IN ZAUPANJE INVESTITORJEV – NAJBOLJŠI KAPITAL

Ob visokih obletnicah poslovanja je običaj, da se naštevajo številni uspehi v preteklosti kot pomniki prehojene poti. Žal dinamika sedanjega trenutka ni naklonjena pogledom nazaj, pač pa vsa pozornost velja sedanjemu trenutku ter perspektivam v bodočnosti.

Številni objekti, ki jih je SCT uspešno zgradil v preteklosti, dovolj govorijo sami zase, za nas pa so pomembni kot referenca ter temelj zaupanja vseh bodočih naročnikov. V zahodnem svetu imajo reference in tradicija ključno mesto pri zaupanju investitorjev, s čimer se opredeljuje tržni položaj podjetja.

Trenutno je vsa naša pozornost skoncentrirana na postavitve moderne organizacije sistema kapitalskih družb, ki naj SCT-ju zagotovi ohranitev vodilnega položaja na Slovenskem in širšem trgu gradbenih storitev. Organizacija mora doseči dvig produktivnosti na evropsko raven ter zagotoviti fleksibilnost v prilagajanju zahtevam trga.

Druga velika naloga v povezavi s povedanim je priprava na postopek lastninskega preoblikovanja, ki naj bo sredstvo za doseg cilja – cilj pa je večja produktivnost ter modernejše poslovanje ter motivacija vseh lastnikov za učinkovitost.

Dograjevanje moderne organizacije ter lastninsko preoblikovanje pa morata spodbuditi konkurenčnost SCT-ja doma in v tujini, ne glede na zaostreno tržno situacijo.

Vse bolj ugotavljamo, da vrednost na trgu ni le v tehnologiji, opremljenosti, kapitalu itd., pač pa je vrednost tudi tradicija, reference, izkušeni kadri in predvsem zaupanje. Prav slednje mora postati osnovni moto za nadaljnje poslovanje ter hkrati prednost pred številnimi novo nastalimi ali reorganiziranimi gradbenimi firmami, ki tradicije ter referenc nimajo oziroma si jih bodo morali v hudi konkurenčni bitki šele pridobiti.

Naj te kratke besede sklenem z ugotovitvijo in željo, da bomo svoje znanje in izkušnje tudi v sedanjih razmerah lahko uspešno tržno plasirali ter s tem zagotovili kontinuiteto visokih referenc SCT-ja doma in v tujini.

# VIADUKT »REBER«

UDK 624.21:625.745-1

LEON GRADNIK

## POVZETEK

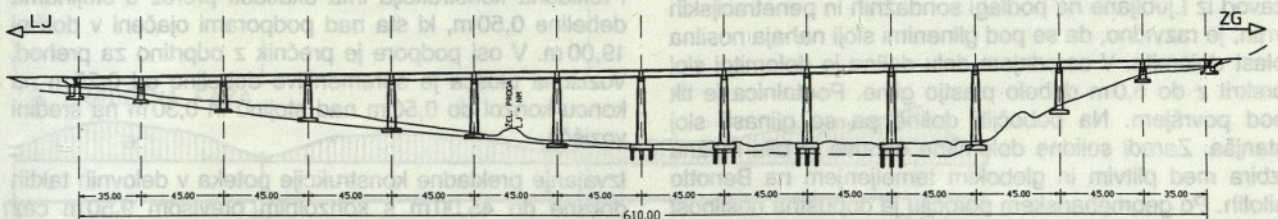
Opisana je zasnova in podan kratek opis projektiranja viadukta Reber na AC Karavanke–Bregana, katerega gradnja se je začela v marcu 1990. Investitor objekta je Republika Slovenija, Ministrstvo za promet in zveze. Projektna dokumentacija je bila izdelana na SCT Projekt nizke zgradbe, izvajalec del pa je SCT Visoke gradnje. Dela na objektu so v zaključni fazi. Kratek rok izgradnje, ki je bil zaradi finančnih težav sicer podaljšan, je omogočila uporaba sistema gradnje s pomičnim odrom. Zaradi ugodne zasnove in sodobne izvedbe ima objekt dolgo pričakovano življenjsko dobo z minimalnimi vzdrževalnimi posegi.

## VIADUCT "REBER"

## SUMMARY

The basic principles and an a bridged description are given of the "REBER" viaduct of the Karawanks Highway the construction of which has been initiated in March, 1990. The investor of the object was the Government of Slovenia- Ministry for Traffic and Communications. The project documentation has been provided by STC – Civil Engineering and the works are being performed by the Building Construction Group. The present works are being gradually terminated. Thanks to the use of a special movable platform the duration of works, which had even to be extended because of financial shortcoming, has been reduced. Due to the most favourable operating principles and its modern concept to object features a long life expectancy with minimum maintenance.

## VZDOLŽNI PREREZ



Slika 1a: Vzdolžni prerez

## 1.0. SPLOŠNO

Viadukt Reber na AC Karavanke–Bregana, odsek Malence–Šmarje, premoščna dolino med naseljema Reber in Mali vrh z dvema ločenima objektoma dolžine 585,00 m in 610,00 m.

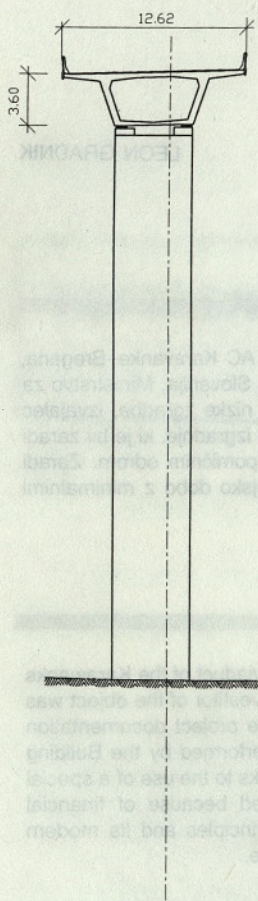
Desno vozišče ima horizontalni radij 6000 m, levo vozišče pa 4500 m in 3000 m, ker se objekta v smeri proti vstopu avtoceste v predorske cevi Mali vrh razmakneta.

Prečni sklon je konstanten in znaša 2,5 %.

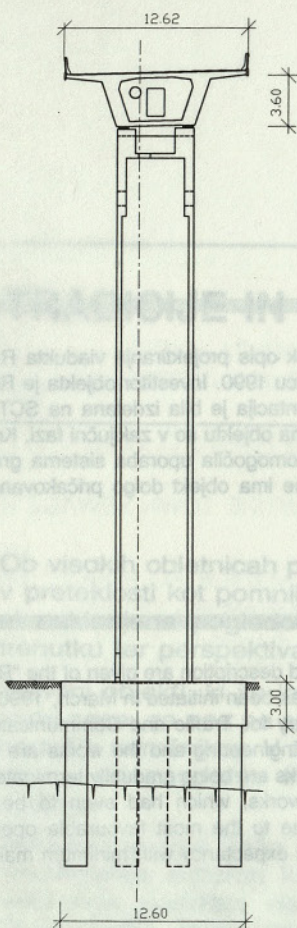
Vozišče je na obeh objektih široko 11,70 m in obojestransko zaključeno z monolitno armiranobetonsko ograjo tipa New Jersey višine 1,10 m.

**Avtor:**  
Leon Gradnik, dipl. ing. gr., SCT Projekt nizke  
zgradbe, d.o.o., Kardeljeva ploščad 20, Ljubljana

PREČNI PREREZ V POLJU



PREČNI PREREZ NAD PODPORO



Slika 1b: Prečna prereza

Prekladna konstrukcija je zgrajena v taktih dolžine do 45 m s pomočjo pomičnega odra.

## 2.0. GEOLOGIJA

Iz geomehanskega poročila, ki ga je izdelal Geološki zavod iz Ljubljane na podlagi sondažnih in penetracijskih vrtin, je razvidno, da se pod glinenimi sloji nahaja nosilna plast dolomita. V osrednjem delu doline je dolomitni sloj prekrit z do 5,0 m debelo plastjo gline. Podtalnica je tik pod površjem. Na pobočjih doline pa se glinasti sloj stanjša. Zaradi solidne dolomitne osnove je bila možna izbira med plitvim in globokim temeljenjem na Benotto pilotih. Po geomehanskem poročilu je dopustna nosilnost 0,42 MPa za plitvo temeljenje in 2,83 MPa za temeljenje na kolih.

## 3.0. PODPORNNA KONSTRUKCIJA

Krajni oporniki so masivni armiranobetonski zidovi, ki imajo v I. fazi izvedbe posebne armiranobetonske na-

stavke za montažo pomičnega odra. Ti nastavki se kasneje po premiku odra odstranijo.

Vmesne podpore so votli stebri škatlastega prereza z vertikalnima vzdolžnima stenama. Prečne stene so izvedene v naklonu 50 : 1. Dimenzija glave stebra je pogojena z velikostjo drsnih ležišč, s prostorom za namestitvev hidravličnih preš ob morebitnem vzdrževanju ali zamenjavi ležišč in z dimenzijami prednjega opornega dela pomičnega odra.

Temeljenje je plitvo ali na Benotto pilotih  $\varnothing$  150, odvisno od debeline nenosilnih tal.

## 4.0. LEŽIŠČA

Za prenos obtežbe iz prekladne konstrukcije na podpore so uporabljena PTFE drsna ležišča. Na vsakem stebri sta po dve ležišči, eno je pomično v vseh smereh, drugo pa je nepomično v prečni smeri. Srednje tri podpore imajo zaradi prevzema horizontalnih obtežb v vzdolžni smeri nepomična ležišča v vseh smereh. Na začetku gradnje je začasno fiksno ležišče tudi na krajnem oporniku, ki pa se potem, ko je prekladna konstrukcija zgrajena do prve vmesne fiksne podpore, deblokira.

## 5.0. PREKLADNA KONSTRUKCIJA

Na zasavo objekta je vplivala zahteva investitorja, da je prekladna konstrukcija ena zavorna enota in odločitev podjetja SCT, da za izvedbo uporabi sistem pomičnega odra, ki ga je razvilo podjetje Bilfinger + Berger iz Mannheim.

Tak način gradnje omogoča hitro in zelo kakovostno izvedbo prekladne konstrukcije škatlastega prereza razponov do 45,00 m (op.: navedena konstrukcija pomičnega odra tehta ca. 600 t, uporaba večjih in težjih odrov za večje razpone bi bila za Slovenijo »predimenzionirana«. Tehnologija in način gradnje bosta opisana v posebnem prispevku).

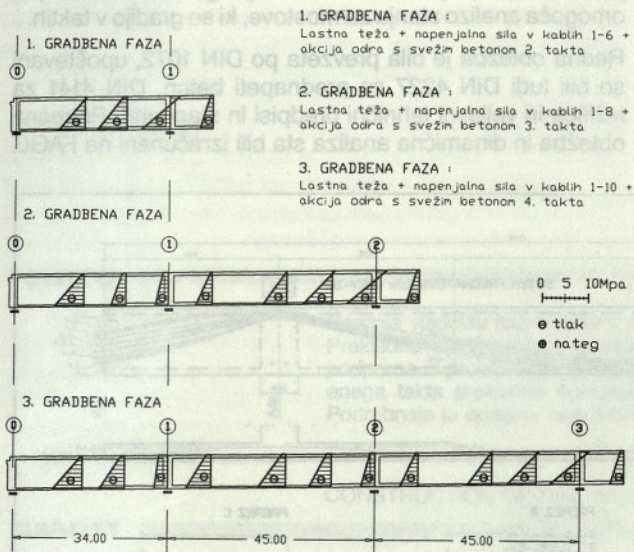
Prekladna konstrukcija ima škatlasti prerez s stojinama debeline 0,50 m, ki sta nad podporami ojačeni v dolžini 19,00 m. V osi podpore je prečnik z odprtino za prehod. Voziščna plošča je spremenljive debeline od 0,25 m na koncu konzol do 0,50 m nad stojino in 0,30 m na sredini vozišča.

Izvajanje prekladne konstrukcije poteka v delovnih taktih dolžine do 45,00 m s konzolnim previsom 9,50 m čez steber.

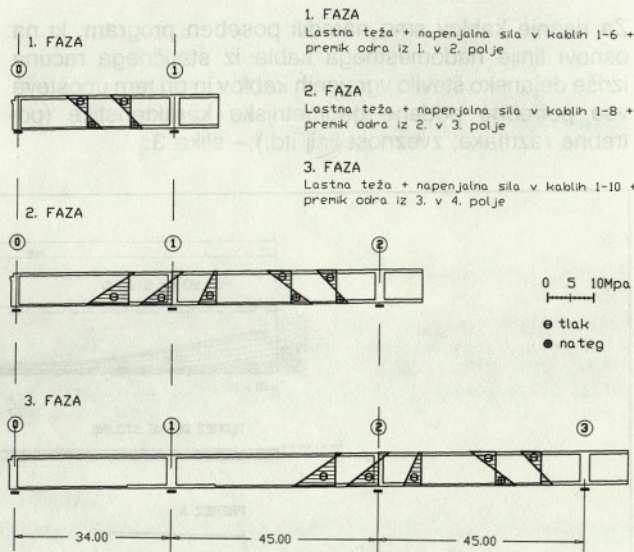
Armiranobetonska konstrukcija je v fazi gradnje delno in v fazi uporabe omejeno prednapeta. Maksimalni nategi, ki nastanejo v betonu med gradnjo ob premiku odra in znašajo do 5,0 MPa, so pokriti z rebrasto armaturo.

Obremenitve med gradnjo in v fazi uporabe so prikazane na sliki 2. Za prednapenjanje smo uporabili 2000 kN BBRV kable z žicami 42  $\varnothing$  7, ki se običajno napenjajo pri

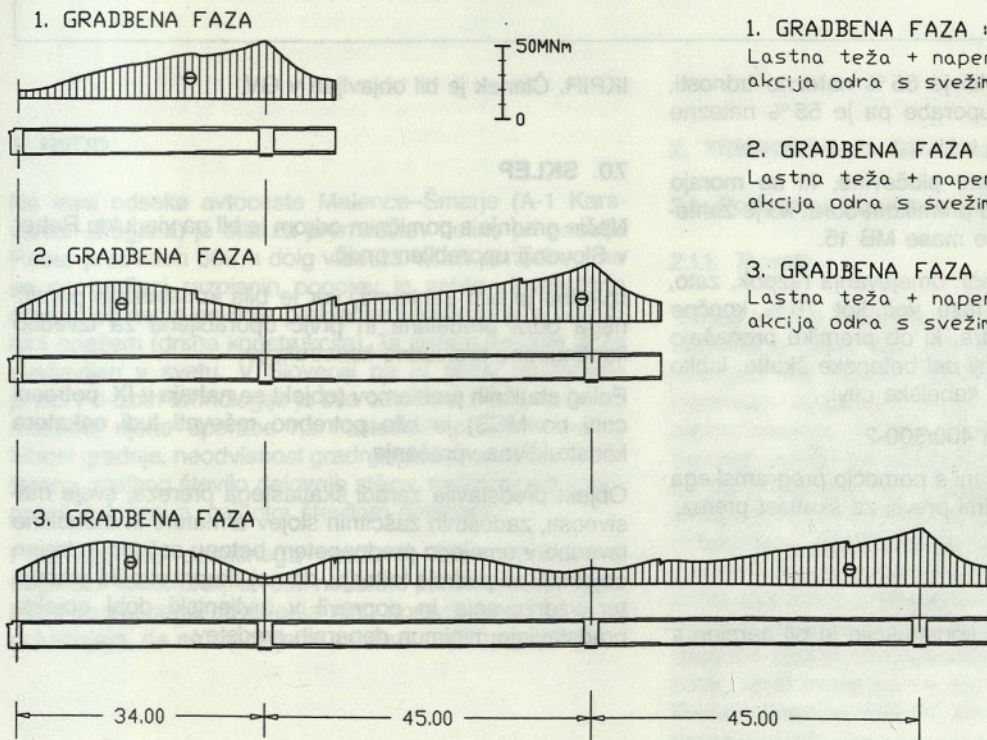
MEJNE NAPETOSTI PRI GRADBENIH FAZAH



MEJNE NAPETOSTI PRI PREMIKU ODRA



MOMENTI PRI GRADBENIH FAZAH



Slika 2. Mejne napetosti ...

7 dni starem betonu. Na delovnem stiku je v vsaki stojini napetih 6 kablov, od tega so štirje spajani, dva potekata neprekinjeno preko dveh polj, štirje pa so slepi in se

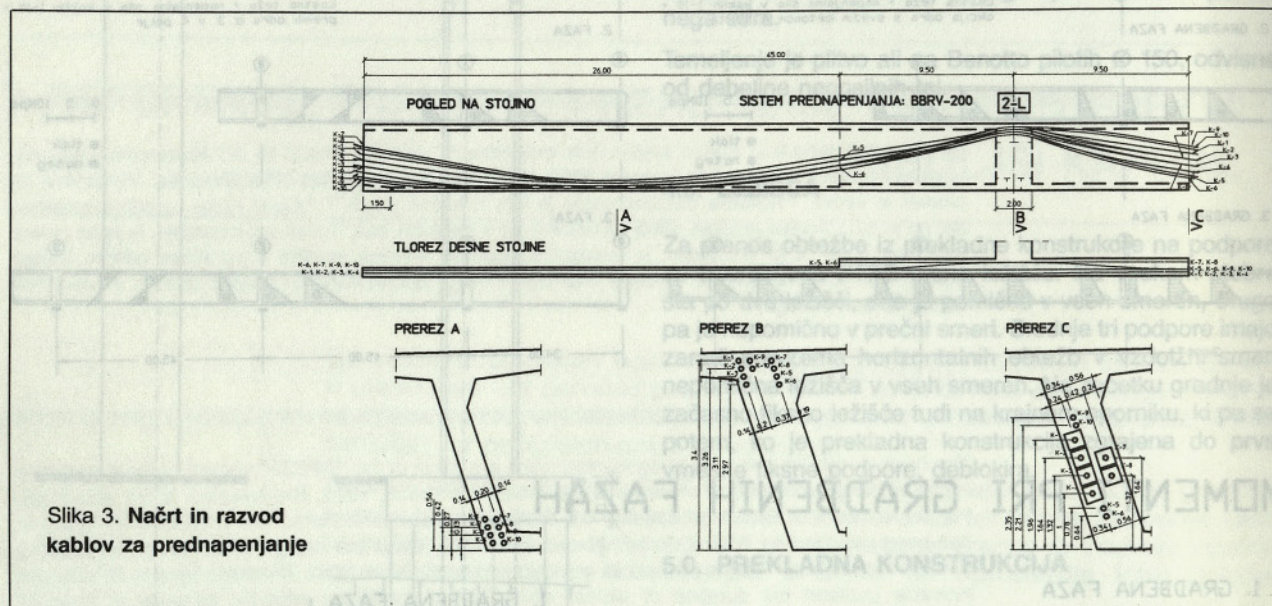
napnejo v sledečih taktih. Tak način napenjanja in razporeditve kablov pomeni, da imamo nad podporami po 10 kablov, v poljih pa 8 kablov na stojino in da imamo po

napenjanju zadnjega takta napete vse kable. Poraba kablov je manj kot  $17 \text{ kg/m}^2$ .

Za risanje kablov smo naredili poseben program, ki na osnovi linije nadomestnega kabla iz statičnega računa izriše dejansko število vgrajenih kablov in pri tem upošteva vse potrebne podane geometrijske karakteristike (potrebne razmake, zveznost linij itd.) – slika 3.

pomočjo programa HOLKE za izračun mostov z votlim prerezom pri poljubnem tlorisu in programom HOLKT, ki omogoča analizo stanja za mostove, ki se gradijo v taktih.

Redna obtežba je bila prevzeta po DIN 1072, upoštevani so bili tudi DIN 4227 za prednapeti beton, DIN 4141 za ležišča in veljavni tehnični predpisi in standardi. Potresna obtežba in dinamična analiza sta bili izračunani na FAGG



Slika 3. Načrt in razvod kablov za prednapenjanje

Napenjalna napetost v kablji je 65 % natezne trdnosti, končna napetost v stanju uporabe pa je 55 % natezne trdnosti žic.

Kabli so v ceveh iz rebraste pločvine, ki se morajo zainjektirati pravočasno pred premikom odra, ko je zahtevana tlačna trdnost injektirne mase MB 15.

Injektiranje je potrebno zaradi omejevanja razpok, zato, ker je obtežba gradbene faze več kot 70 % končne obtežbe in ker gosenice odra, ki ob premiku prenašajo negativno reakcijo na spodnji del betonske škatle, lahko poškodujejo nezainjektirane kabselske cevi.

Uporabljena je armatura RA 400/500-2.

Armaturni načrti so bili izdelani s pomočjo programskega paketa ARCAD z dopolnjenimi pravili za škatlast prerez.

## 6.0. STATIČNI RAČUN

Statični račun za prekladno konstrukcijo je bil narejen s

IKPIR. Članek je bil objavljen v GV.

## 7.0. SKLEP

Način gradnje s pomičnim odrom je bil na viaduktu Reber v Sloveniji uporabljen prvič.

Izvedba je bila zahtevna, ker je bila konstrukcija pomičnega odra predelana in prvič uporabljena za izvedbo kontinuirane prekladne konstrukcije.

Poleg statičnih problemov (objekt se nahaja v IX. potresni coni po MCS) je bilo potrebno reševati tudi nekatera konstruktivna vprašanja.

Objekt predstavlja zaradi škatlastega prereza, svoje masivnosti, zadostnih zaščitnih slojev armature in monolitne izvedbe v omejeno prednapetem betonu soliden in trajen objekt, ki se podreja kriteriju, da naj skupni stroški gradnje ter vzdrževanja in popravil v življenjski dobi objekta predstavljajo minimum denarnih sredstev.



# TEHNOLOGIJA GRADNJE VIADUKTA REBER

UDK 624.21(047.39)

ŽIVKO KAJDIŽ

## POVZETEK

Gradnja viadukta Reber poteka po tehnologiji pomičnega opaža (drsnе konstrukcije) od polja do polja. Prekladna konstrukcija je prednapeti škatlasti nosilec preko 14 polj. Opisana je tehnologija izvedbe podporne in prekladne konstrukcije. Poudarek je predvsem na delu z drsno konstrukcijo in na izvedbi enega takta prekladne konstrukcije. En takt (45 m dolgo polje) je zgrajen v povprečno 14 dneh. Podrobneje je opisana faza betoniranja enega takta.

## CONSTRUCTION OF THE VIADUCT "REBER"

## SUMMARY

The method of construction of the viaduct "Reber" applies technology of field-to-field sliding formwork. The bridge superstructure consists of prestressed box girder, stretching over 14 fields. The description of the construction technology for bridge supporting and superstructure is presented. A special emphasis is given to the sliding construction works and the construction of one cycle to bridge superstructure. One cycle (a field of 45 m) can be completed in 14 days on average. The process of one cycle is described in more detail.

## 1. UVOD

Na trasi odseka avtoceste Malence–Šmarje (A-1 Kara-vanke–Bregana) je bila za premostitev doline pri naselju Reber predviden 608 m dolg viadukt. V fazi ponudbe smo se na podlagi razpisnih pogojev in zahtev investitorja odločili za način gradnje prekladne konstrukcije s pomičnim opažem (drsnа konstrukcija). Ta sistem gradnje je že uveljavljen v svetu. V Sloveniji pa je sedaj uporabljen prvič. Pri izbiri tehnologije je bila odločilna nabavna cena, možnost njene uporabe na naslednjih projektih, velika hitrost gradnje, neodvisnost gradnje glede na konfiguracijo terena, majhno število delovnih stikov, možnost gradnje v premi in krivini z majhnim številom delavcev.

Pred uporabo pomičnega opaža je bilo potrebno na originalni konstrukciji izvesti nekatere predelave. Za pridobitev uporabnega dovoljenja smo opravili še kontrole, ki dokazujejo, da so izpolnjene zahteve naših predpisov.

## 2. TEHNOLOGIJA GRADNJE

### 2.1. Podporna konstrukcija

#### 2.1.1. Temelji

Temelji levega viadukta v oseh 6L, 7L, 8L, 9L in desnega viadukta v oseh 6D, 7D, 8D, 9D in 10D so globoko temeljeni na desetih uvrtnih pilotih sistema Benotto. Pilotiranje izvajamo z vrtno garnituro Cassagrande in s stalno, izurjeno skupino delavcev. Pred pričetkom izkopa moramo zaradi izredno trdne dolomitne hribine, v katero so piloti sidrani, le-to razrahljati z miniranjem. Zatem sledijo običajne faze izvedbe pilotov: izkop z grabežem in sekačem, geomehanikov pregled izkopa, vstavitve armaturnih košev in kontraktorsko betoniranje. Vrh (glavo) pilota naknadno odstranimo do zdravega betona. Temelje vmesnih podpor opažimo klasično z bled ploščami. Krajne opornike opažimo z velikostenskimi opaži (sistem Hünnebeck), ki jih montiramo s pomočjo avtodvigala ali žerjava. Pilote in temelje (MB 25) betoniramo s črpalko za beton. Krajni opornik, kjer montiramo drsno konstrukcijo (B.B.-SCT) moramo zaradi tehnologije drsnе konstrukcije izvesti v dveh fazah. V prvi fazi izdelamo spodnji del z ležiščnimi stenama, na katerih montiramo zgornji voz drsnе konstrukcije. Kasneje izdelamo še preostali del krajnega opornika s krili oziroma vmesnim zidom.

Avtor:

Živko Kajdiž, dipl. ing., SCT International, d. o. o.,  
Dvoržakova 3, Ljubljana

## 2.1.2. Stebri

Stebre pravokotnega votlega prereza izdelamo v štirimetrskih višinskih kampadah s pomočjo sistemskega plezajočega odra tipa »KLETTER« v kombinaciji z garnituro velikostenskih opažev NOE – Combi 20. Preostanek višine stebra, nižjega od 4 m, zabetoniramo v klasičnem opažu takoj nad temeljem stebra. Armaturo vežemo v armaturne koše za posamezno steno ene kampade na gradbiščnem platoju in jih na mestu gradnje samo še vokalno povežemo med seboj. Armaturne koše in sistemski oder z opažem vertikalno transportiramo pri nižjih stebrih (do višine ca. 20 m) z avtodvigalom, pri višjih pa z žerjavom. Žerjav tipa LM 60 HC postavimo na montažno žerjavno progno v osi med levim in desnim viaduktom tako, da istočasno obvladujemo gradnjo štirih stebrov. Za dostop delavcev na sistemski opaž Kletter postavimo lahko, hitro postavljivo aluminijasto stopnišče (tip Hünnebeck). Stebre (MB 35) betoniramo s pomočjo avtočrpalke za beton, nekaj najvišjih kampad pa zaradi prevelike višine z žerjavom. Zaradi kratkega roka gradnje in boljše izkoriščenosti žerjava istočasno izdelujemo stebre levega in desnega viadukta. Eno kampado višine 4 m izdelamo s šestimi delavci v povprečno petih delovnih dneh.

## 2.2. Prekladna konstrukcija

### 2.2.1. Opis dela s pomičnim opažem (dršno konstrukcijo) Bilfinger + Berger – SCT

Dršno konstrukcijo smo kupili pri nemškem podjetju Bilfinger + Berger. Prva montaža je potekala je potekala ob pomoči in nadzoru dobavitelja.

Dršna konstrukcija je sestavljena iz dveh linij glavnih nosilcev prereza  $2,20 \times 3,00$  m in dolžine  $4 \times 8,0$  m +  $1 \times 11,20$  +  $1 \times 8,0$  m = 51,20 m. Posamezni stiki so priviti s HV (visokovrednimi) vijaki. Glavni nosilci se podaljšujejo v dva kljuna, dolga 18,80 m. Zgornji nosilni voz služi kot zadnje ležišče glavnih vzdolžnih nosilcev. Prečni prerez predstavlja škatla dimenzije  $1,10 \times 2,00$  m in dolžine 15,40 m. Preko dveh garnitur koles nalega na tire, položene nad stojinami prekladne konstrukcije v razmaku 6,50 m. Prenos vertikalnih obtežb poteka v fazi betoniranja preko dveh vešalk na osni razdalji 10,36 m. Vešalki se v fazi premikanja izvlečeta, težo konstrukcije pa prevzameta vešalki za premikanje, ki sta razporejeni na osni razdalji 14,70 m. Zadnji spodnji vrtljivi prečnik zagotavlja prečno togost zadnjega dela dršne konstrukcije, v fazi premika pa prenaša negativne reakcije na dno že izdelane prekladne konstrukcije, dokler kljun ne naleže na naslednji steber. V ta namen je opremljen z dvema ležišči v obliki gumijastih gosenic. Spodnji vrtljivi prečnik sestavlja dva gibljiva kraka, ki se ob prehodu mimo stebra odpreta. Konzoli stebra sta sestavljeni iz nosilnega dela konzole, ki prenaša vertikalne obtežbe glavnih nosilcev na stebre, in drsnega stola, na katerem je konstrukcija fiksirana v fazi betoniranja, oziroma po katerem drsijo glavni nosilci v fazi premikanja. Nosilna dela konzole sta oprta v okna v najvišji kampadi stebra in horizontalno med seboj

stisnjena z diwidag palicami. Prečni nosilec na kljunu preprečuje prečne deformacije na sprednjem delu dršne konstrukcije in služi kot sprednji opornik na naslednjem stebri v fazi premika konstrukcije. Strežni voz služi za pristop do srednjega vzdolžnega stika zunanega opaža spodnje plošče prekladne konstrukcije. Teža posameznih glavnih elementov je od 16 do 31 ton, teža celotne 70 m dolge dršne konstrukcije je približno 600 ton. Notranji opaž je jeklen in je v celoti izdelan v SCT. Opažne plošče so narejene iz profilirane pločevine tunelskega sistema Outinord.

**Prvo montažo** dršne konstrukcije izvedemo na levem viaduktu, v prvem polju med krajno podporo v osi  $\varnothing L$  in prvim stebrom 1L, v poziciji betoniranja prvega polja. Montažo izvajamo z delovnega platoja, ki je bil zaradi velikega naklona terena izdelan v treh nivojih. Montiramo z avtodvigalom (TADANO TG 751) nosilnosti 750 kN, ob asistenci avtodvigala (LIEBHERR LT 1050) nosilnosti 500 kN. Glavne faze so:

- montaža zgornjega voza
- montaža leve linije glavnih nosilcev – 4 kosi
- montaža dveh konzolnih vozičkov na stebri 1L
- montaža leve linije glavnih nosilcev – 2 kosa
- montaža desne linije glavnih nosilcev – 6 kosov
- montaža dveh kljunov konstrukcije
- montaža prečnika kljuna

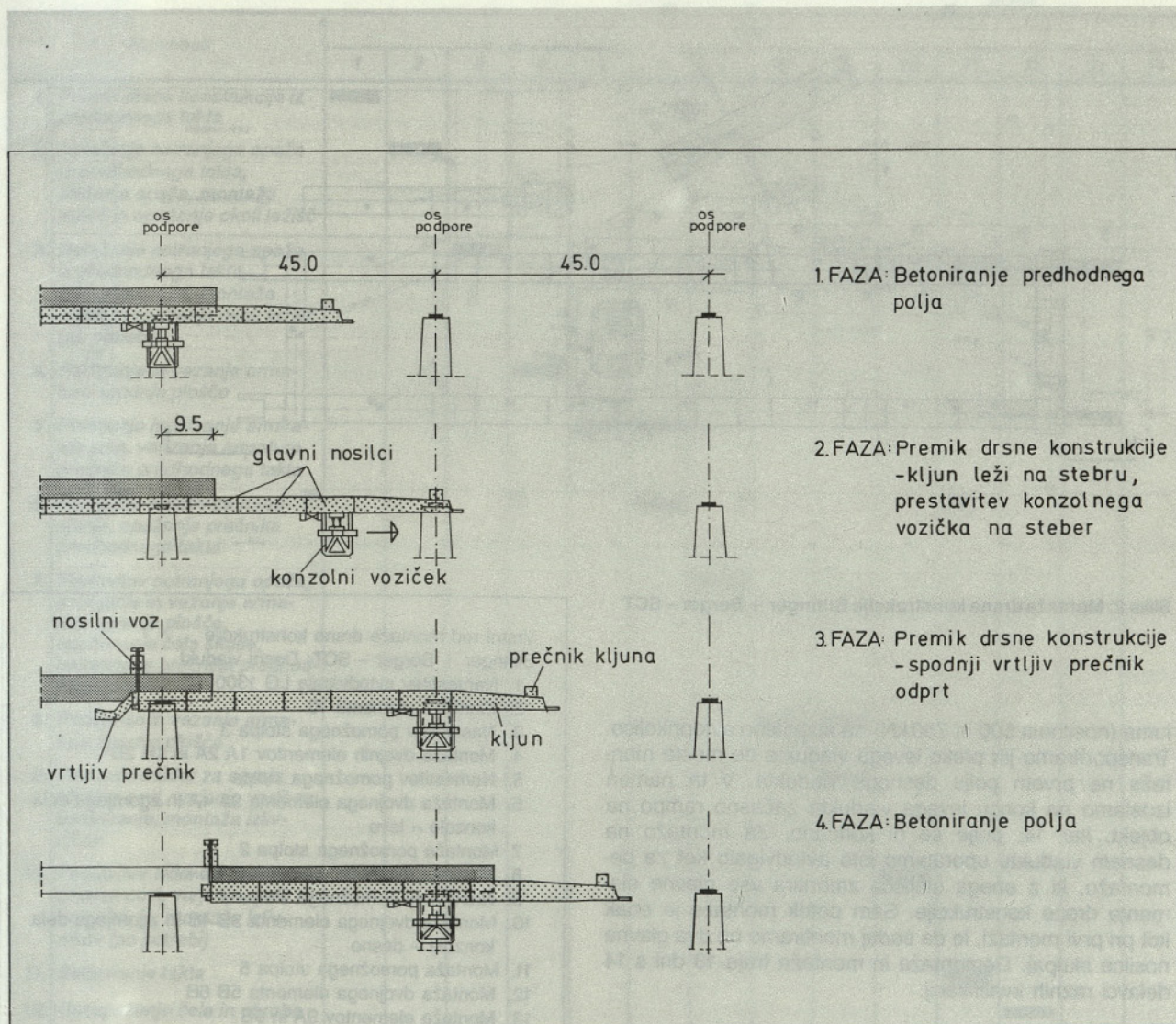
Glavne nosilce začasno odlagamo v fazi spajanja na pomožne podporne stolpe, ki jih skladno z napredovanjem montaže prestavljamo. Sledi še montaža prečnih nosilcev, ki nosijo zunanji opaž vseh pripadajočih hidravličnih sklopov in lesene obloge zunanega opaža. Montažo lažjih elementov konstrukcije zunanega in notranjega opaža izvedemo s stolpnim žerjavom LM 120 HC, ki ga postavimo na pomožno konstrukcijo za krajnim opornikom. Podvozje stolpnega žerjava je prirejeno glede na razmak tirnic, po katerih se premika dršna konstrukcija (6,50 m). Montaža traja približno 3 tedne s štirinajstimi delavci raznih kvalifikacij.



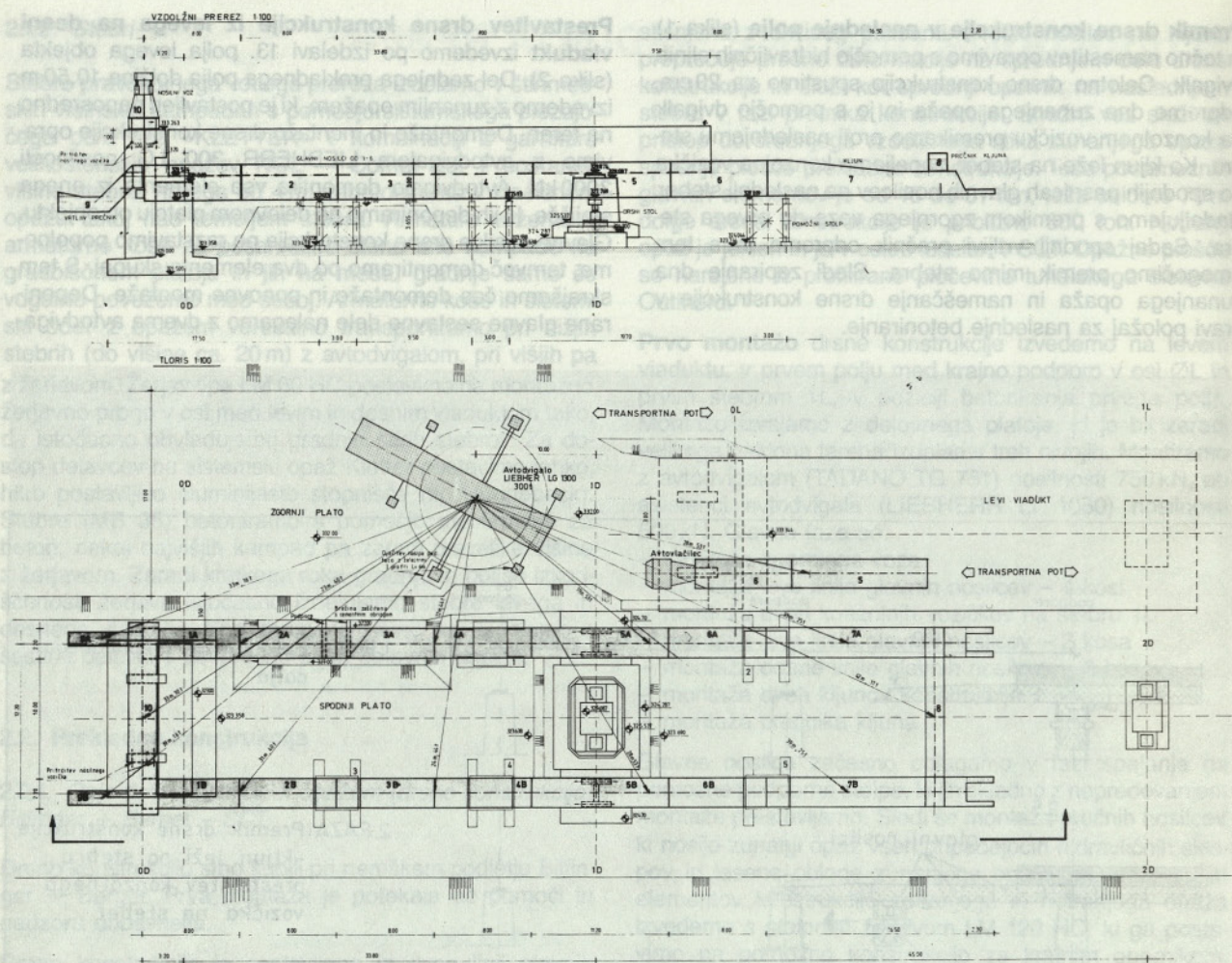
**SCT**  
sct Ljubljana

**Premik drsne konstrukcije v naslednje polje** (slika 1) in točno namestitev opravimo s pomočjo hidravličnih oljnih dvigalk. Celotno drsno konstrukcijo spustimo za 20 cm, odpremo dno zunanega opaža in jo s pomočjo dvigalk na konzolnem vozičku premikamo proti naslednjemu stebra. Ko kljun leže na steber, zapeljemo konzolna vozička po spodnjih pasnicah glavnih nosilcev na naslednji steber. Nadaljujemo s premikom zgornjega voza do prvega stebra. Sedaj spodnji vrtljivi prečnik odpremo in s tem omogočimo premik mimo stebra. Sledi zapiranje dna zunanega opaža in nameščanje drsne konstrukcije v pravi položaj za naslednje betoniranje.

**Prestavitev drsne konstrukcije iz levega na desni viadukt** izvedemo po izdelavi 13. polja levega objekta (slika 2). Del zadnjega prekladnega polja dolžine 10,50 m izvedemo z zunanjim opažem, ki je postavljen neposredno na teren. Demontažo in montažo drsne konstrukcije opravimo z avtodvigalom LIEBHERR 300 LG nosilnosti 3000 kN. Avtodvigalo demontira vse elemente iz enega stojišča, ki jih deponiramo na delovnem platuju ob objektu. Glavne nosilce drsne konstrukcije ne razstavimo popolnoma, temveč demontiramo po dva elementa skupaj. S tem skrajšamo čas demontaže in ponovne montaže. Deponirane glavne sestavne dele nalagamo z dvema avtodviga-



Slika 1: Premik drsne konstrukcije v naslednje polje



Slika 2: Montaža drsne konstrukcije Bilfinger + Berger – SCT

loma (nosilnost 500 in 750 kN) na specialno avtoprikolico. Transportiramo jih preko levega viadukta do mesta montaže na prvem polju desnega viadukta. V ta namen izdelamo na koncu levega viadukta začasno rampo na objekt, ker 14. polje še ni končano. Za montažo na desnem viaduktu uporabimo isto avtodvigalo kot za demontažo, ki z enega stojišča zmontira vse glavne elemente drsne konstrukcije. Sam potek montaže je enak kot pri prvi montaži, le da sedaj montiramo po dva glavna nosilca skupaj. Demontaža in montaža traja 18 dni s 14 delavci raznih kvalifikacij.

**Zadnjo demontažo drsne konstrukcije** izvedemo po izdelavi 13. polja desnega viadukta. Del zadnjega prekladnega polja v dolžini 24,30 m izdelamo z zunanjim opažem, ki je oprt neposredno na delovni plato. Krajni opornik 14D še ni izdelan, ker bi oviral postopek demontaže. Izvajamo jo z avtodvigalom LIEBHERR LT 1090, nosilnosti 900 kN. Za demontažo opažnih podov in manjših sklopov pa

Vrstni red montaže drsne konstrukcije  
Bilfinger + Berger – SCT: Desni viadukt

1. Namestitev avtodvigala LG 1300
2. Montaža elementa 10
3. Nastavitev pomožnega stolpa 3
4. Montaža dvojnih elementov 1A 2A in 1B 2B
5. Namestitev pomožnega stolpa 1
6. Montaža dvojnega elementa 3A 4A in zgornjega dela konzole – levo
7. Montaža pomožnega stolpa 2
8. Montaža dvojnega elementa 5A 6A
9. Nastavitev pomožnega stolpa 4
10. Montaža dvojnega elementa 3B 4B in zgornjega dela konzole – desno
11. Montaža pomožnega stolpa 5
12. Montaža dvojnega elementa 5B 6B
13. Montaža elementov 9A in 9B
14. Montaža elementov 7A in 7B
15. Montaža elementa 8
16. Demontaža pomožnih stolpov
17. Demontaža avtodvigala LG 1300

Legenda k sliki 2

uporabimo stolpni žerjav na desnem viaduktu. Z avtodvigalom demontiramo glavne sestavne dele z enega stojišča, jih nalagamo na prikolico in takoj transportiramo na deponijo v Tesarskem obratu SCT. Vrstni red demontaže je obraten kot pri prvi montaži. Med demontažo naslanjamo glavne nosilce na pomožni temelj, ki je oddaljen 14 m od osi zadnjega stebra 13D. Demontaža traja 28 dni.

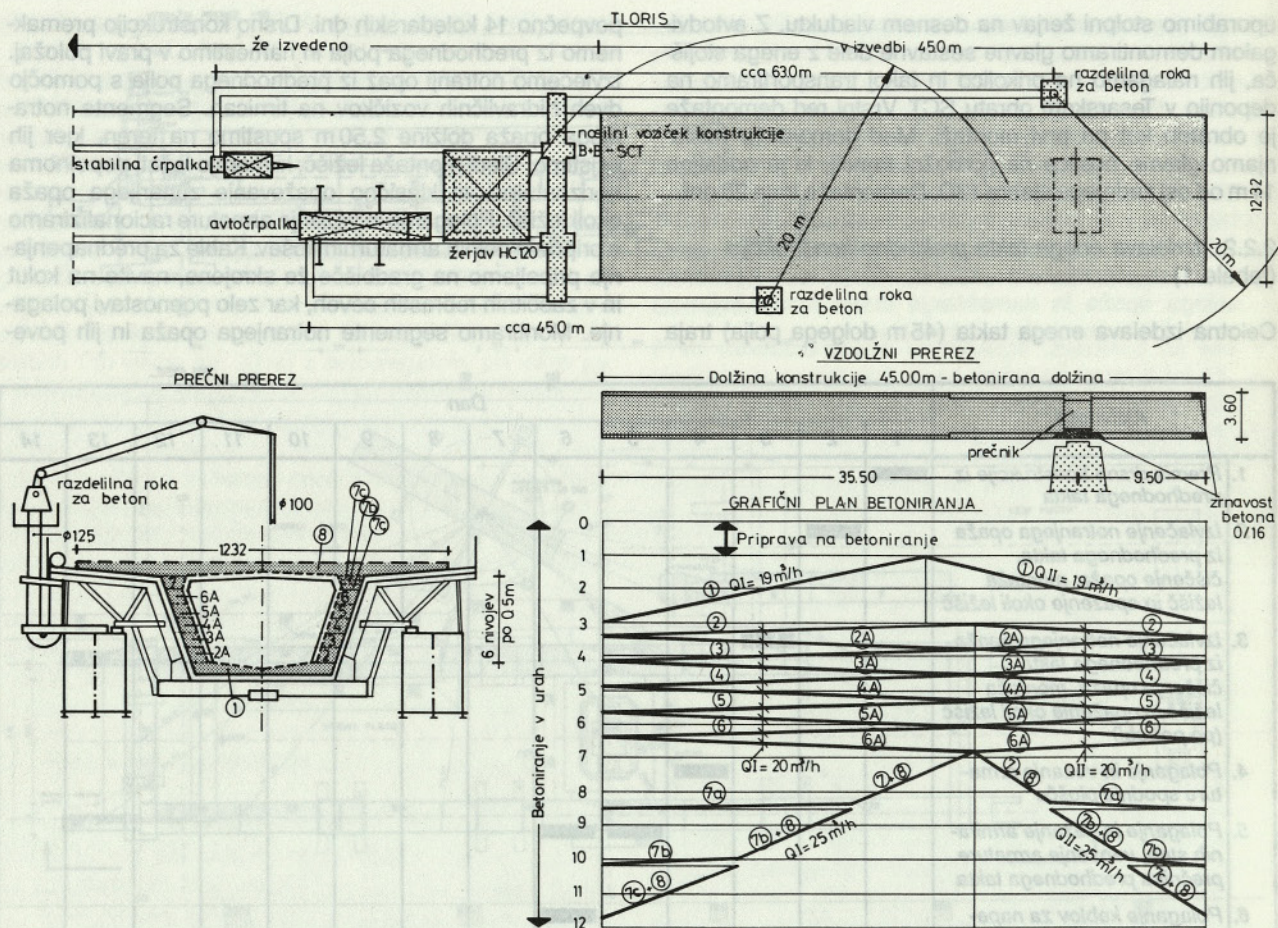
2.2.2. Izdelava enega takta prekladne konstrukcije (tabela 1)

Celotna izdelava enega takta (45 m dolgega polja) traja

povpečno 14 koledarskih dni. Drсно konstrukcijo premaknemo iz predhodnega polja in namestimo v pravi položaj. Izvlečemo notranji opaž iz predhodnega polja s pomočjo dveh hidravličnih vozičkov na tirnicah. Segmente notranjega opaža dolžine 2,50 m spustimo na teren, kjer jih očistimo. Sledi montaža ležišč, ki morajo ležati popolnoma horizontalno, in klasično opaževanje zunanega opaža okoli ležišč. Polaganje in vezanje armature racionaliziramo s pripravo delnih armaturnih košev. Kable za prednapenjanje pripeljemo na gradbišče že skrojene, navite na kolut in v zaščitnih rebrastih ceveh, kar zelo poenostavi polaganje. Montiramo segmente notranjega opaža in jih pove-

Aktivnosti	Dan													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Premik drsne konstrukcije iz predhodnega takta	■													
2. Izvlačenje notranjega opaža iz predhodnega takta, čiščenje opaža, montaža ležišč in opaževanje okoli ležišč		■												
3. Izvlačenje notranjega opaža iz predhodnega takta, čiščenje opaža, montaža ležišč in opaževanje okoli ležišč (po potrebi)			■ ■ ■											
4. Polaganje in vezanje armature spodnje plošče				■ ■ ■ ■										
5. Polaganje in vezanje armiranih sten, vezanje armature prečnika predhodnega takta					■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■								
6. Polaganje kablov za napenjanje, opaževanje prečnika predhodnega takta						■ ■ ■ ■								
7. Postavitev notranjega opaža, polaganje in vezanje armature zgornje plošče, opaževanje čela škatle, betoniranje prečnika predhodnega takta							■ ■ ■ ■							
8. Polaganje in vezanje armature zgornje plošče								■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■					
9. Postavitev sider za ograjo, alkatni cevi, varjenje vodil za betoniranje, montaža izlivnikov									■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■				
10. Postavitev sider za ograjo, alkatni cevi, varjenje vodil za betoniranje, montaža izlivnikov (po potrebi)										■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■			
11. Betoniranje takta											■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■		
12. Razopaževanje čela in obrobe												■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
13. Betoniranje žerjavne proge, priprava na napenjanje													■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
14. Napenjanje in injektiranje kablov, spuščanje drsne konstrukcije, odpiranje dna zunanega opaža														■ ■ ■ ■

Tabela 1: Terminski plan izdelave enega takta prekladne konstrukcije



Slika 3: Tehnologija betoniranja prekladne konstrukcije

Vgrajevanje betona z dvema črpalkama (QI + QII)

žemo z zunanjim opažem. Sledi polaganje armature zgornje plošče. Vsa železokrivska dela (ca. 87 ton armature) opravi 25 železokrivcev v 6 dneh. Postavimo še sidra za ograjo, montiramo izlivanje in navarimo vodila za betoniranje.

Vzporedno z naštetimi aktivnostmi izvajamo tudi klasično opaževanje, armiranje in betoniranje prečnika nad stebrom predhodnega polja. Prečnik betoniramo zaradi zelo goste armature s frakcijo 0/16 skozi odprtine, ki smo jih pustili v zgornji plošči škatle.

Vse notranje Transporte za navedena dela izvedemo s stolpnim žerjavom 120 HC s 50 m dolgo ročico, ki je postavljena na predhodnem polju za zgornjim vozom drsne konstrukcije. Pri izdelavi prvega takta pa je postavljen na pomožni konstrukciji za krajnim opornikom. Betoniranje takta je opisano v naslednjem poglavju. Ko doseže tlačno trdnost betona MB 30, napremo kable in jih takoj zainjektiramo. V naslednji fazi drsno konstrukcijo spustimo in odpremo dno zunanjega opaža. Po doseženi trdnosti betona MB 40 pa drsno konstrukcijo premaknemo v naslednje polje.

### 2.2.3. Tehnologija betoniranja prekladne konstrukcije (slika 3)

Za eno polje, dolgo 45 m, brez prečnika potrebujemo teoretično  $461 \text{ m}^3$  betona, praktično pa smo pripeljali na gradbišče  $475 \text{ m}^3$  betona. 22 delavcev ga vgradi v 12 urah. Najprej zabetoniramo spodnjo ploščo, nato stene v petih plasteh po 50 cm in nazadnje še zgornjo plast sten in zgornjo ploščo. Betonsko mešanico pripravljamo v betonarni SCT v Stožicah z minimalno proizvodnjo kapaciteto  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . Beton transportiramo do gradbišča s 16 do 18 avtomešalci. Z dvema črpalkama za beton transportiramo maso po jeklenih ceveh  $\phi 150 \text{ mm}$  horizontalno do dveh razdelilnih rok, montiranih na drsni konstrukciji. Razdelilni hidravlični roki, z dosegom vgrajevanja v radiju 20 m, porazdelita beton po celem polju. Beton vgrajujemo z vibracijskimi iglami  $\phi 57$  in sicer spodnjo in zgornjo ploščo s štirimi, stene pa z osmimi pervibratorji. Na mestu glav kablov za prednapenjanje beton dodatno vibriramo s 4 opažnimi vibratorji. Spodnjo ploščo betoniramo skozi odprtine  $\phi 20 \text{ cm}$  v stropu notranjega opaža. Zaradi poševnih sten škatle izdelamo posebna vodila, po katerih

spuščamo vibracijske igle. Posebno pozornost je potrebno posvetiti vgrajevanju betona ob kabelskih glavah. Da bi čimprej dosegli tlačno trdnost MB 40, dodamo betonu pospeševalec strjevanja – Omega in superplastifikator za boljše razmešanje betonske mase, ker je vodocementni faktor dokaj nizek. Po betoniranju zaščitimo beton pred izsuševanjem poleti s polivinilom, pozimi pa s polivinilom in PP-polstjo. V ekstremnih zimskih pogojih zapremo čelo konstrukcije in notranjost ogrevamo s plinskimi grelci do 45–50° C eno noč pred betoniranjem in tri dni po betoniranju, v betonarni pa ogrevamo frakcije in tako proizvedemo beton temperature 15–22° C. Beton ima naslednje karakteristike: MB 40, zrnavost 0/32 (5 frakcij), v/c 0,44. Za izdelavo betona uporabimo naslednja kemijska dodatka: superplastifikator Zeta, brezklorni superplastifikator in pospeševalec strjevanja betona Omega fluid (proizvod TKK – Srpenica). Na območju glav kablov in prečnika pa zaradi gostote armature uporabimo beton s frakcijami 0/16.

Da bi izključili možnost zastojev, zagotovimo nadomestila za vsa pri betoniranju uporabljena sredstva.

### 3. ZAKLJUČEK

Pogodbeni rok za izvedbo objekta je bil 18 mesecev in kasneje zaradi finančnih problemov in vojne podaljšan na 24 mesecev. Z veliko angažiranostjo tehničnega kadra in delavcev bo objekt zgrajen v predvidenem roku.

Že sedaj lahko rečemo, da smo v SCT uspešno končali gradnjo enega največjih cestnih objektov v Sloveniji. Z uporabo in osvojitvijo nove tehnologije gradnje viaduktov s sistemom pomične opažne konstrukcije smo sposobni zgraditi vse cestne premostitve z razponom 45 m.

### LITERATURA

ŽVAN Andrej: Vpliv izbranih konstrukcijskih rešitev opažnega sistema na operativno izvedbo viadukta Reber, Zbornik 13, zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, sept. 1991

# GRADNJA KANALIZACIJSKEGA OMREŽJA ZA MESTO CONSTANTINE V ALŽIRIJI

UDK 696.1+625.78

ANTONIJA ROTAR, VLADO VIDMAR

## POVZETEK

Gradnja primarnega kanalizacijskega sistema za mesto Constantine je zahtevala vzpostavitev osnovnih funkcij in proizvodnje v časovno omejenem obdobju. Pomenila je bistveno razliko v primerjavi z običajnim dograjevanjem mestnega kanalizacijskega sistema, ki v urejenih okoliščinah praviloma poteka tudi več desetletij.

## CONSTRUCTION OF CONSTANTINE TOWN SEWAGE SYSTEM – ALGERIA

## SUMMARY

The construction of a Primary Sewage System of the town of Consantine called for the creation of the basic functions and a system of operation in an extremely limited period of time. It required quite a different approach as compared with the usual completion of a municipal sewage systems which, in normal conditions, takes even some decades.

## 1. UVOD

Splošno ekonomsko stanje, zmanjšanje investicijskih možnosti in zaradi tega zmanjšanje obsega gradbenih del v domovini nujno sili slovensko gradbeništvo, da si po znanem reklu »s trebuchom za kruhom« poskuša najti svoj delež na tujih trgih.

Tako se je tudi SCT že dobro uveljavil na trgih Evrope, Azije (Bližnji vzhod) in severne Afrike, kjer je doslej opravil za več kot 1,2 milijardi USD investicijskih del. SCT se tako že drugo desetletje udeležuje mednarodnih licitacij, bodisi neposredno ali prek registriranih posrednikov.

Tako je SCT leta 1987 prek Rudisa, ki je v Alžiriji že renomirano podjetje, ponudil na mednarodni licitaciji najugosnejše pogoje za izgradnjo kanalizacijskega sistema in čistilne naprave v mestu Constantine.

Svetovna banka za razvoj je projekt podprla in ga sofinancirala.

Kljub sprejeti ponudbi je moral investitor zaradi političnih pritiskov oddati izgradnjo čistilne naprave lokalnemu izvajalcu, medtem ko je slovenski »navezi« RUDIS – SCT poveril izgradnjo primarnega kanalizacijskega omrežja.

## 2. OSNOVNE KRAJINSKE ZNAČILNOSTI MESTA

Mesto Constantine leži na planoti Numide, 430 km vzhodno od prestolnice Alžira in 80 km južno od obale Sredozemskega morja. Nadmorska višina je med koto 690,00 in 342,00 (v zimskem času običajno sneži samo v zgornjem delu mesta).

Najpomembnejša reka je Rhumel, ki teče skozi mestno središče v globoki soteski, prek katere je razpetih več atraktivnih mostov.

Leta 1987 je bilo v mestu, grajenem za približno 300.000 ljudi, registriranih že 662.330 prebivalcev.

Gradnja infrastrukture ni sledila hitri in nenačrtovani urbanizaciji in tako je neurejena kanalizacija postala eden ključnih problemov mesta.

### Avtor:

Antonija Rotar, dipl. ing., SCT Projekt nizke zgradbe, d.o.o., Kardeljeva ploščad 20, Ljubljana  
Vlado Vidmar, dipl. ing., SCT International, d.o.o., Tivolska 50, Ljubljana  
Fotografije: Marko Hribar





Slika 1: Polaganje cevi premera 1600 mm v »boljših« pogojih

### 3. PROJEKTNÁ ZASNOVA KANALIZACIJSKEGA OMREŽJA in tretiranja odpadnih vod

Detajlni idejni projekt kanalizacije: AVANT PROJECT DE-TAILLE je izdelala francoska firma SOGREAH iz Grenobla.

Osnovni koncept je mešani sistem kanalizacije. Na čistilno napravo je voden odtok 3 Qsušni: presežek meteorne vode pa se preliva prek razbremenilnikov v odvodnike. Zaradi slabe poraščenosti tal z vegetacijo pride do takojšnjega odtoka, kar je povzročalo težave izvajalcem zbiralnikov v rečni strugi.

Celotna dolžina projektiranih kanalov znaša:

- primarni zbiralniki  $\Sigma L = 34.000$  m
- sekundarni zbiralniki:  $\Sigma L = 35.000$  m

Profili kanalov so od  $\varnothing 300$ – $\varnothing 2000$  mm v litoželezni, armiranobetonski in jekleni izvedbi.

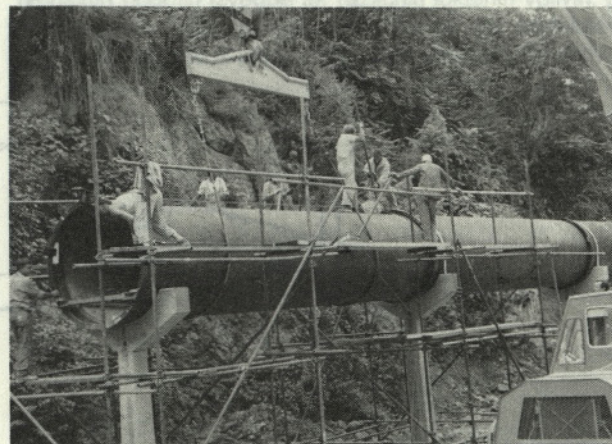
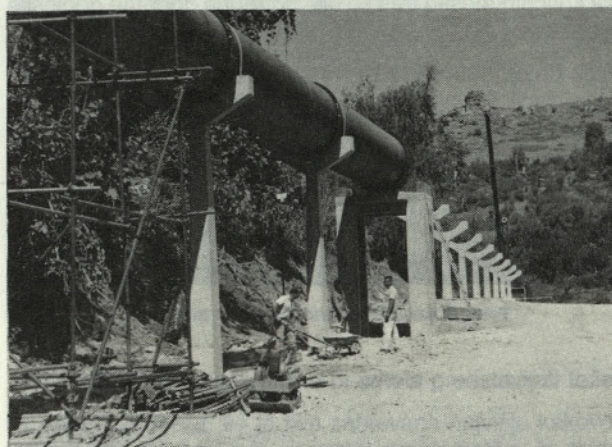
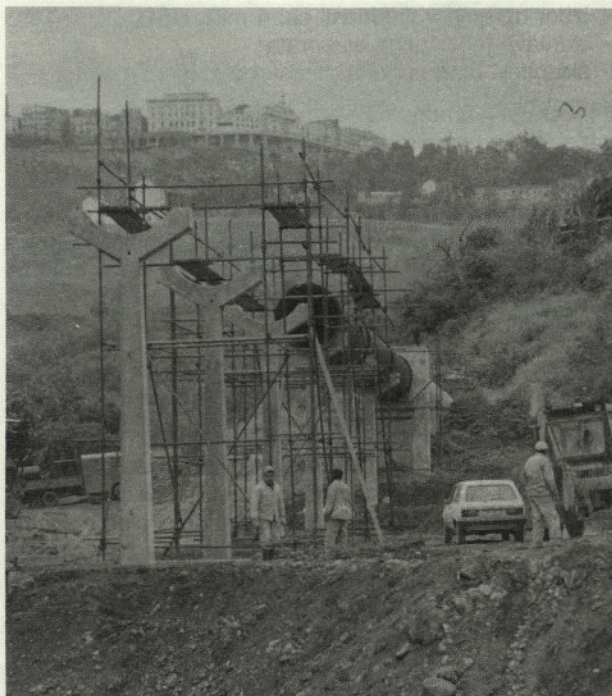
Izjemna razgibanost terena in s strani investitorja odklonjena uporaba sifonskih povezav sta projektantu narekovali povsem specifične rešitve:

- potek zbiralnikov v dnu rečnih vadijev zaradi nestabilnih brežin;
- nadzemni poteki zbiralnikov na večji dolžini in višini do 8 m nad terenom;
- potek zbiralnika prek obstoječih jeklenih mostov, starih več kot 100 let (izvajalec je izdelal študijo o ustreznosti nosilnosti mostov);
- Povezava zbiralnika  $\varnothing 1600$  mm na razdalji 1400 m v galeriji in predoru ter višinskem padcu 112 m v živi skali.

#### Priprave na gradnjo:

Ker je investitor skoraj za eno leto odložil začetek del, so bile opravljene temeljite priprave na gradnjo z naslednjimi aktivnostmi:

- izbor tehnične in vodstvene ekipe;



Slika 2: Litoželezne cevi premera 1600 mm na betonskih stebrih

- izbor opreme v vrednosti ca. 4 milij. USD;
- izdelava tehničnega elaborata;
- sklenitev vseh pogodb za oskrbo z vsemi resursi.

Po izbranem uradnem nalogu za pričetek del se je z ladjo odpemila prva potrebna oprema in poslala prva ekipa na gradbišče.

V štirih mesecih je ta ekipa v bolj ali manj pionirskih razmerah postavila naselje za 120 ljudi, tehnično bazo z betonarno, tovarno arm. betonskih cevi danske firme VIHJ, tesarsko, železokrivsko in mehanično delavnico, črpalke za gorivo, idr.

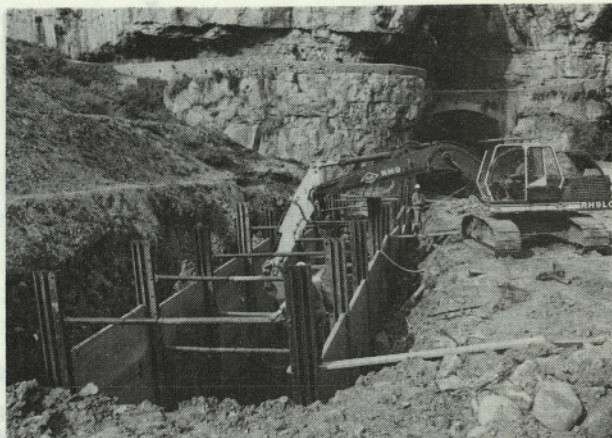
Sočasno s pripravljalnimi deli se je na gradbišču osnoval projektivni biro za izdelavo izvedbenih projektov.

Ker je projekt za izvedbo predstavljal tudi osnovo za pridobitev gradbenega dovoljenja, obračuna izvedenih del in v končni fazi projekt izvršenih del, je bil postopek s strani investitorja zapleten in dolgotrajen. Poleg običajne detaljne vsebine tovrstne dokumentacije je bil potreben grafični in računski prikaz del in materiala za dejanski obračun. V nekaterih primerih je bila fizična izvedba na gradbišču hitrejša kot postopek potrditve.

Dela so se pričela leta 1989.

Na kritičnih mestih tras so bile potrebne dodatne geološke raziskave.

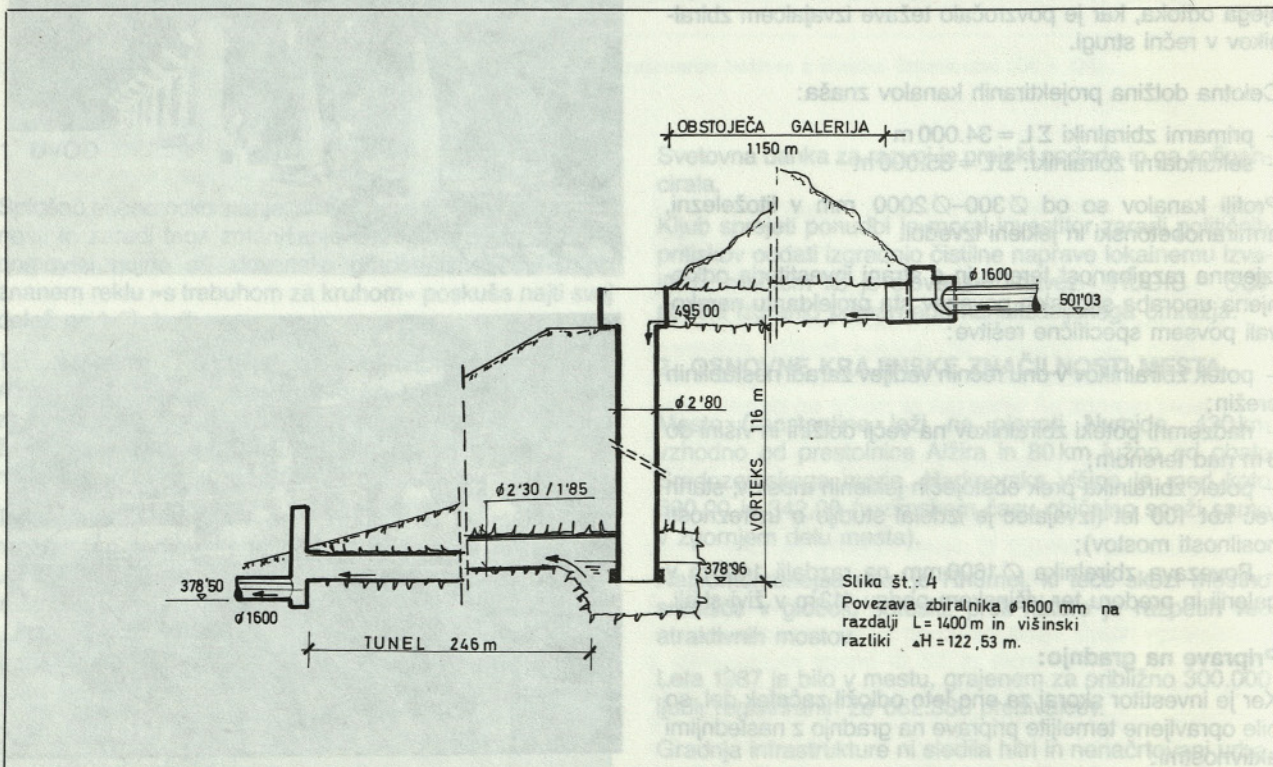
Velik delež del je predstavljala zaščita vseh objektov na kanalizaciji v vplivnem območju 10-letne vode vodotokov z upoštevanjem višine 100-letnih vod.



Slika 3: Gradnja v opaženem izkopu ob nestabilni brežini

Zahtevana je bila projektna rešitev in izvedba trajne stabilnosti brežin in terena v območju gradnje zbiralnikov na geološko izredno nestabilnem terenu. Za ta namen so bili uporabljeni površinska odvodnja, drenaža, gabioni in težki skalometi.

Vsekakor je bil glede kanalizacijskih pogojev najzahtevnejši objekt vertikalni jašek višine 112 m, imenovan Vortex, premera  $\varnothing 2,80$  m, (nem. Wirbelfallschacht), vrtan v živi skali.

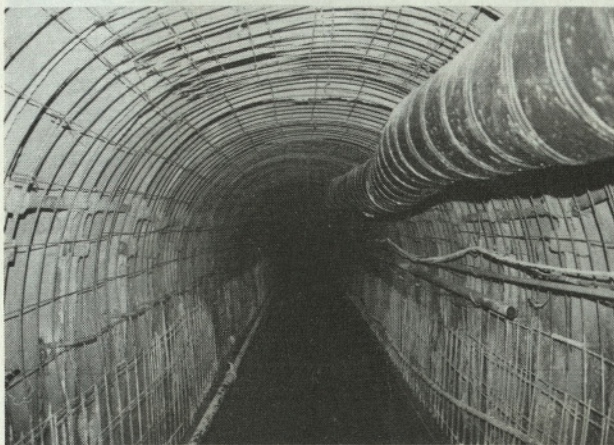


Slika 4: Povezava zbiralnika premera 1600 mm na razdalji  $L = 1400$  m in višinski razliki  $H = 122,53$  m

Nekaj težav je bilo tudi z gradnjo horizontalnega predora dim.  $1,85 \times 2,30$  m. Dela so bila zaradi vdora vode in blaga iz kaverne (vodnega zbiralnika) in nujnih dodatnih geoloških raziskav prekinjena za 3 mesece. Dela je izvajala specializirana ekipa rudarjev RGD Trbovlje in so bila skupno z obbetonazo predora in Vortexa v zadovoljstvo investitorja uspešno končana.

Čiščenje obstoječe galerije premera  $1,5 \times 2,0$  m v dolžini 1150 m, ki je pred leti služila za dovod vode na elektrarno, je bilo opravljeno s posebnim primerno majhnim izkopno-transportnim strojem.

Za izvedbo tega projekta je značilen tudi neobičajen investitorski način realizacije. Od ponudnikov se je zahtevala istočasna izdelava APD projekta (po naše PGD) in izvedba na osnovi opisa del in količin iz idejnega programa. Tako je investitor šele po izdelavi projekta PGD ugotovil, da ne bo zmožol financirati celotnega kanalizacijskega sistema.

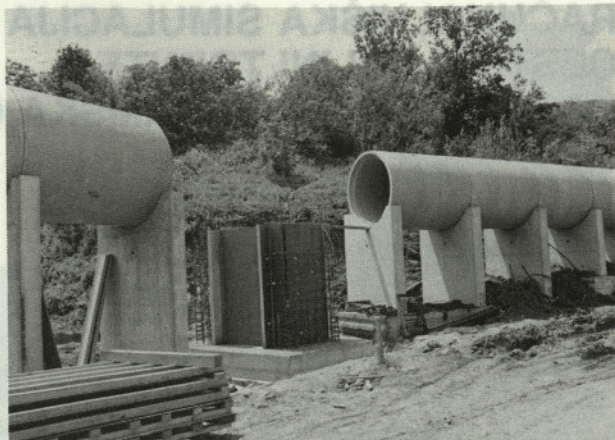


Slika 5: Gradnja predora

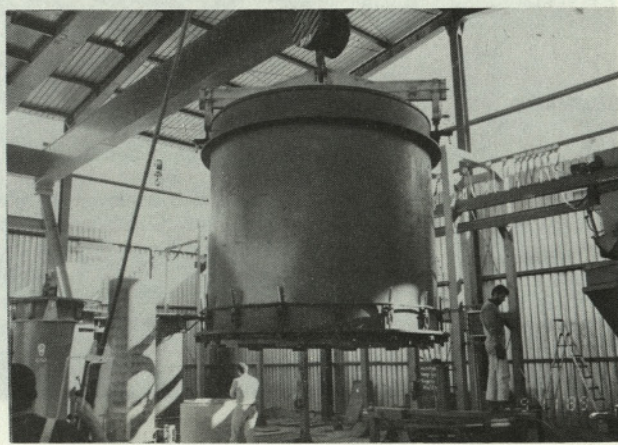
Odločil se je, da odda le najzahtevnejše odseke, medtem ko naj bi sekundarne kanale izvajale lokalne firme.

## SKLEP

V običajnih razmerah in okoliščinah izgradnja mestnega



Slika 6: Betonske cevi premera 1600 mm na stenskih poporah



Slika 7: Proizvodna hala armiranobetonskih cevi

kanalizacijskega sistema ne bi smela predstavljati težav.

V danem primeru, ko je bila zahtevana najvišja kakovost izvedenih del pri vsej pestrosti problematike in težkih tehničnih pogojih izvedbe ter različnih lokalnih vplivih, pa je realizacija tega projekta pomenila za vse sodelujoče izziv in dragoceno izkušnjo pri graditvi tovrstnih objektov.

# RAČUNALNIŠKA SIMULACIJA VOŽNJE PO BODOČI TRASI CESTE V DOLINI TRENTE POSTOPKI IN PROGRAMSKA OPREMA

UDK 656.1:681.3.06

MATJAŽ ŠAJN

## POVZETEK

Članek opisuje postopke in programsko opremo za izdelavo računalniške simulacije vožnje po dveh variantah namišljene bodoče trase ceste v dolini Trente, ki so bili uporabljeni za izdelavo videokasete. Pričujoči dosežek je za podjetje SCT Projekt Nizke zgradbe in podjetje CGS pomemben mejnik, saj smo dokazali, da znamo in zmremo izdelati fotorealistično računalniško video animacijo svetovnega razreda.

COMPUTER SIMULATION OF A CAR RIDE ON THE FUTURE ROAD ROUTE IN THE VALLEY OF TRENTO. TECHNIQUES AND SOFTWARE.

## SUMMARY

The article describes the techniques and software, used for the production of video cassette with computer generated simulation of a ride on two alternative future roads, foreseen for Trenta valley. The presented achievement is an important turning-point for both companies "SCT Projekt Nizke zgradbe" and "CGS" and a proof that we can and know-how to do a photorealistic computer video simulation on the world class level.

## 1. UVOD

Vožnja po trasi bodoče ceste je prav gotovo sen vsakega snovalca, projektanta cestnih objektov. Do nedavna je le človeška domišljija pomagala pri predstavi ujemanja novega objekta z naravnim okoljem in pri oceni posega, ki ga pomeni načrtovani projekt. Danes so tehnične možnosti in naše znanje toliko napredovali, da lahko sprehod in prelet okoli ali skozi načrtovani objekt posnamemo s pomočjo računalnikov na video trak. Posegi v neokrnjeno naravo so postali odgovorno in administrativno zapleteno dejanje; prepričevanje investitorjev in vseh prizadetih v pravilnost zasnove objekta je lahko bistveno uspešnejše, če prizadetim zavrtimo računalniško izdelan video posnetek bodočega stanja okolja, v katerega posegamo.

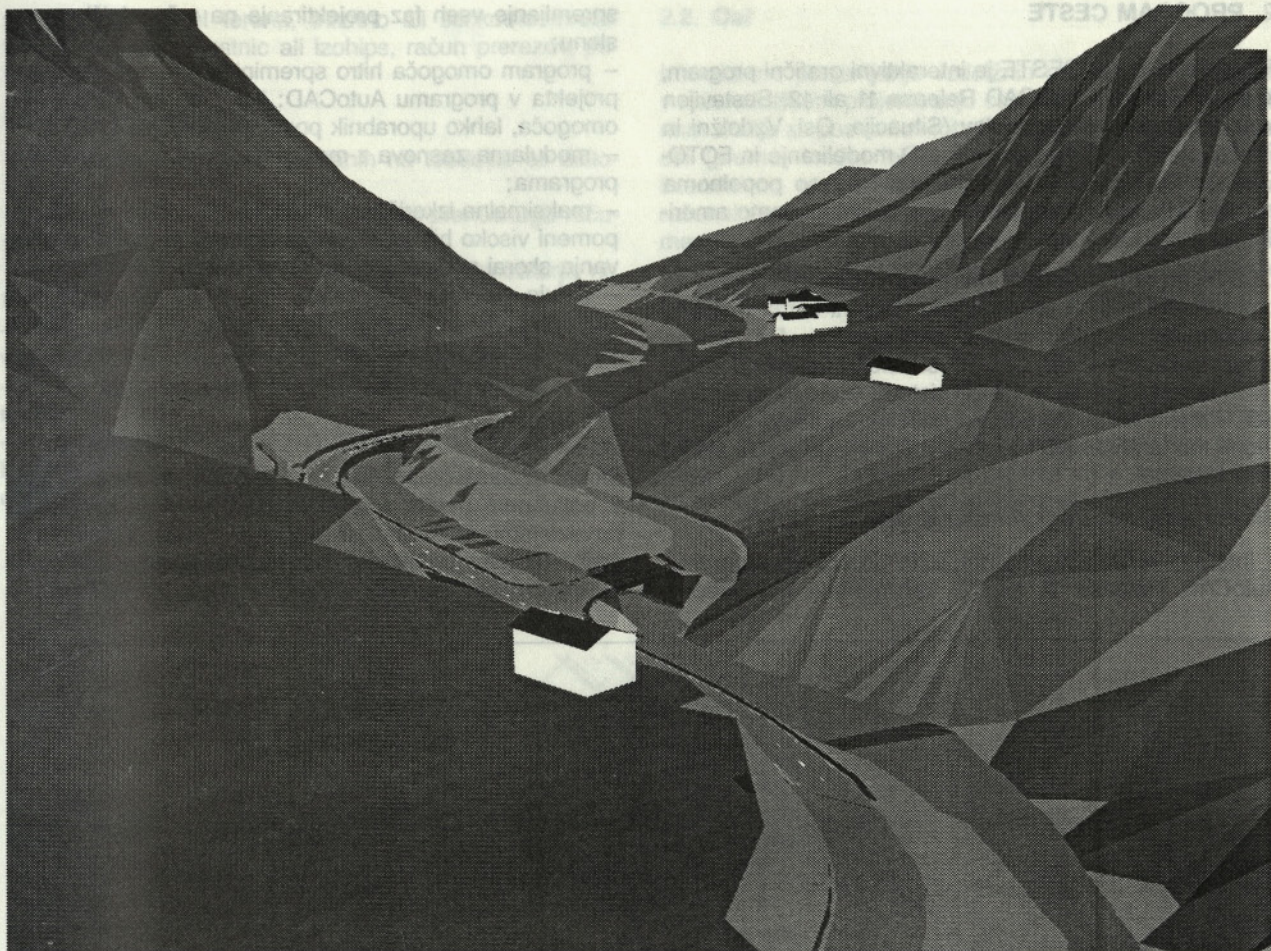
Zasnova cestne trase v zgornjem delu doline reke Soče, v zgornji Trenti, natančneje rešitev pri Furlanovem mostu, je bila resna in zahtevna naloga za vse sodelavce pri izdelavi video animacije, saj obravnavano območje leži v Triglavskem narodnem parku. Kljub težko premostljivim tehničnim in finančnim problemom smo prvi v Sloveniji uspeli izdelati fotorealistično simulacijo in primerjavo vožnje po dveh variantah bodoče trase ceste v dolini Trente. Naročnik animacije, Republiška uprava za ceste, je nalogo zaupala ekipi, ki so jo sestavljali projektanti iz SCT Projekt nizke zgradbe, oddelek za ceste, strokovni sodelavci za računalniško grafiko iz podjetja CGS Ljubljana, team sodelavcev za rendering in animacijo iz podjetja ARXEL Ljubljana in ekipa video studia Kregar. Naloga ne bi bila izvedljiva brez velike delovne vneme in požrtvovalnosti celotne ekipe.

### 1.1. Računalniško projektiranje cest v SCT Projekt NZ

Začetki računalniškega projektiranja cest v Sloveniji segajo kakih 22 let nazaj, ko so takratne ugodne gospodarske razmere še omogočale, da so se naši projektanti

Avtor:

Matjaž Šajn, dipl. ing., CGS, Računalniška grafika  
in CADD sistemi, d.o.o., Kardeljeva ploščad 20, Ljubljana



Slika 1: Računalniški 3D model doline Trente

kosali s tujimi podjetji. Tedaj so uporabljali za današnje pojme predpotopne računalnike, uvožena programska oprema pa je bila za tiste čase presenetljivo dobra in je večinoma izhajala iz ugledne hiše IBM. Ta programski izvor so kasneje koristili mnogi razvijalci programske opreme za projektiranje cest pri nas in v tujini. Domače znanje je tedaj temeljilo izključno na tujih produktih.

V SCT Projekt se je resnejše delo pri vpeljevanju računalniškega projektiranja v prakso začelo pred približno petimi leti, ko smo začeli z načrtno in profesionalno računalniško podporo vsem projektantom gradbenikom in arhitektom. Dejavnost, imenovana »CADD Management« je bistveno vplivala na pravilne odločitve. S preiščeno izbiro standardnih programskih orodij, zanesljivih dobaviteljev računalniške strojne opreme, z nenehnim izobraževanjem (preko 50 enotedenskih seminarjev) in z ustrezno stimulacijo sodelavcev, smo doseli zavidljiv nivo uporabniške kulture.

Oddelek za ceste razpolaga danes s šestimi PC grafičnimi postajami (vsaka vrednosti ca. 20.000 DEM), dvema postajama za vnos podatkov in z lokalno računalniško

mrežo, ki omogoča nemoten pretok informacij med projektanti, racionalno porazdelitev pomnilniških enot, enot za arhiviranje in naprav za izris in izpis tehnične dokumentacije.

Jedro programske opreme tvorita programa AutoCAD Release 11 in program CESTE, ki je plod domačega znanja in popolnoma integriran v okolje programa AutoCAD. Spremljajoča programska oprema temelji na okolju Windows 3.1, kamor spadajo urejevalniki besedil in baze podatkov. Za integracijo v mrežni sistem skrbi operacijski sistem Novell Netware 3.11.

Programski paket CESTE je vitalni, dinamični del sistema za računalniško projektiranje cest. Zasnovan pred približno štirimi leti, je danes prerasel v najresnejši slovenski produkt za računalniško projektiranje cest. Program CESTE je udejanjenje znanj in idej mnogih slovenskih projektantov, ki so si že dolgo želeli ustrezen domači program. Izdelan program CESTE in »know-how«, ki smo ga pridobili ob njegovem razvoju skozi zadnja štiri leta, so nam omogočili, da smo se lahko lotili izdelave računalniškega 3D modela doline Trente.

## 2. PROGRAM CESTE

Programski paket CESTE je interaktivni grafični program, ki deluje v okolju AutoCAD Release 11 ali 12. Sestavljen je iz štirih osnovnih modulov (Situacija, Osi, Vzdolžni in Prečni profili) in dveh opcij (3D modeliranje in FOTOGR), ki delujejo lahko kot celota ali pa so popolnoma samostojni. Za digitalni model terena uporabljamo ameriški program Quicksurf.

CESTE so prvi slovenski interaktivni grafični program za projektiranje cest in predstavljajo bistveni korak naprej v računalniški obdelavi cestne problematike. Pri razvoju programskega paketa CESTE sodelujejo podjetje CGS, Računalniška grafika in CADD sistemi, d.o.o. iz Ljubljane, SCT Projekt Nizke Zgradbe – oddelek za ceste FAGG – Prometno tehniški inštitut iz Univerze v Ljubljani in Investburo Koper.

Glavne značilnosti programskega sistema CESTE so:

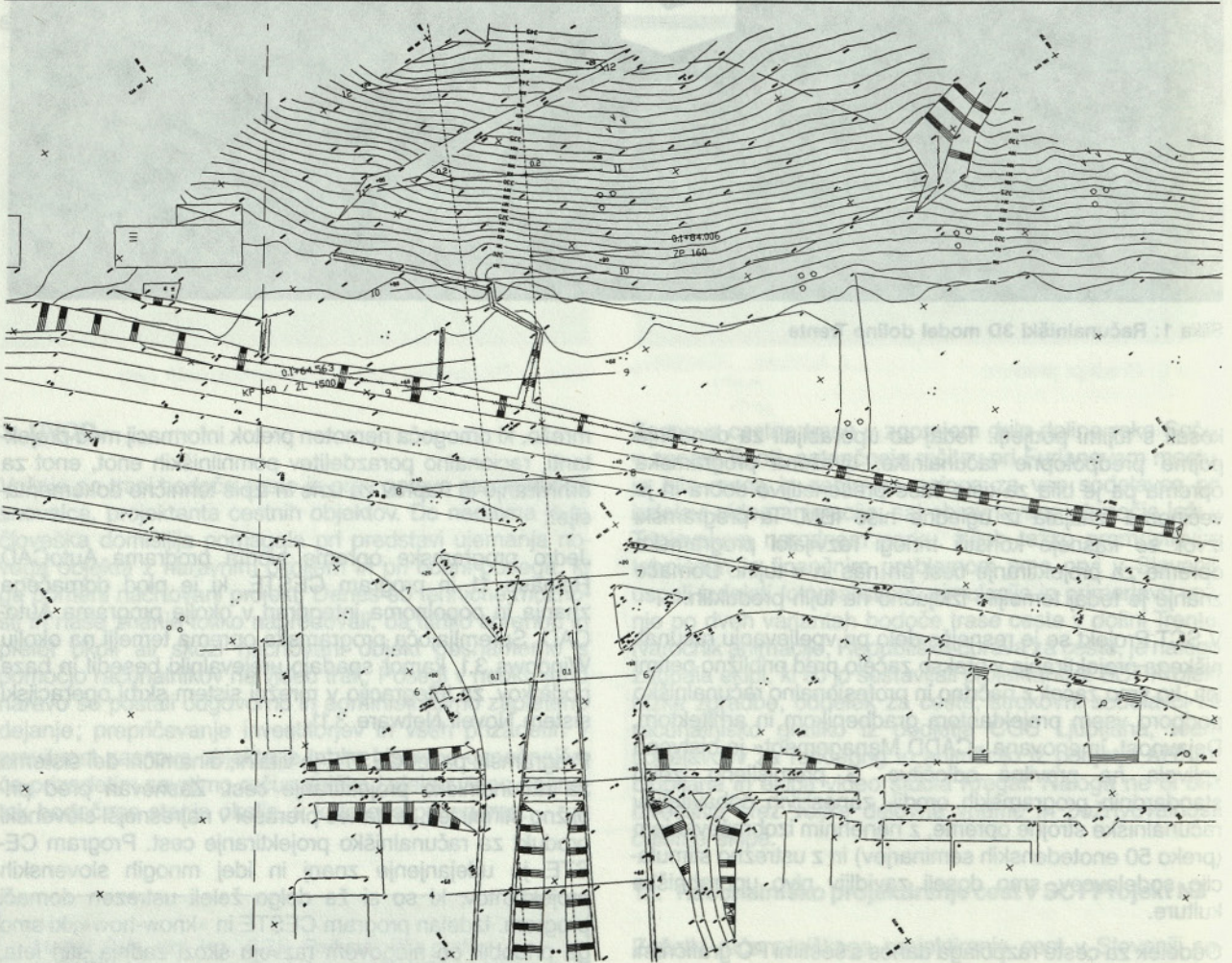
– interaktivni grafični program, ki deluje v okolju programa AutoCAD Release 11 ali 12, kar pomeni neposredno

spremljanje vseh faz projektiranja na računalniškem zaslonu;

- program omogoča hitro spreminjanje in dopolnjevanje projekta v programu AutoCAD: kar program CESTE ne omogoča, lahko uporabnik postori v AutoCADu;
- modularna zasnova z možnostjo postopnega uvajanja programa;
- maksimalna izkoriščenost računalnikovih kapacitet, kar pomeni visoko hitrost izvajanja operacij in možnost reševanja skoraj neomejeno velikih primerov iz prakse;
- deluje na vseh platformah, kjer je na razpolago tudi AutoCAD: PC 286, 386, 486, SUN, DIGITAL, Silicon Graphics, Hewlett Packard – Apollo.

### 2.1. Situacija

Modul Situacija omogoča izris poligonskih in detajlnih točk v poljubnem merilu s topografskimi simboli, oznakami, povezavami, šrafurami za ukope in nasipe. Vgrajenih je preko 100 topografskih simbolov, zakoličevanje, parcelacija. Integracija programa QuickSurf omogoča pretvorbo v



Slika 3: Primer načrta situacije

3D digitalni model terena, trikotno ali štirikotno mrežo terena, izdelavo plastnic ali izohips, račun prerezov, površin in volumnov.

Podatke lahko vnašamo:

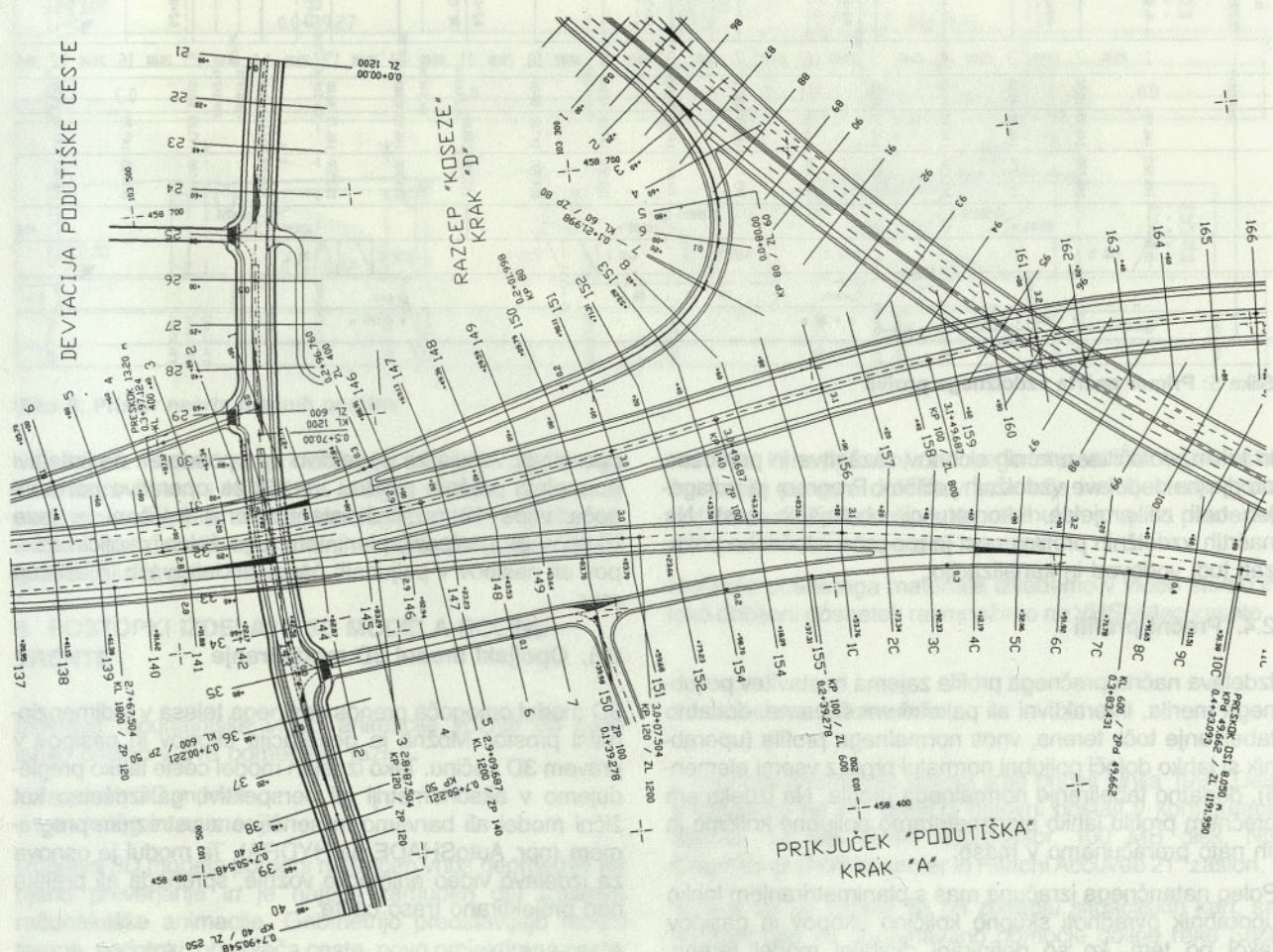
- s tipkanjem podatkov, odčitanih na teodolitu ali distomatu,
- s prenosom podatkov preko kabla iz prenosnega računalnika,
- s prenosom podatkov preko kabla iz registratorja na teodolitu,
- preko skenerja (optičnega čitalnika) iz obstoječih kart v poljubnem merilu,
- preko digitalne table iz obstoječih kart v poljubnem merilu,
- z opcijskim modulom FOTO-GR lahko črpamo podatke, ki jih posreduje Geodetski zavod Slovenije. Te podatke dobimo s pomočjo fotogrametrije.

## 2.2. Osi

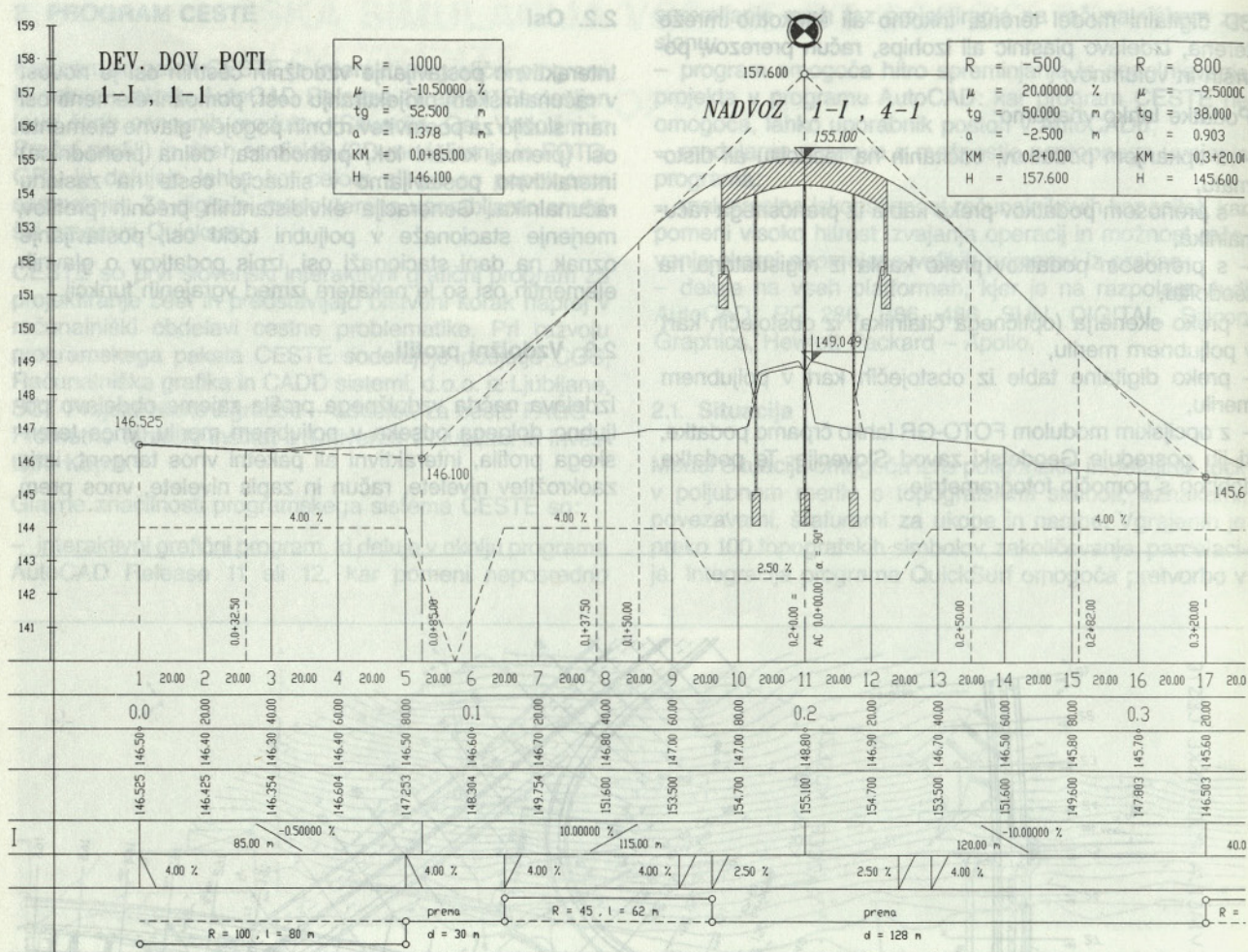
Interaktivno postavljanje vzdolžnih cestnih osi je novost v računalniškem projektiranju cest: pomožni elementi osi (prema, krožni lok, prehodnica, delna prehodnica) interaktivno postavljamo v situacijo ceste na zaslonu računalnika. Generacija ekvidistantnih prečnih profilov, merjenje stacionaže v poljubni točki osi, postavljanje oznak na dani stacionaži osi, izpis podatkov o glavnih elementih osi so le nekatere izmed vgrajenih funkcij.

## 2.3. Vzdolžni profili

Izdelava načrta vzdolžnega profila zajema obdelavo poljubno dolgega odseka v poljubnem merilu, vnos terenskega profila, interaktivni ali paketni vnos tangent, izris zaokrožitev nivelete, račun in zapis nivelete, vnos prem



Slika 4: Primer načrta cestnega križanja



Slika 5: Primer načrta vzdolžnega profila

in krivin, določitev prečnih sklonov, razširitve in pomožna orodja za dodelave vzdolžnih profilov. Program je prilagojen tudi za projekte rekonstrukcij obstoječih cest. Na načrtih vzdolžnih profilov je mogoče istočasno prikazati tudi vodovod in kanalizacijo.

#### 2.4. Prečni profili

Izdelava načrta prečnega profila zajema nastavitve poljubnega merila, interaktivni ali paketni vnos terena, dodatno tabeliranje točk terena, vnos normalnega profila (uporabnik si lahko določi poljubni normalni profil z vsemi elementi), dodatno tabeliranje normalnega profila. Na izdelanem prečnem profilu lahko planimetriramo poljubne količine in jih nato preračunamo v mase.

Poleg natančnega izračuna mas s planimetriranjem lahko uporabnik ovrednoti skupno količino ukopov in nasipov takoj po tem, ko so definirani digitalni model terena, tlorisni, višinski potek osi ceste in karakteristični normalni profil.

Obstajata dve verziji prečnih profilov: za projektivo in za

operativo. Verzija za projektivo ima poudarek na izdelavi normalnih prečnih profilov, verzija za operativo pa omogoča vnos 12 različnih stanj terena (raščeni in faze izkopov ali nasipov), planimetriranje zelenih količin izkopov ali nasipov v poljubnih časovnih intervalih in izračun mas.

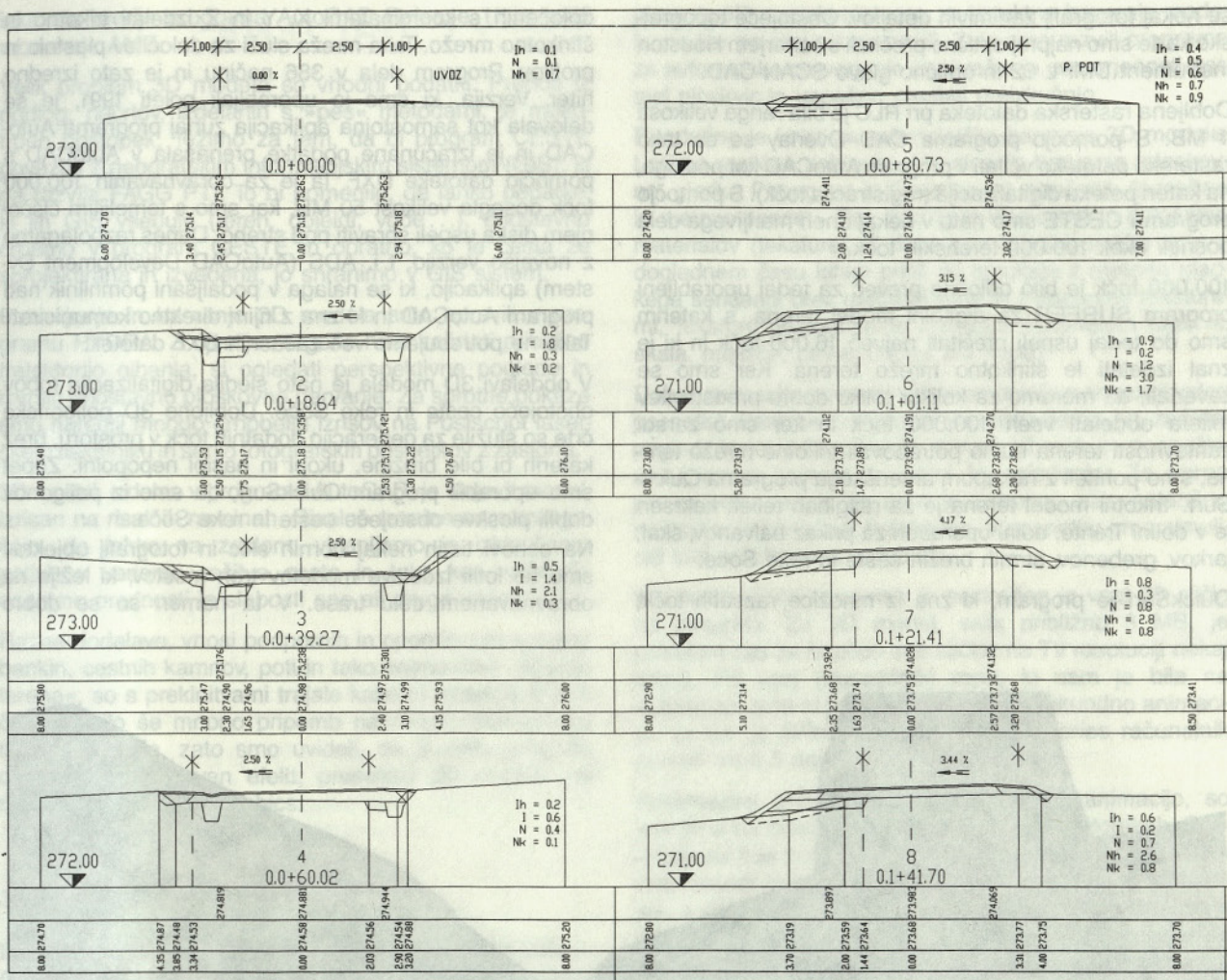
#### 2.5. Opcijski modul 3D modeliranje

3D modul omogoča prenos cestnega telesa v tridimenzionalni prostor. Možna je generacija ukopov in nasipov v pravem 3D načinu. Tako izdelan model ceste lahko pregledujemo v aksonometriji ali perspektivi, ga izrišemo kot žični model ali barvamo in senčimo z ustreznim programom (npr. AutoSHADE ali HYDRA). Ta modul je osnova za izdelavo video animacije vožnje, sprehoda ali preleta nad projektirano traso ceste.

#### 2.6. Opcijski modul FOTO-GR

FOTO-GR modul omogoča direktno zajem podatkov iz datotek, ki nam jih posreduje Geodetski zavod Slovenije





Slika 6: Primer načrta prečnih profilov

v Ljubljani. Podatki so pridobljeni s pomočjo digitalnega kartirnega sistema KORK za fotogrametrično zajemanje podatkov o objektih, cestah, topologiji, vodotokih, kulturnih mejah, nadzemnih komunalnih vodih, železnici, jarkih, grebenih in drugih vsebinah.

**3. POSTOPKI IZDELAVE 3D MODELA DOLINE TRENTE**

Izdelavo računalniške (video) animacije vožnje po cesti lahko delimo v dve pomembni fazi:

- izdelava 3D modela,
- rendering in animacija.

Izdelava 3D modela pomeni natančen vnos geometrije ter njeno preverjanje in je najbolj zamuden del izdelave računalniške animacije. Geometrijo predstavljajo model terena, vodotoki, obstoječa cesta, novo projektirana cesta, obstoječi in novo projektirani objekti – mostovi, poti, spremljajoči objekti – hiše, zidovi.

Rendering pomeni določanje barv, materialov, tekstur in

svetlobe, ki so potrebni za doseg fotorealističnega efekta. Animacija pomeni določitev scenarija in trajektorije gibanja kamere. Za ta del posla potrebujemo veliko procesorsko moč in ustrezno video opremo.

Montažo posnetega materiala izvedemo v video studiu in tako dobljeni posnetek razmnožimo na VHS video kasete.

**3.1. Izdelava 3D modela**

Z vnosom geometrije terena smo pričeli junija 1991. Delo je potekalo na PC grafični delovni postaji v konfiguraciji 386/25, 12 MB RAM, koprocesor, 100 MB disk, Nth Graphics grafični kontroler in Hitachi Accuvue 21" zaslon.

Težave so se začele že pri zbiranju situacijskih kart, saj so nam bile za obravnavano območje doline reke Soče dostopne le situacijske karte v merilu 1 : 5000. Vemo pa, da že za idejni projekt uporabljamo karte v merilu 1 : 1000. Kljub nekaj skicam obstoječih in zasnovanih objektov je bilo podatkov premalo, zato smo na mestu samem posneli

še nekaj fotografij zanimivih detajlov. Obstoječe topografske karte smo najprej optično prečitali s sanerjem Houston Instrument DMPL 62 in optično glavo SCAN-CAD.

Dobljena rasterska datoteka pri RLC je bila ranga velikosti 4 MB. S pomočjo programa CAD-Overlay se da tako rastersko datoteko včitati v program AutoCAD kot podlogo, na kateri poteka digitalizacija (registracija točk). S pomočjo programa CESTE smo nato v nekaj dneh marljivega dela posneli okoli 100.000 terenskih točk.

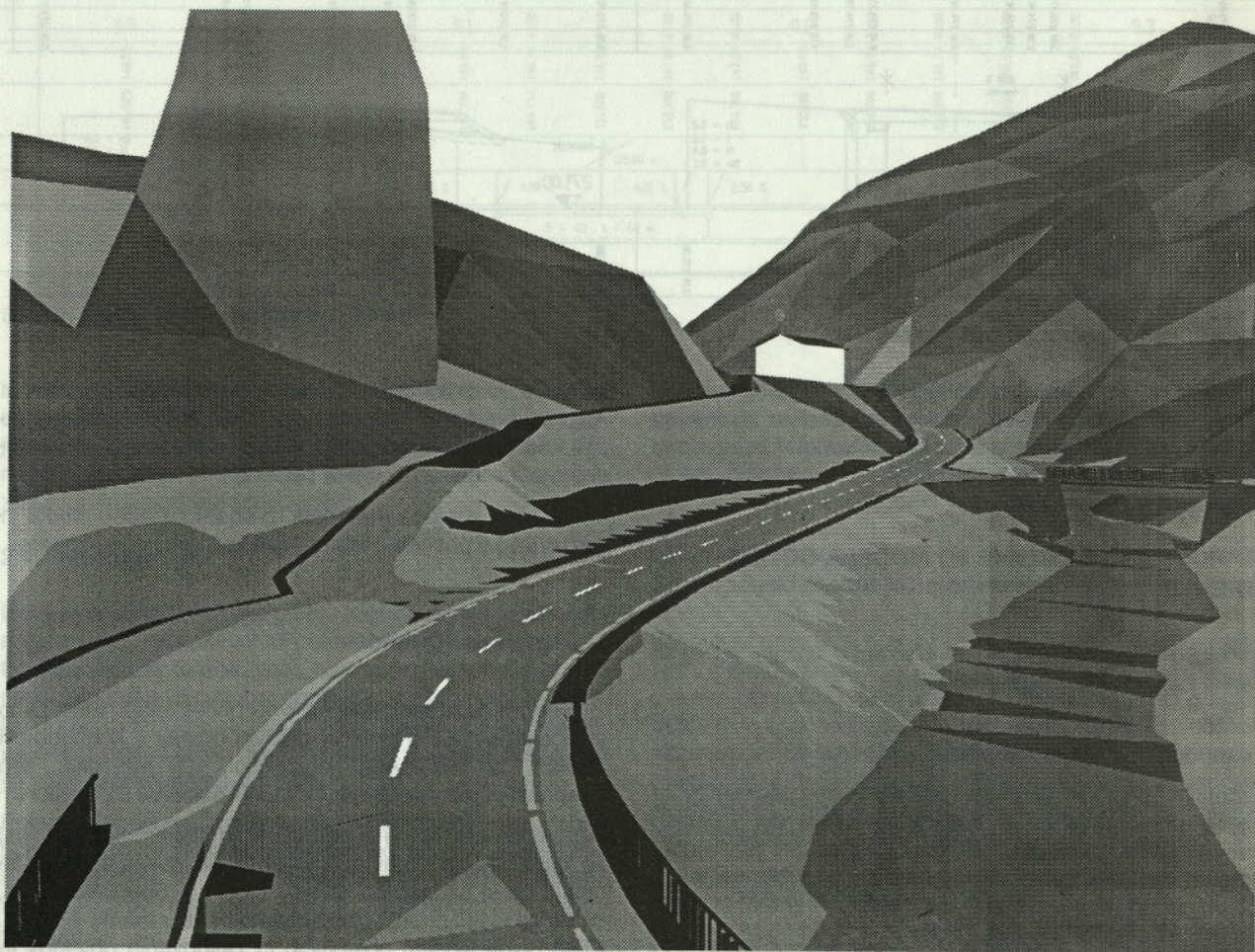
100.000 točk je bilo odločno preveč za tedaj uporabljeni program SURFER za digitalni model terena, s katerim smo do tedaj uspeli prečitati največ 16.000 točk in ki je znal izdelati le štirikotno mrežo terena. Ker smo se zavedali, da moramo za kolikor toliko dobro predstavitev reliefa obdelati vseh 100.000 točk in ker smo zaradi zahtevnosti terena nujno potrebovali trikotno mrežo terena, smo pohiteli z nakupom ameriškega programa QuickSurf. Trikotni model terena je za razgiban relief, kakršen je v dolini Trente, edini uporaben za prikaz balvanov, skal, jarkov, grebenov, strmih brežin ceste in reke Soče.

QuickSurf je program, ki zna iz množice razsutih točk,

določenih s koordinatami X, Y in Z izdelati trikotno in štirikotno mrežo. Taka mreža služi za določitev plastnic in profilov. Program dela v 386 načinu in je zato izredno hiter. Verzija, ki smo jo uporabljali poleti 1991, je še delovala kot samostojna aplikacija zunaj programa AutoCAD in je izračunane podatke prenašala v AutoCAD s pomočjo datoteke DXF. Ta je za obravnavanih 100.000 točk dosegla velikost 50 MB, kar smo s temeljitim čiščenjem diska uspeli spraviti pod streho. Danes razpolagamo z novejšo verzijo, t. i. ADS (AutoCAD Development System) aplikacijo, ki se nalaga v podaljšani pomnilnik nad program AutoCAD in ki zna z njim direktno komunicirati. Tako ne potrebujemo več začasnih DXF datotek.

V obdelavi 3D modela je nato sledila digitalizacija robov obstoječe ceste in reke Soče. Dobljene 3D poligonske črte so služile za generacijo dodatnih točk v prostoru, brez katerih bi bile brežine, ukopi in nasipi nepopolni. Zopet smo uporabili program QuickSurf, da smo iz poligonov dobili ploskve obstoječe ceste in reke Soče.

Na osnovi tistih nekaj bornih skic in fotografij objektov smo se lotili izdelave modelov treh mostov, ki ležijo na obravnavanem delu trase. V ta namen so se dobro



Slika 2: Računalniški 3D model doline Trente

izkazala orodja programa AutoCAD Release 11 in solid modelerja AME.

Velik problem 3D modela so vhodni podatki. Prenos iz podlog, načrtov, izdelanih s »peš« metodami, je mukotrpen postopek. Težimo za tem, da bi program CESTE povezali z geografskim informacijskim sistemom (GIS), ki ga razvija FAGG PTI. To bi pomenilo, da lahko podatke, ki jih GIS vsebuje (teren, objekti, vode...), enostavno črpamo v program CESTE in obratno, ko je cesta že projektirana in izvedena, jo shranimo v GIS sistem.

Preverjanje in barvanje 3D modela smo opravili v programu HYDRA. Z njim je mogoče hitro začrtati približno trajektorijo gibanja, si ogledati perspektivne poglede in izvršiti enostavno ploskovno barvanje. Za sprotne prikaze smo naredili mnogo črnobelih izrisov na Postscript laser-skem tiskalniku in serijo fotografskih posnetkov z zaslona.

3D model, izdelan v programu AutoCAD, je slojevit model, izrisan na risalnih ravninah. Risalne ravnine nam omogočajo, da lahko na zaslonu vklapljammo in izklapljammo poljubno varianto rešitve ceste in tako kar najhitreje ocenimo prednosti in slabosti ene ali druge variante.

Razne dodelave, vnosi podpornih in opornih zidov, ograj, bankin, cestnih kamnov, poti in tako imenovano »šivanje terena«, so s prekinitvami trajale kake tri mesece. V tem času je bilo še mnogo pripomb na račun realističnega izgleda modela, zato smo uvideli, da je edina pot, da dosežemo pričakovan efekt, preselitev 3D modela na računalnike Silicon Graphics.

### 3.2. Rendering in animacija

Redering in animacijo smo izvajali na računalnikih Silicon Graphics (Power Series 4D in Personal Iris), last mešanega podjetja ARXEL iz Ljubljane. Skupna moč povezanih treh računalnikov je okoli 150 MIPS (million instructions per second) v primerjavi z našimi najhitrejšimi PC 486 računalniki, ki dosežajo borih 10 MIPS moči. Posebni grafični akceleratorji še dodatno pospešijo perspektivne izračune in račun porazdelitev barv in svetlobe. Diskovne kapacitete na omenjenem računalniku znašajo okoli 1 GB na trdih diskih, možno pa je shranjevanje podatkov tudi na optične diske, prav tako kapacitete okoli 1 GB.

Programska oprema, ki smo jo uporabili za rendering in animacijo, se imenuje TDI Explore (Thompson Digital Images, Francija). Vrednost omenjene strojne in programske opreme znaša okoli 500.000 ameriških dolarjev.

Za prenos 3D modela terena iz PC računalnikov na Silicon Graphics smo uporabili AutoCAD datoteke tipa DXF, pri čemer je bilo potrebno različne variante 3D modela (različne variante cestne trase) spraviti v ločene DXF datoteke. DXF datoteke, velikosti ca. 5 MB, smo po kompresiranju prenesli na računalniško mrežo, v kateri so povezani tudi Silicon Graphics računalniki in jih tam po dekompresiranju preko DXF prevajalnika včitali v TDI Explore. Prvi prenosi 3D modela niso bili uspešni, saj smo ugotovili, da so orientacije normal trikotnih in štirikotnih

ploskvic 3D modela bistvene za korektno barvanje modela, na kar pa prej nismo pazili. Zato smo razvili programe za avtomatsko preverjanje in obračanje usmerjenosti normal ploskvic in uspešno prestali preizkušnjo.

Rendering je izraz za računalniško barvanje 3D modela. Ločimo različne zahtevnostne stopnje barvanja (ploskovno, gladko Phongovo in Gaurorjevo), senčenja (nasebne in metane sence – Ray tracing in Radiosity) in določanja materialov (teksture). Z dano procesorsko močjo smo v doglednem času lahko prišli do rezultata z metodo gladkega senčenja brez metanih senc in z dodanimi teksturami. Teksture predpisujemo različnim materialom (travniki, skala, melišče, cesta, oporni zid, voda).

Dobra animacija pomeni natančno določen scenarij video posnetka. Parametri, ki jih pri tem nastavljammo, so: začetni pogled, trajektorija gibanja, hitrost gibanja in pospeški, usmerjenost kamere in zorni kot gledanja. Za verno predstavitev vožnje po cesti je potrebno zelo natančno nastavljanje koordinat trajektorije. V posnetku smo simulirali tudi prehitevanje avtobusa.

Kvaliteten video posnetek je sestavljen iz vsaj 30 sličic na sekundo. Za 3D model, velik približno 3 MB, je potreben čas za izračun ene sličice na TV resoluciji nekaj minut. Pri vsej procesorski moči, ki nam je bila na razpolago, smo si privoščili izdelati 40-sekundno animacijo, za kar je Silicon Graphics Power Series računalnik porabil okoli 5 dni.

Posamezne sličice, ki sestavljajo video animacijo, so hranjene na disku, zapisane v rasterskih datotekah. Smanje na trak poteka naprej na profesionalnem BetaCam snemalnem sistemu, ki je povezan preko »image grabberja« z računalnikom. Tako posnete sekvence smo nato dodatno obdelali in zmontirali v video studiu, dodali napise pred in za animacijo in jo opremili z zvočnim ozadjem. Sledilo je še presnemavanje na Super-VHS ali VHS video kasete in animacija je bila pripravljena za distribucijo.

### 4. ZAKLJUČEK

Naj tu omenim nekaj dejstev, ki so pomembna za razumevanje doseženih rezultatov. Izdelava animacije v taki meri, kot smo se je lotili v primeru Trente, je draga naloga. Izdelava 3D modela še ni nepremostljiv problem, saj imamo poceni delovno silo. Pač pa stroški astronomsko narastejo v trenutku, ko želimo fotorealizem in posnetek na video traku. Splošno velja, da stane sekunda animacije nekje med 1000 in 4000 DEM, odvisno od kompleksnosti modela. Za projekte, kakršne izvajajo v tujini, je video animacija sestavni del marketinških aktivnosti.

Izdelava simulacije je bila za nas pomembna naloga in prikaz možnosti, ki jih daje računalniško projektiranje cest. V času, ko se kot mlada država Slovenija skušamo postaviti na lastne noge, je opisana domača programska oprema in domače znanje vredno pozornosti in podpore. Ne nazadnje želimo z njim konkurirati tudi na tujih tržiščih, kar je edini pogoj za zdrav in uspešen nadaljnji razvoj.

# VELIKOPANELNI SISTEM VPMS – SCT LJUBLJANA

UDK 624.012.3:69.057

SLOBODAN BOŠNJAK

## POVZETEK

V članku je prikazan velikopanelni montažni sistem VPMS – SCT LJUBLJANA. To je prvi velikopanelni sistem, ki je v celoti razvit v R Sloveniji in se že uporablja v gradnji stanovanjskih sosesk v Ljubljani. Najprej so opisane karakteristike sistema in možnosti, ki jih sistem nudi projektantu-arhitektu. Opisani in grafično so prikazani primarni prefabricirani nosilni elementi (stropne plošče, fasadni elementi in nosilni predelni zidni elementi) in način proizvodnje naštetih elementov v delavnici. Deloma so prikazani tudi sekundarni montažni elementi in detajli stikovanja primarnih nosilnih elementov.

Na koncu referata je prikazan tehnološki proces montaže.

## LARGE-PANEL SYSTEM VPMS – SCT LJUBLJANA

## SUMMARY

The paper presents the large-panel precasting system VPMS – SCT Ljubljana. It is the first large-panel system entirely developed in Slovenia that has already been used in the construction of residential complexes in Ljubljana.

The paper first describes characteristics of the system and possibilities offered to designers – architects through its application.

Follow description and graphic presentation of primary load-bearing members (ceiling slabs, facade elements and load-bearing partition wall elements) and production technology of the referenced elements as applied in the workshop.

The paper partly presents also secondary precast elements and the detail of junction of primary load-bearing members.

Finally, the paper presents technologic process related to erection.

## 1.0. UVOD

Živimo v času, v katerem je prišlo do zelo občutnega padca investicijskih aktivnosti na vseh področjih, s tem pa tudi pri stanovanjski gradnji. Problem tehnologije gradnje v visokogradniški dejavnosti je gotovo eden od pomembnejših dejavnikov, ki vpliva na hitrost, s tem pa tudi na racionalnost gradnje.

Ena najbolj razširjenih metod gradnje stanovanjskih objektov pri nas je uporaba litega betona in velikostenskih opažev, poleg tega pa se gradi tudi v sistemu panelne montaže, medtem ko sta skeletna in celična gradnja stanskega pomena.

V Sloveniji je danes v uporabi okrog 10 raznih tehnoloških (delnih) sistemov gradnje konstrukcije. Razen za nekaj izjem lahko za vse ostale ugotovimo, da gre le za lokalno obarvane variacije z majhnimi, neracionalnimi serijami, ki se pretežno ukvarjajo le s problematiko izvedbe, kateri so večkrat podrejeni vsi ostali vidiki.

Veliko število sistemov kaže, da obstajajo problemi, ki jih ne moremo univerzalno rešiti. Nove zahteve, ki jih postavlja urbanizem, arhitektura in stanovanjska kultura, zahtevajo tudi nove poglede in pristope v tehnologiji gradnje. Nove tehnologije producirajo nove forme in oblike, nanje se moramo privaditi in jih sprejeti kot del naše stvarnosti.

Tehnološki sistemi, ki jih danes uporabljamo, so največkrat specifične zaprte tehnološke enote, v katerih je vsak del podrejen celoti in je zato njihova uporaba omejena. Vnaprej določeni modul, ki izhaja iz konstrukcijskih elementov tehnologije, določa »oblikovni red«, v katerem so variacije sestavni del sistema. Ta natančno določeni »oblikovni red« onemogoča kreativnost in je danes precej

Avtor:

Slobodan Bošnjak, mag. dipl. ing., SCT Razvojno raziskovalni inštitut, d.o.o., Dvorčakova 3, Ljubljana

aktualen, zlasti ko govorimo o neustreznih stanovanjskih rešitvah. Obenem pa ne moremo trditi, da večina tehnoloških sistemov popolnoma omejuje kreativnost projektanta. Razlog za to je predvsem v zlorabi in neustrezni uporabi določenih tehnologij.

Tehnološke omejevalne dejavnike lahko bistveno omejimo z uporabo novih tehnologij in novih materialov.

Sistem »VPMS-SCT« je tipičen velikopanelni montažni sistem, ki so ga razvili strokovnjaki SCT (Slovenija ceste Tehnika) – Ljubljana. Prevzel je vse dobre lastnosti do sedaj uporabljenih tehnologij pri nas in v svetu glede reševanja detajlov, tehnologije montaže in konstrukcije. Finansirala ga je delovna organizacija SCT Slovenija ceste-Tehnika Ljubljana in Raziskovalna skupnost Slovenije – ožje področje PORS-06.

Na razvojnem projektu so še sodelovali ZRMK – Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana (pretežno eksperimentalni del) in Gradbena fakulteta Univerze v Ljubljani (pretežno analitični del).

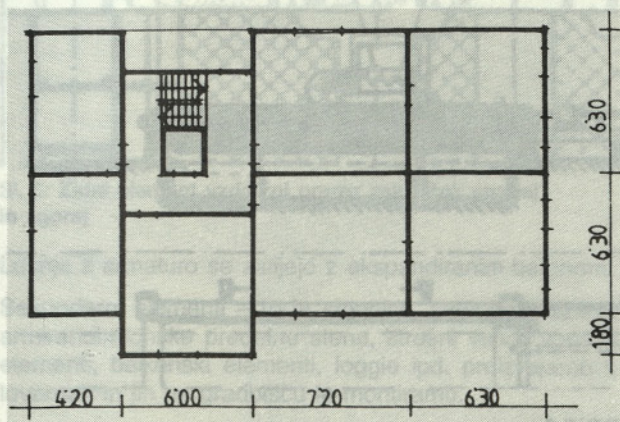
Sistem je nadaljevanje razvoja obstoječega sistema VEPMO – Obnova Ljubljana.

## 2.0. OSNOVNE ZNAČILNOSTI SISTEMA

Novi sistem »VPMS-SCT« spada v velikopanelni sistem: »veliki paneli« so površinski elementi (stene in plošče) izdelani iz armiranega betona, ki so na stiku povezani med seboj v vertikalni in horizontalni smeri, tako da tvorijo konstrukcijo stenastega tipa. Stiki med posameznimi elementi konstrukcije, tj. paneli, so elementi, od katerih je odvisno obnašanje celotnega sistema med potresom. Konstrukcijo obravnavamo kot ustrezne monolitne konstrukcije.

Regularni, skoraj simetrični tlorisi, nosilna fasada, velik odstotek nosilnih sten in nosilne preklade med vratnimi in okenski odprtini zagotavljajo relativno majhne potresne obremenitve in preprečujejo koncentracijo poškodb v posameznih nosilnih elementih.

Značilni tloris konstrukcije sistema je prikazan na sl. 1. Maksimalni predvideni razpon plošč v nosilni smeri je



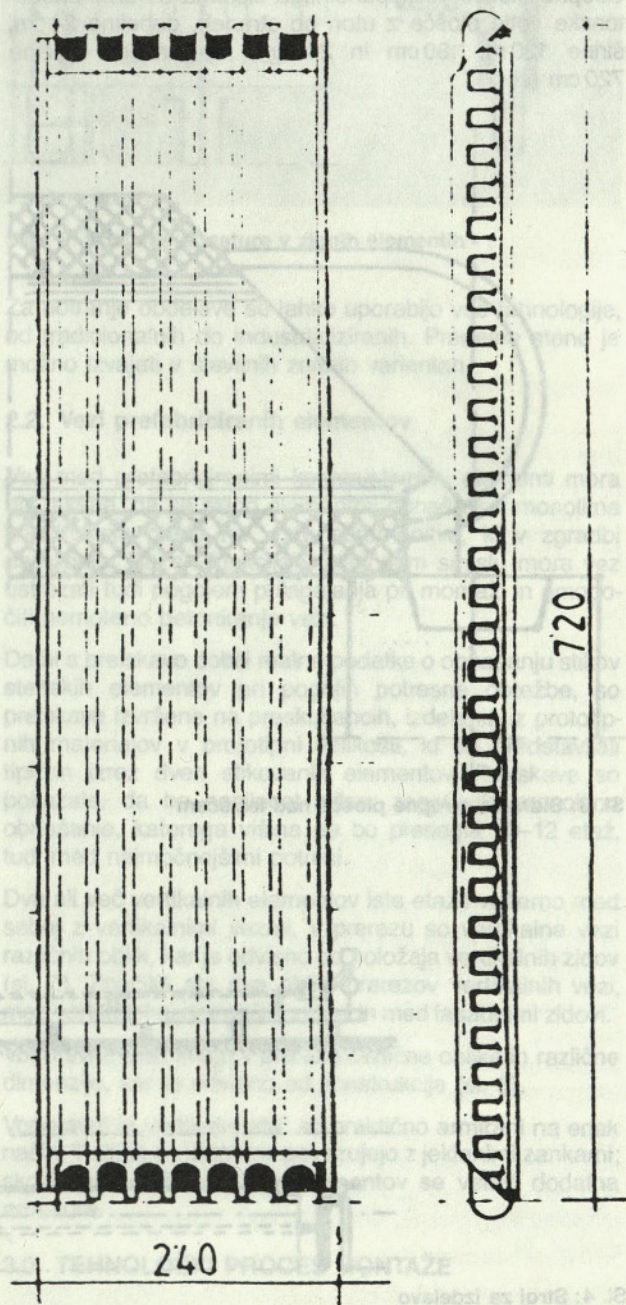
Sl. 1: Značilni tloris

7,20 m, etažna višina je 2,80 m. Osnovni modul je 60 cm (osno) s podmodularnimi merami 30 in 10 cm. Sistem VPMS-SCT se vklaplja v ostale modularne sisteme in v sistem po SAR-metodi.

Fasadne stene so nosilne, kar povečuje nosilnost in torzijsko stabilnost objekta.

V sistemu izvajamo objekte do vključno 10 nadstojij na potresnih območjih do vključno IX. stopnje po MSC.

Objekt se do kote pritličja izvaja tradicionalno, montaža pa se začne na nivoju pritličja.



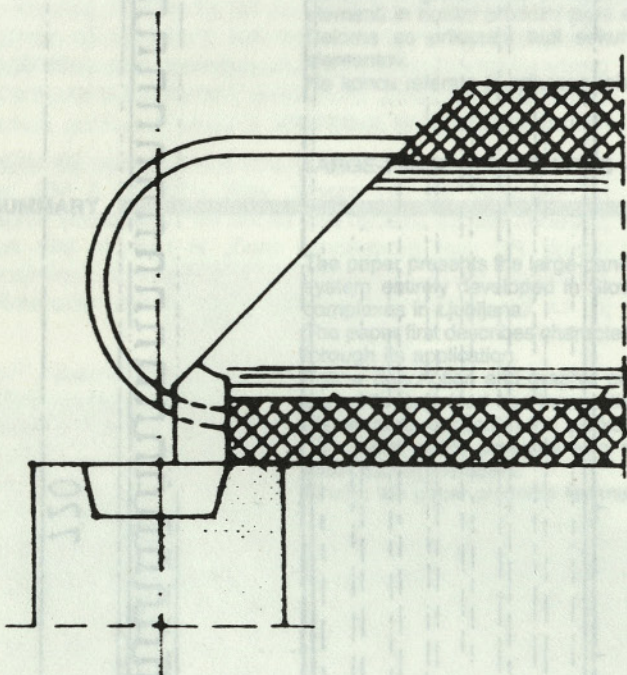
Sl. 2: Stropni element

Dvigalni jašek se izvaja lahko montažno, zaradi manjših serij pa lahko tudi monolitno na samem objektu. V sistemu uporabljamo montažne sanitarne kabine.

Ostali elementi objekta, kot so dimniške in ventilacijske tuljave, višine etaže, stopniščne rame in podesti, strešni venci, vogalni elementi, fasadne izolacijske betonske obloge, balkonski elementi, loggie in podobno se izvajajo montažno.

### 2.1. Prefabricirani nosilni elementi

Stropne plošče velikopanelnega sistema so armiranobetonске votle plošče z utori ob straneh, debeline 24 cm, širine 120 cm, 180 cm in 240 cm, maksimalne dolžine 720 cm (sl. 2).



Sl. 3: Sidranje stropne plošče nad ležiščem

Na področju podpor so iz plošče puščena armaturna sidra, ki so zasidrana v spodnji in zgornji pas plošče. Ta sidra so samo na krajnih rebrih (sl. 3). Ob straneh plošče so vdolbine trapezne oblike, ki rabijo po zalitju stikov med ploščami za prevzem strižnih sil.

Stiki med ploščami so zaliti z betonom, sami elementi pa povezani z armaturnimi zankami na sredini razpona.

Preskus stropnih elementov in stropnih plošč je pokazal, da so stropne plošče velikopanelnega sistema sposobne prevzeti tako predpisane vertikalne obtežbe kot tudi horizontalne obtežbe zaradi potresa oziroma vetra ter zagotavljajo dobro povezavo z ostalimi elementi zgradbe.

Pri simulirani vertikalni, stalni in občasni obtežbi se stropna plošča obnaša kot monolitna plošča. To omogoča stiki med posameznimi stropnimi elementi.

Stropne votle plošče se izdelujejo po fazah na tekočem traku proizvodne krožne linije v ležečem položaju. Opaževanje stranskih robov in lukenj, betoniranje in vibriranje stropne plošče poteka s pomočjo za ta namen izdelanega stroja (Hocoma) (sl. 4).

**Obodni fasadni zidovi** so nosilni betonski sendvič elementi iz notranjega nosilnega dela 15 cm, vmesne termozolacije (styropora) 6 do 10 cm in zunanje betonske zaščitne obloge na fasadi 6 cm.

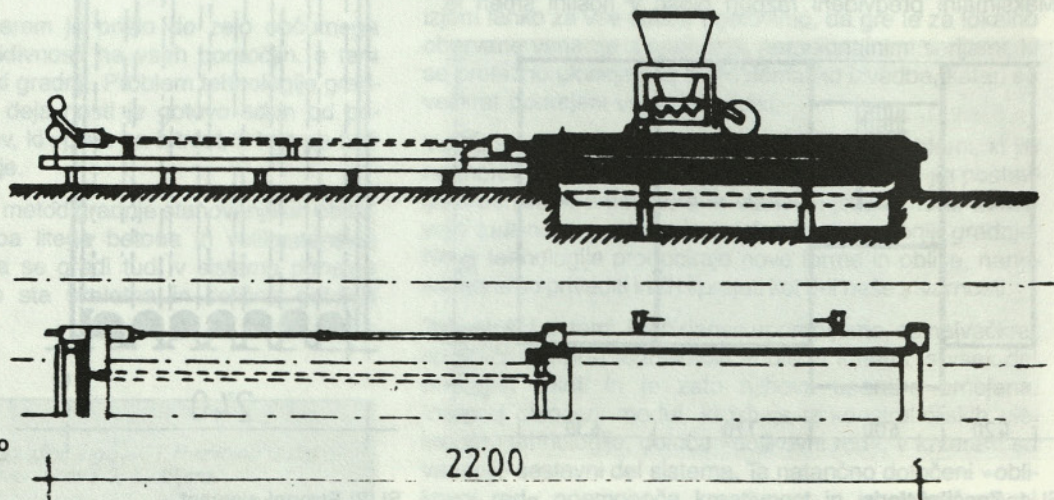
Maksimalna dolžina elementa je 660 cm.

Zunanjoplast je možno obdelati z različnimi postopki z uporabo različnih materialov in barv.

V fasadne elemente so tovarniško vgrajene cevi za razvod instalacij.

Proizvodnja fasadnih elementov poteka na tehnološki liniji, ki je nameščena na tirnicah.

**Notranji nosilni zidovi** so polni armiranobetonски zidovi debeline 15 cm. Maksimalna dolžina elementa je 7,20 m. V zidove so vgrajeni podboji, plastične cevi za razvod instalacij in vsi deli, ki so potrebni za transport in montažo na objektu.

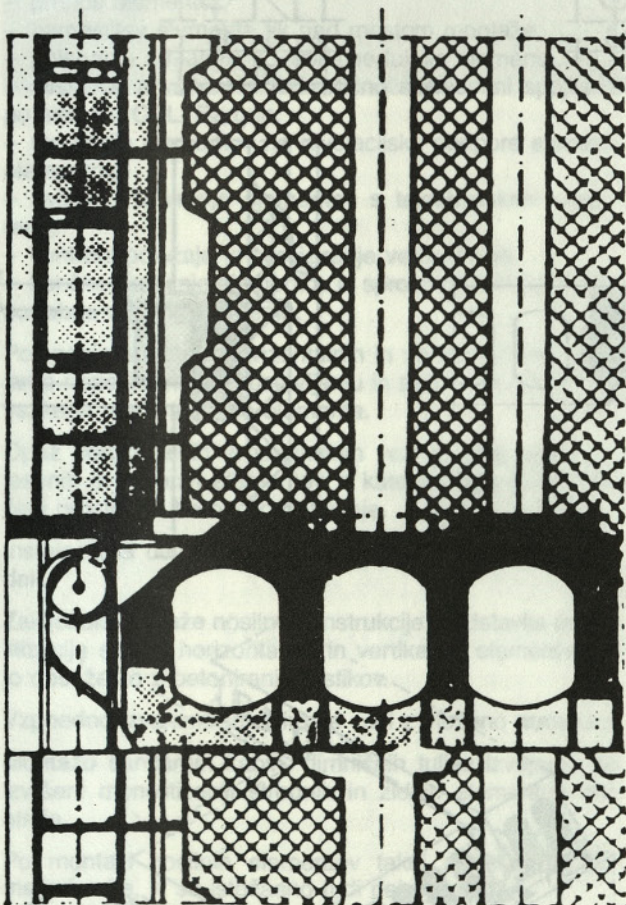


Sl. 4: Stroj za izdelavo stropnih plošč »HOCOMA«

Notranje nosilne zidove proizvajamo v vertikalnih baterijah.

Robovi fasadnih in notranjih nosilnih zidov so profilirani in so oblikovani tako, da z vezavo dveh zidnih elementov nastane spoj, ki lahko prevzame strižne napetosti.

Zidne elemente povezujemo po vertikali z armaturo. Pri izdelavi zidnega elementa se vstavljajo cevi iz jeklene pločevine. Vanje pri montaži vstavljamo armaturo za vezanje zidnih elementov po vertikali (sl. 5). Armatura spodnjega zidnega elementa z armaturo zgornjega elementa spaja s hidravlično stisnjenimi spojkami iz domačega jekla. Sistem spajanja armature CCL Bargrip je gotovo najpreprostejša metoda za spajanje armaturnih palic (sl. 6). Statična in dinamična preiskava vzorcev je pokazala, da spoj zadovoljuje tako glede statične kot dinamične trdnosti.

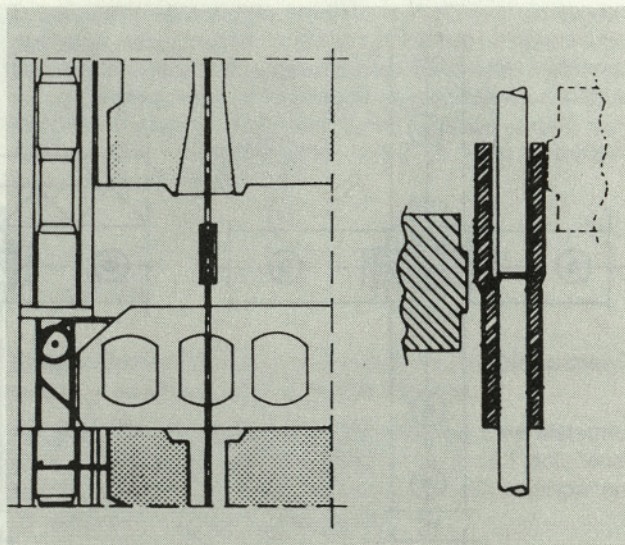


Sl. 5: Zidni element vzdolžni prerez zaključek spodaj in zgoraj

Luknje z armaturo se zalijejo z ekspandiranim betonom.

Sekundarni elementi – to je stopnice, sanitarne kabine, armiranobetonske predelne stene, strešni venci, vogalni elementi, balkonski elementi, loggie ipd. proizvajamo v tovarnah in jih na gradbišču le montiramo.

Površine fasad se lahko kombinira z različni balkoni, loggiami, konzolnimi elementi itd.



Slika 6: Spajanje armature v zidnih elementih

Za notranje obdelave se lahko uporabijo vse tehnologije, od tradicionalnih do industrializiranih. Predelne stene je možno izvajati v številnih znanih variantah.

## 2.2. Vezi prefabriciranih elementov

Vež med prefabriciranimi konstruktivnimi elementi mora biti takšna, da se sklop elementov obnaša kot monolitna konstrukcija glede na vrste obremenitve, ki v zgradbi nastopajo. Razen funkcije v statičnem smislu mora vež ustrezati tudi pogojem prilagajanja pri montaži in omogočiti nemoteno betoniranje vezi.

Da bi s preiskavo dobili realne podatke o obnašanju stikov stenskih elementov pri pogojih potresne obtežbe, so preiskave izvršene na preskušancih, izdelanih iz prototipnih materialov v prototipni velikosti, ki so predstavljali tipičen izrez dveh stikovanih elementov. Preiskave so pokazale, da bo nosilnost stikov zagotovila monolitno obnašanje, katerega višina ne bo presegla 10–12 etaž, tudi med najmočnejšimi potresi.

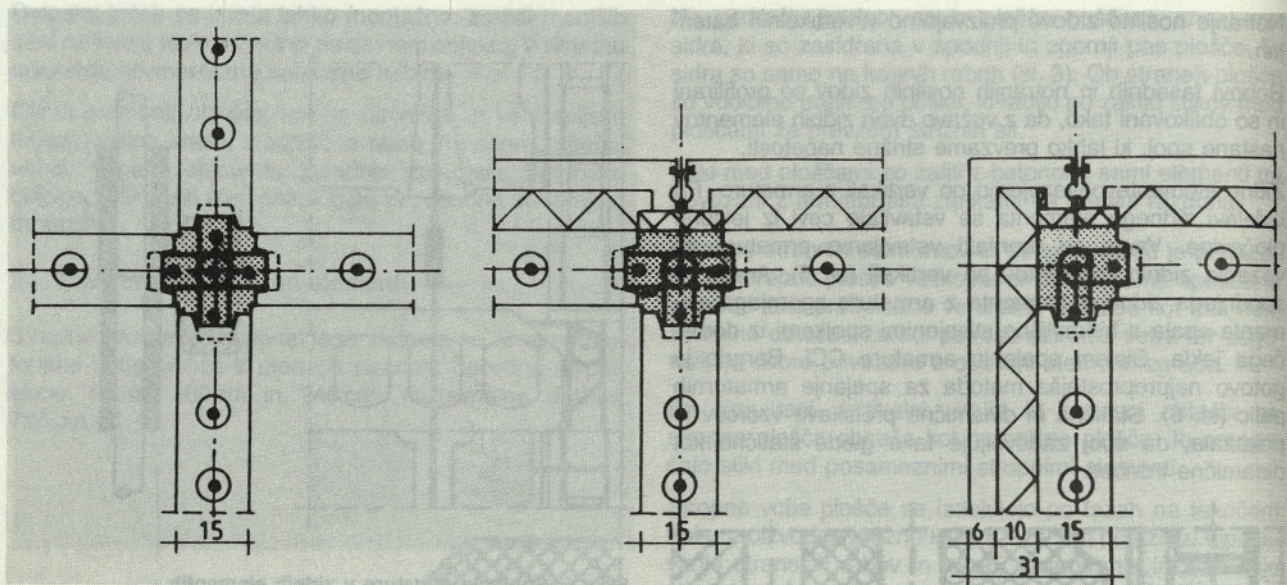
Dva ali več vertikalnih elementov iste etaže vežemo med seboj z vertikalnimi vezmi. V prerezu so vertikalne vezi različnih oblik, kar je odvisno od položaja vertikalnih zidov (sl. 7). Značilni sta dve obliki prerezov vertikalnih vezi, med vertikalnimi notranjimi zidovi in med fasadnimi zidovi.

Vodoravne vezi imajo v prerezu različne oblike in različne dimenzije, kar je odvisno od konstrukcije (sl. 8).

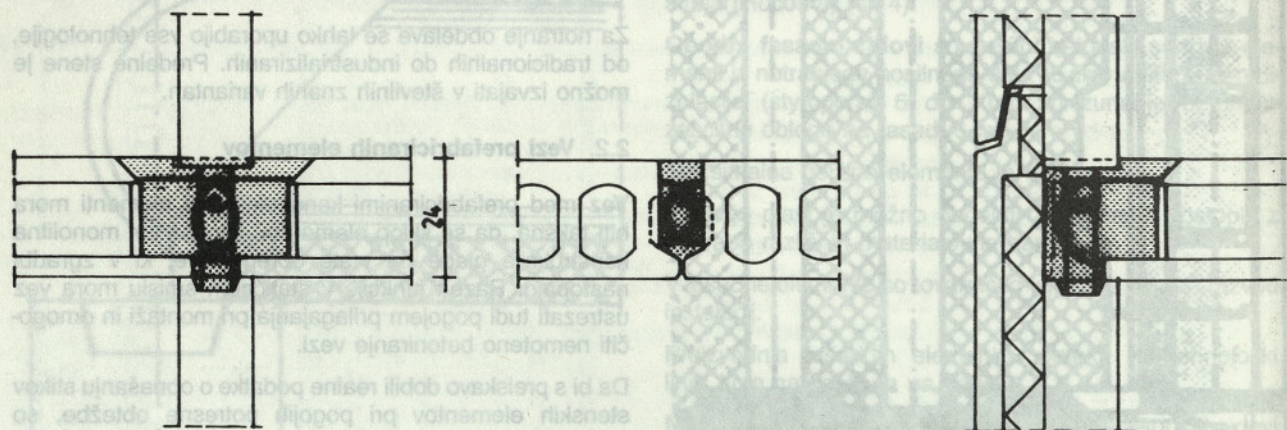
Vodoravni in vertikalni stiki so praktično armirani na enak način. V stikih se elementi povezujejo z jeklenimi zankami; skozi zanke stikajočih se elementov se vstavi dodatna armatura.

## 3.0. TEHNOLOŠKI PROCES MONTAŽE

Tehnološki proces montaže obsega dela od priprave ležišča in elementov do dokončne izvedbe stikov.



Slika 7: Vertikalne vezi



Slika 8: Horizontalne vezi

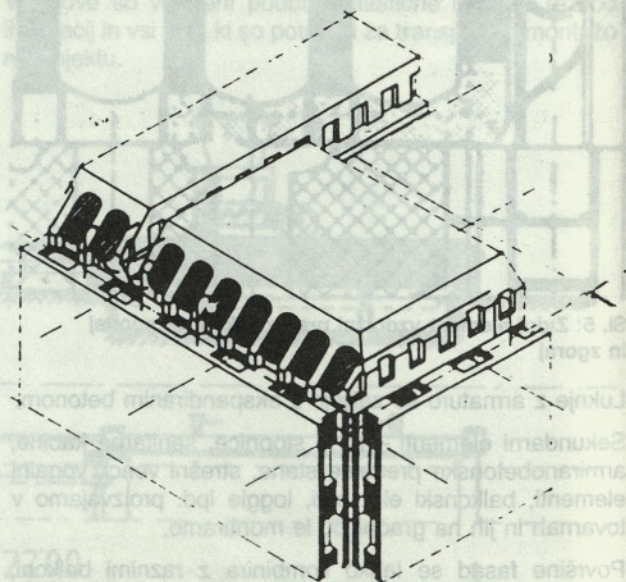
Montaža elementov poteka po tehnološkem načrtu montaže, ki je določen s prejektom oziroma spiskom elementov po vrstnem redu montaže.

Klasični del kleti (pritličja) je potrebno končati tako, da imajo zidovi sidra postavljena natančno po projektu za potrebo montažnega dela konstrukcije.

Tehnologija montaže konstrukcije obsega montažerska, tesarska, železokrivska in instalaterska dela. Tehnološko zaporedje del in delovnih operacij je enako tehnološkemu ciklusu montaže konstrukcije tipske etaže.

Tipična etaža je sestavljena iz vertikalnih fasadnih nosilnih elementov, vertikalnih nosivih predelnih sten, horizontalnih stropnih plošč in medsebojnih stikov, s katerimi dosežemo monolitizacijo montažnih elementov v monolitno konstrukcijo (sl. 9).

Montažo elementov poteka z žerjavom in avtodvigalom s pomočjo pripenjalnih naprav, ki so prirejene za različne vrste elementov.



Slika 9: Aksometrija montaže



Stropne plošče montiramo iz transportnega sredstva neposredno na nosilne monolitizirane vertikalne elemente etaže. Z montažo se lahko prične, ko so zabetonirane horizontalne in vertikalne vezi. Vzporedno s stropno ploščo montiramo tudi stopniščne rame iste etaže.

Montaža fasadnih nosilnih elementov in pregradnih nosilnih elementov izvajamo istočasno. Elemente montiramo neposredno iz transportnih sredstev.

V pripravljalne predhodne delovne operacije spadajo polaganje in lepljenje izolacijskih trakov na fasadne elemente, dvigovanje opreme, razporejanje podpor in namestitev podložnih ploščic za niveliranje zidnih elementov.

Proces montaže nosilnih zidov zajema naslednje operacije:

- pripenjanje elementov za dvig,
- prenos elementov,
- namestitev elementa tik nad mestom montaže,
- polaganje armature v vertikalne luknje elementa,
- stiskanje armature s hidravlično stisnjenimi spojkami po sistemu CCL, Bargrip,
- regulacijo elementov na nivelacijske podpore stenskih elementov,
- začasno fiksiranje elementov s teleskopskimi razporami,
- kontrola položaja in preciziranje vertikalnosti,
- končno fiksiranje elementov in sprostitev vezi, ki so bile potrebne za dvig elementa.

Polaganje armature horizontalnih in vertikalnih vezi izvajamo neposredno po postavljanju in začasnem utrjevanju vsakega posameznega elementa.

Opaž horizontalnih in vertikalnih vezi je spoj tipiziranih lesenih in jeklenih elementov, s katerimi ogradimo določeni prostor za betonsko polnjenje.

Instalacijska dela izvajamo vzporedno z železokrivskimi deli.

Zaključek montaže nosilne konstrukcije predstavlja monolitizacija sklopa horizontalnih in vertikalnih elementov, ki jo dosežemo z betoniranjem stikov.

Vzporedno izvajamo injektiranje cevi z vloženo armaturo.

Montažo sanitarnih kabin, dimničnih tuljav izvajamo po izvršeni monolitizaciji stropnih in zidnih elementov ene etaže.

Po montaži nosilnih elementov takoj postavljamo pomožne odre, ki so istočasno tudi delovni odri.

Iz prikazane tehnologije montaže je razvidno, da so vse operacije, razen same montaže elementov in betoniranja stikov, vzporedne in jih vzporedno opravljamo do zaključka montaže elementov. V tehnologiji je predvideno, da se v intervalu izvajanja dveh etaž lahko opravijo skoraj vsa končna dela: montaža lahkih pedelnih sten, mizarska dela, instalacijska dela itd. ...

#### 4.0. SKLEP

Sistem VMPS-SCT je prvi v celoti razviti velikopanelni sistem v stanovanjski gradnji v R Sloveniji.

Ne glede na vse do sedaj razvite velikopanelne sisteme, ki se pojavljajo pri nas, ima sistem VPMS-SCT določene specifičnosti, po katerih se razlikuje od ostalih velikopanelnih sistemov v stanovanjski gradnji:

- veliko fleksibilnost (razpon do 7,20 m),
- spajanje armature v nosilnih zidnih elementih s pomočjo CCL Bargrip mehničnega sistema,
- potrebna je minimalna obdelava vertikalnih stikov,
- v medetažni konstrukciji se pojavi horizontalni stik, ki ga je potrebno naknadno obdelati,
- fasadni elementi predstavljajo tudi kakovostno toplotno zaščito objekta.

Vsi danes uporabljeni tehnološki sistemi, tako tudi VPMS-SCT, imajo še dokajšnjo rezervo in so možne pa tudi nujne nadaljnje razvojne dopolnitve. Velika večina strokovnih rešitev je posvečena konstrukciji in deloma še fasadi, le malo sistemov pa rešuje zgradbo kot celoto.

Ker ponuja naš prostor sorazmerno majhno tržišče, se bolj zaprti tehnološki sistemi le težje uveljavljajo. Odprtost in fleksibilnost sistema se lahko doseže predvsem z ločitvijo primarnega (konstantnega) sistema konstrukcije od sekundarnih (variabilnih) podsistemov finalizacije in opreme. Sistem naj omogoča tako fleksibilnost projektne ponudbe kot tudi adaptibilnost stanovanja. Zlasti srednja in večja stanovanja terjajo več tehnološke fleksibilnosti.

Z velikopanelnim sistemom VPMS-SCT se izvajajo objekti v stanovanjski soseski BS 2/1 Župančičeva jama v Ljubljani.

Na koncu bi še omenili, da je bila študija potresne varnosti velikopanelnega sistema VPMS-SCT že objavljena v strokovnih glasilih in na strokovnih seminarjih, zato ta prispevek te problematike ne obravnava.

#### LITERATURA

1. M. Fischinger s sodelavci: Študija potresne varnosti velikopanelnega sistema SCT; Gradbeni vestnik, Ljubljana, 1987.
2. S. Bošnjak: Montažni sistem gradnje iz velikopanelnih elementov: Tehnični informator, Ljubljana, 1984.
3. S. Bošnjak: Velikopanelni sistem VPMS-SCT-LJUBLJANA. Tehnični informator, Ljubljana, 1988.
4. S. Bošnjak: Tehnologija v stanovanjski gradnji velikopanelni sistem »VPMS SCT« Ljubljana: List 04 Društvo Arhitektov, Ljubljana, november, 1989.



**CASA DI SPEDIZIONI - TRASPORTI INTERNAZIONALI**

**34170 GORIZIA - VIA KUGY, 22**

**Tel. 0481/31835-31672-32416-30231**

**Telex 461164 ROITZ I**

**Telefax 0481/530259**

# VPMS – PRINCIPI SNOVANJA STANOVANJSKE ARHITEKTURE VILA-BLOK KOT PRIMER DOSLEDNE UPORABE SISTEMA

UDK 728.3:624.012.3:69.057

ANIN SEVER

## POVZETEK

V kratkem je podana dosedanja uporaba montažnih sistemov za stanovanjsko gradnjo pri nas. Opisan je sistemsko rešen tip stanovanjskega objekta, ki upošteva vse specifičnosti VPMS sistema in istočasno sledi težnji k višjemu bivalnemu standardu.

LARGE-PANEL PRECAST SYSTEM (VPMS) – CONCEPTUAL PRINCIPLES OF RESIDENTIAL ARCHITECTURE. VILLA-BLOCK AS AN EXAMPLE OF A CONSISTENT PRACTICAL APPLICATION OF THE SYSTEM.

## SUMMARY

A brief introduction to the hitherto application of precast systems in the field of residential construction in the domestic market. Described is a system-based type of a residential structure which duly considers all the specifics of the VPMS system and at the same time follows the tendency toward a higher level living standard.

Sistem »VPMS-SCT« je rezultat dolgotrajnega razvojnega znanja ob številnih predhodnih izkušnjah, tako že v šestdesetih letih uporabljenih gradbenih montažnih rešitev, kot so npr. PBM-Gradis ali Jugomnot, kakor tudi kasnejših montažnih izvedb v Šiški, soseski BS-3 in Fužinah, ki pa vse niso dale navdušujočih rezultatov.

V tej primerjavi predstavlja velikopanelni montažni sistem SCT-ja, ki je nastal kot nadaljevanje razvoja obstoječega Obnovinega sistema VEPMO, nedvomno tisto kakovost, ki ga uvršča ob bok tehnologijam zahodnega sveta in odpira nove možnosti tako v racionalizaciji stanovanjske gradnje kakor tudi v oblikovanju kakovostnega bivalnega okolja. Seveda pa je z dograditvijo sistema samega na eni strani in postavitvijo potrebnih proizvodnih kapacitet na drugi strani opravljen le del naloge. Da lahko steče proces kontinuirne industrijske proizvodnje montažnih elementov, ki razumljivo edini lahko ekonomsko opraviči utemeljenost investicije, tako v samo »tovarno hiš« kakor tudi v vso potrebno strojno opremo ter ostalo proizvodno »infrastrukturo«, je potrebno opraviti še drugi del naloge, to pa pomeni zagotoviti tržišče, ki bo za daljši čas konzumiralo proizvodnjo vsaj v obsegu rentabilnostnega minimuma. To pa seveda predstavlja v trenutni ekonomski situaciji več kot izjemen problem.

Z drugimi besedami, tržišču je potrebno ponuditi takšen proizvod, ki bo v vsakem primeru lahko konkurenčen.

Potrebno je ponuditi objekte, katerih arhitektura bo ustrezala najširšemu spektru gradbene tipologije glede na zazidalne zasnove in načine investiranja, in se bo posebej potrjevala, tako s kakovostjo kakor tudi z ekonomiko.

Dosedanje izkušnje s sistemom VPMS-SCT se praktično omejujejo le na kompleks Zupančičeve jame, ki nedvomno dosega visok arhitekturni nivo tako v zazidalnem konceptu kakor tudi v osnovi stanovanj, predvsem pa v oblikovanju fasad, kjer montažni sistem pomeni prej pozitivno spodbudo kot pa omejevalni dejavnik. Seveda gre za zahteven investicijski poseg, obremenjen s številnimi posebnimi zahtevami na centralni mestni lokaciji, tako da je v montažnem sistemu od celotne gradbene mase zgrajeno le 45 % ali manj kot polovica. Glede na to izgradnja tega kompleksa ne predstavlja tipične izkušnje oziroma preizkušnje novega montažnega sistema.

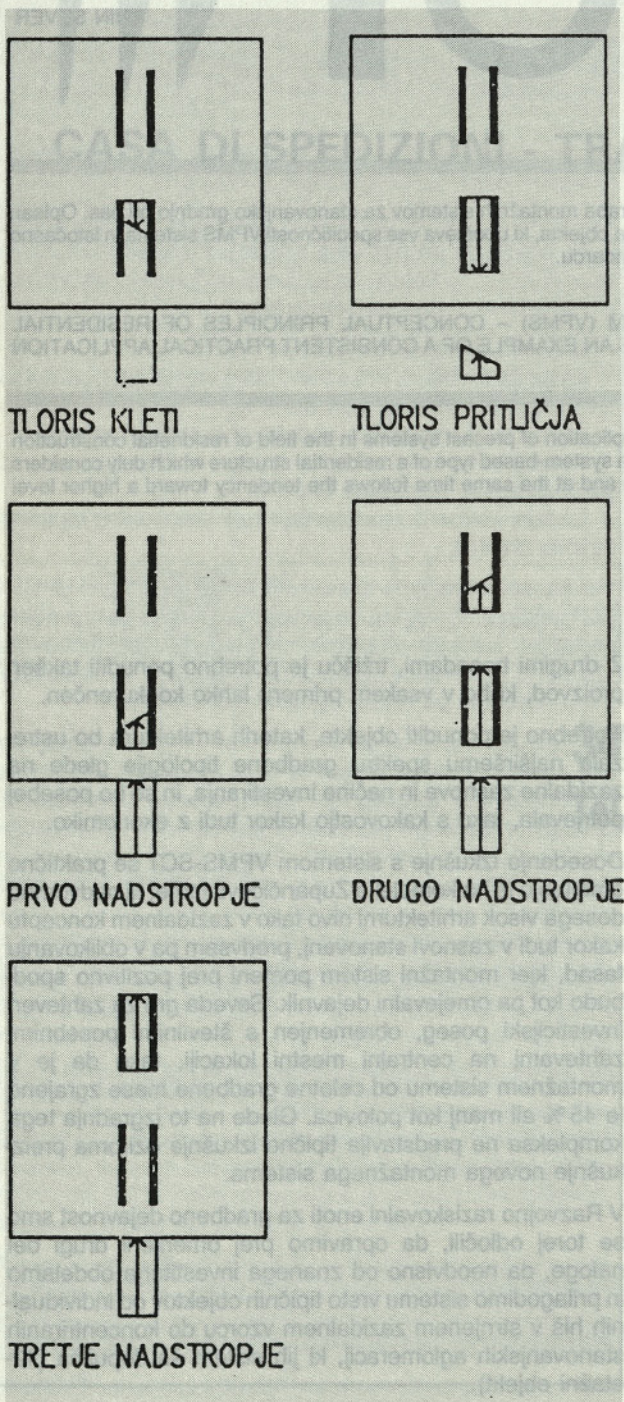
V Razvojno raziskovalni enoti za gradbeno dejavnost smo se torej odločili, da opravimo prej omenjeni drugi del naloge, da neodvisno od znanega investitorja obdelamo in prilagodimo sistemu vrsto tipičnih objektov od individualnih hiš v strnjem zazidalnem vzorcu do koncentriranih stanovanjskih aglomeracij, ki jih sistem še dopušča (12-etažni objekt).

Razvojno nalogo smo v skladu s strategijo podjetja (SCT) in na podlagi razvojnih programov definirali v avgustu 1989, pri čemer pa se zavedamo, da bi to delo moralo

Avtor:  
Anin Sever, dipl. ing., SCT, Razvojno raziskovalni inštitut,  
d.o.o., Dvoržakova 3, Ljubljana

potekati pravzaprav vzporedno z razvijanjem sistema in biti opravljeno sočasno s pričetkom proizvodnje montažnih elementov oziroma že končnega produkta – hiše.

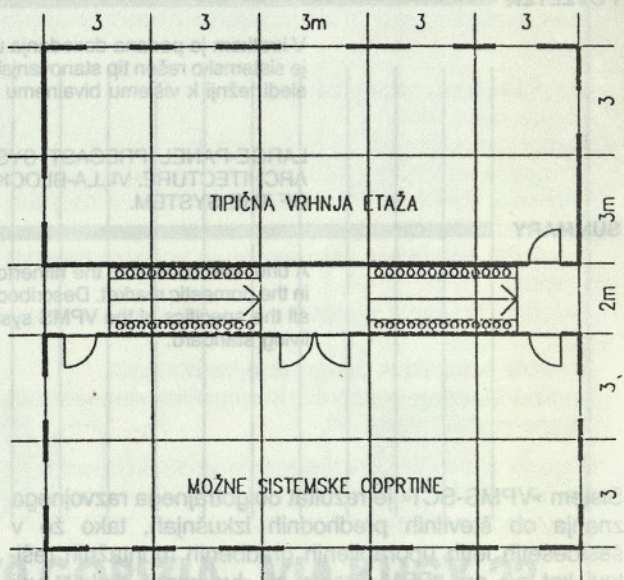
Rekli smo, da predstavlja velikopanelni montažni sistem SCT, glede na dosedanje poizkuse montaže pri nas novo kakovost. Predvsem gre tukaj za dve lastnosti: prosti



Slika 1: Pozicija stopniščnih ram in instalacijskih con (pasov) v posameznih etažah objekta. Obe površini lahko povežemo na treh področjih v tlorisu posamezne etaže.

razpon 7,2 metra ter potresno varnost 10 do 12-etažnih objektov na območjih 9. potresne stopnje po MCS, in sicer brez dodatnih ukrepov. To omogoča povezava panelov z zaprtimi mokrimi stiki, kar ni bila odlika dosedanjih montažnih sistemov.

Omenjeni lastnosti pomenita popolno sprostitev najrazličnejših tlorisnih možnosti in fleksibilnost v zasnovi tlorisa. To je pomembna prednost sistema, saj praktično presega celo možnosti, ki jih nudijo klasični načini gradnje. Omejevalne lastnosti sistema pa se nanašajo le na fasado brez konzol oziroma brez balkonov, čemur se je pač potrebno prilagoditi.



Slika 2: Osnovna zasnova tlorisa tipične etaže s prikazom možnih odprtij v sistemu VPMS (vhodna vrata in okna)

Pri tem pa ni odveč omeniti, da je velika večina balkonov v stanovanjski gradnji neizkoriščenih in da nasploh predstavlja balkon v stanovanju poseben problem. Glede na obliko balkona, ki pri nas prevladuje, pa lahko celo trdimo, da pomeni le arhitektonski dodatek brez posebne praktične vrednosti.

Glede na ostale prednosti sistema bomo v nadaljnji obdelavi vseh tipov objektov obdržali gladko fasado (eventualni balkoni oziroma verande bodo izvedene kot dodatki) in poizkusili čim dosledneje prevesti tehnično vsebino v ustrezni arhitekturni izraz.

Pri tem mislimo, da je za doseg ekonomskega učinka potrebno montažno izvesti največji možni del objekta. Dosledno je potrebno slediti lastnostim sistema ter jih v celoti obvladati in izkoristiti kot pobudo za doseg svojvrstne arhitekture, tako v obliki kakor tudi v zasnovi objekta.

Prikazani projekt iz programa omenjene razvojne naloge obravnava zelo aktualen in iskan tip objekta, ki pokriva verzel med individualno in blokovno gradnjo, tako imenovani vila-blok. Prav ta tip objekta je bil predmet več arhitektonsko-urbanističnih natečajev v zadnjem času.

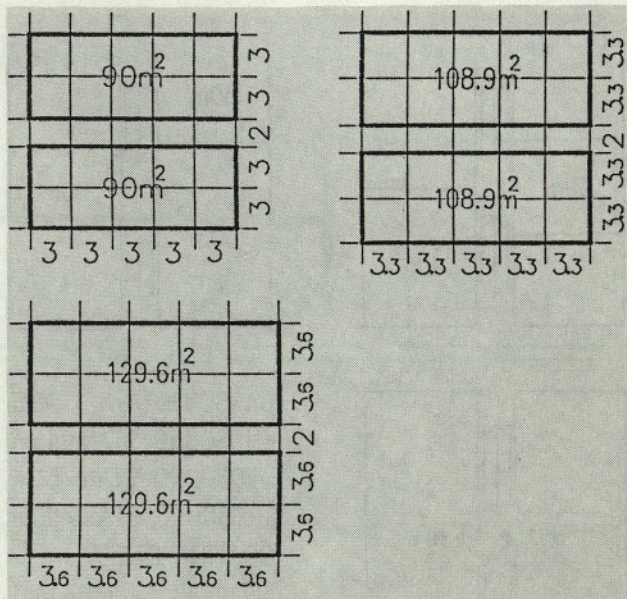
Čeprav je zanimanje za objekte tipa vila-blok dokaj veliko, pa se vendar ne pojavlja kot zazidalna praksa, kar pomeni, da je študij in zasnova takega objekta prvenstvena naloga.

Iz načrtov je razvidna zasnova hiše, ki dosledno povzema lastnosti montažnega sistema. Objekt je sestavljen iz dveh identičnih tlorisnih enot  $6 \times 15$  metrov, vmesni prostor pa je izrabljen za stopnišče in inštalacijske pasove, vključno z ogrevalno napravo in elektriko. Stopnišče je oblikovano kot podolžna komunikacija s podesti, od koder so vstopi v stanovanja na različnih mestih glede na nadstropje. V področju stopniščne rampe potekajo 30-centimetrski inštalacijski pasovi, tako da se na tem delu komunikacijski pas, ki je sicer širok 2 metra, zoži na 1,4 metra.

Objekt naj bi bil tri- ali štirinadstropen ter bi omogočal izvedbo najrazličnejšega števila različno velikih stanovanj oziroma garsonjer.

Po zaslugi velikopanelnega sistema dopušča konstrukcija popolno svobodo v zasnovi tlorisov od  $90\text{ m}^2$  do  $30\text{ m}^2$ , možna pa je tudi povezava obeh enot v nadstropju v stanovanje, ki zaenkrat še nima mesta v blokovni zidavi.

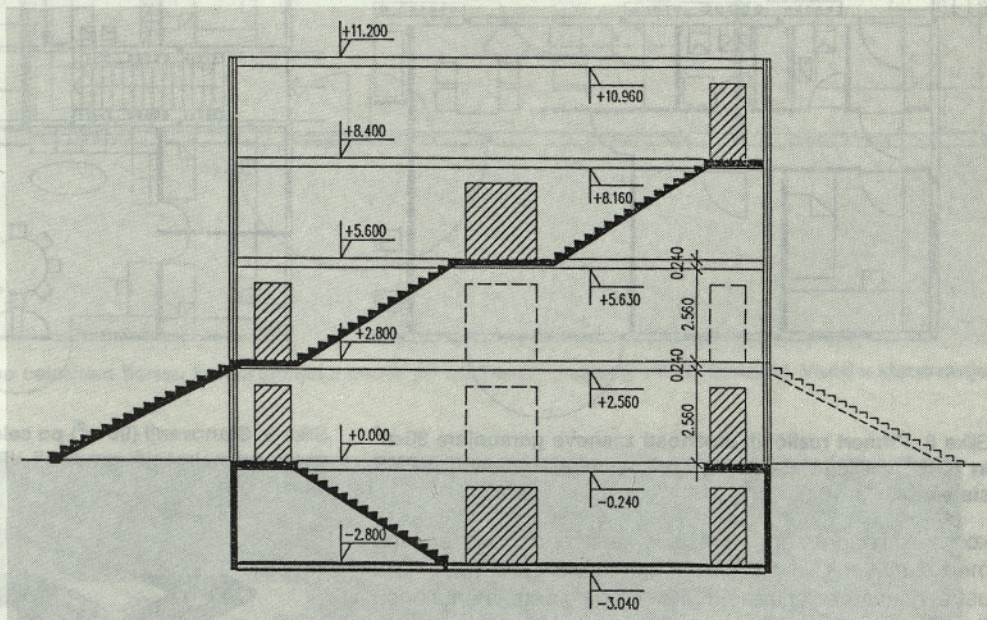
Iz prikazanih osnovnih primerov je razvidno, da v organiziranju tlorisa stanovanja praktično ni nikakršnih omejitev, razen inštalacijskih pasov, ki pa spet dopuščajo več fleksibilnosti ter lahko tudi dopolnjujejo nadaljnji razvoj sanitarne kabine, ki na sedanji razvojni stopnji ne predstavlja kakšne posebne kakovosti tako v tehnično-ekonomskem kakor tudi v arhitektonskem konceptu.



Slika 4: Gradacije osnovnih tlorisnih enot sistema z uporabo različnih dolžin panelov in plošč (dolžine panelov 3 m, 3,3 m, 3,6 m; dolžine plošč 6 m, 6,6 m, 7,2 m)

tovarniško, brez kakršnih koli odstopanj od optimalne tehnološke izpeljave.

Prikazani objekt je maksimalno štirinadstropen, to pa je tudi tista meja, ki predstavlja v naši praksi še obvladljivo

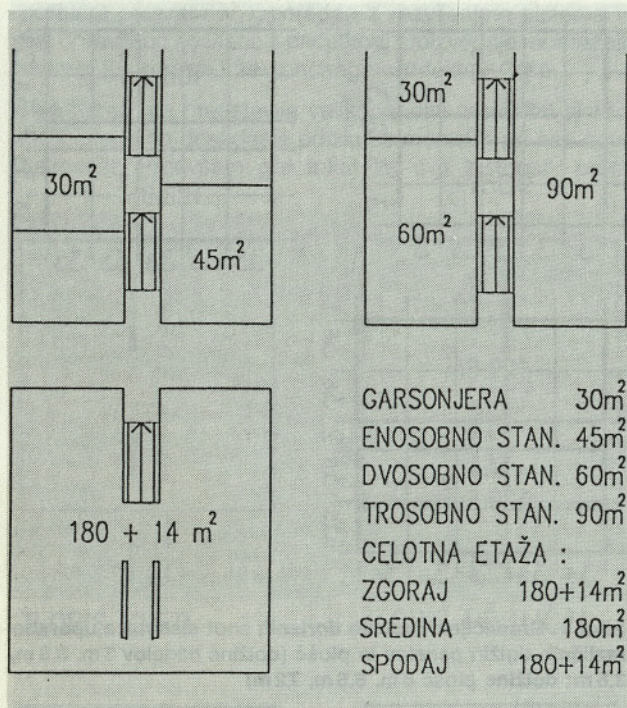


Slika 3: Prerez skozi stopnišče s prikazom pozicije vhodov

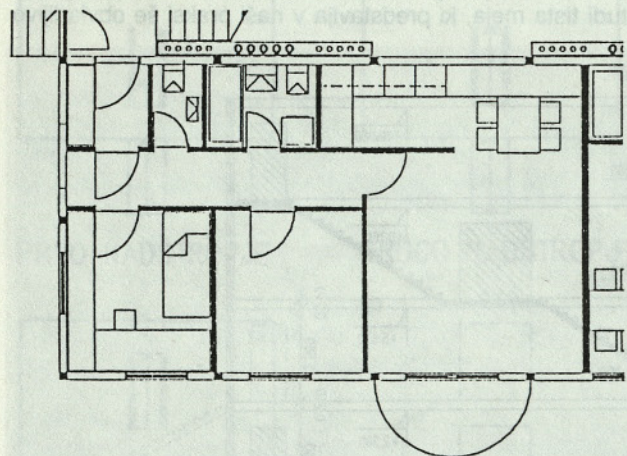
Kot že rečeno, je posebnost zasnove izvedba podolžnega pasu s stopnicami, kar nedvomno pomeni veliko racionalizacijo, sicer pa prostorsko kakovostno v praksi redko osvetljene notranje komunikacije. Z vrsto in obliko strehe in obdelavo detajla bi se objekt lahko prilagajal posameznim lokacijam, sicer bi pa bil lahko v celoti izdelan

koncentracijo, tako glede investicije kakor tudi kar se tiče ureditve okolice oziroma infrastrukture.

Drugi razlog za omejitev števila etaž pa je aplikacija na malonosilnih tleh. Celoten objekt naj bi bil temeljen na pilotih in temu primerna je tudi zasnova simetrične konstrukcije in s tem tudi obtežbe. Objekt je na razvojni stopnji



Slika 5: Primeri velikosti stanovanj in možnosti osnovnih kombinacij v posamezni etaži pri uporabi najmanjše gradacije VPMS sistema (paneli 3 m, plošče 6 m)

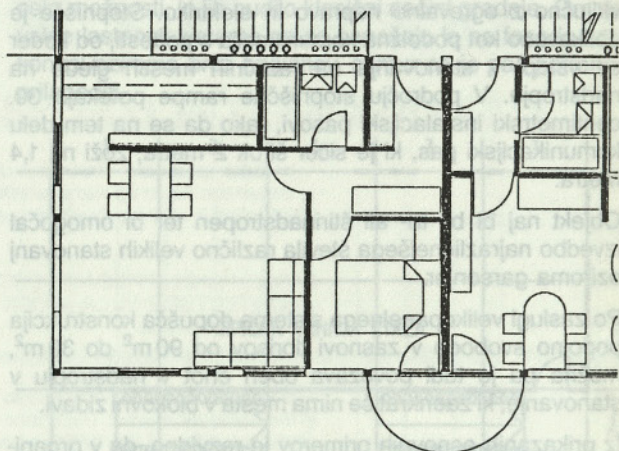


Slika 6: Primeri različnih možnosti zasnove garsonjere 30 m<sup>2</sup> in 60 m<sup>2</sup> velikega stanovanja pri najmanjši gradaciji VPMS sistema

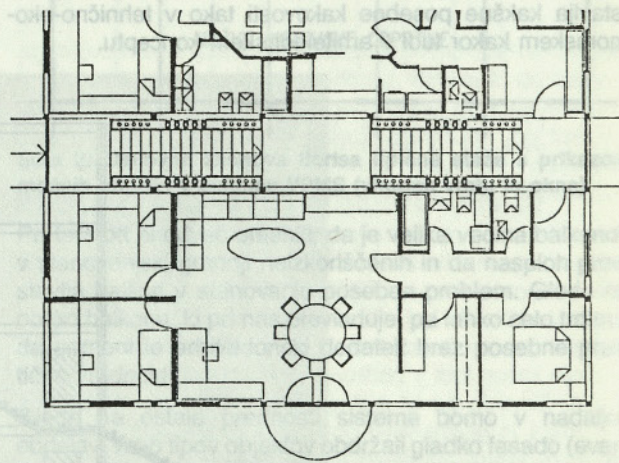
konstrukcije, potrebno je rešiti le še sicer nenosilne stene med stanovanji, ki pa morajo biti zaradi zvočne izolacije ustrezno dimenzionirane. Njihova lega v osnovnem tlorisu 6 × 15 m se spreminja, tako da se v vertikalni smeri ne prekriva, horizontalne plošče pa niso dimenzionirane tako, da bi lahko prevzemale obremenitve klasičnih zidov, ki sicer nudijo ustrezno zvočno izolacijo.

Stopnišče, ki poteka po sredini objekta, je lahko izvedeno skupaj s težko montažo (VPMS) ali pa naknadno v montažni izvedbi.

Eventualni dodatni balkoni oziroma verande, vrsta strehe in oblikovanje fasadnih elementov in sploh vsi detajli, ki pravzaprav predstavljajo večji del oziroma »vidni« del arhitekture, pa bodo obdelani, ko bo osnovni koncept ustrezno verificiran in ko bo znana lokacija oziroma investitor z določenim programom in z vsemi specifičnimi zahtevami.

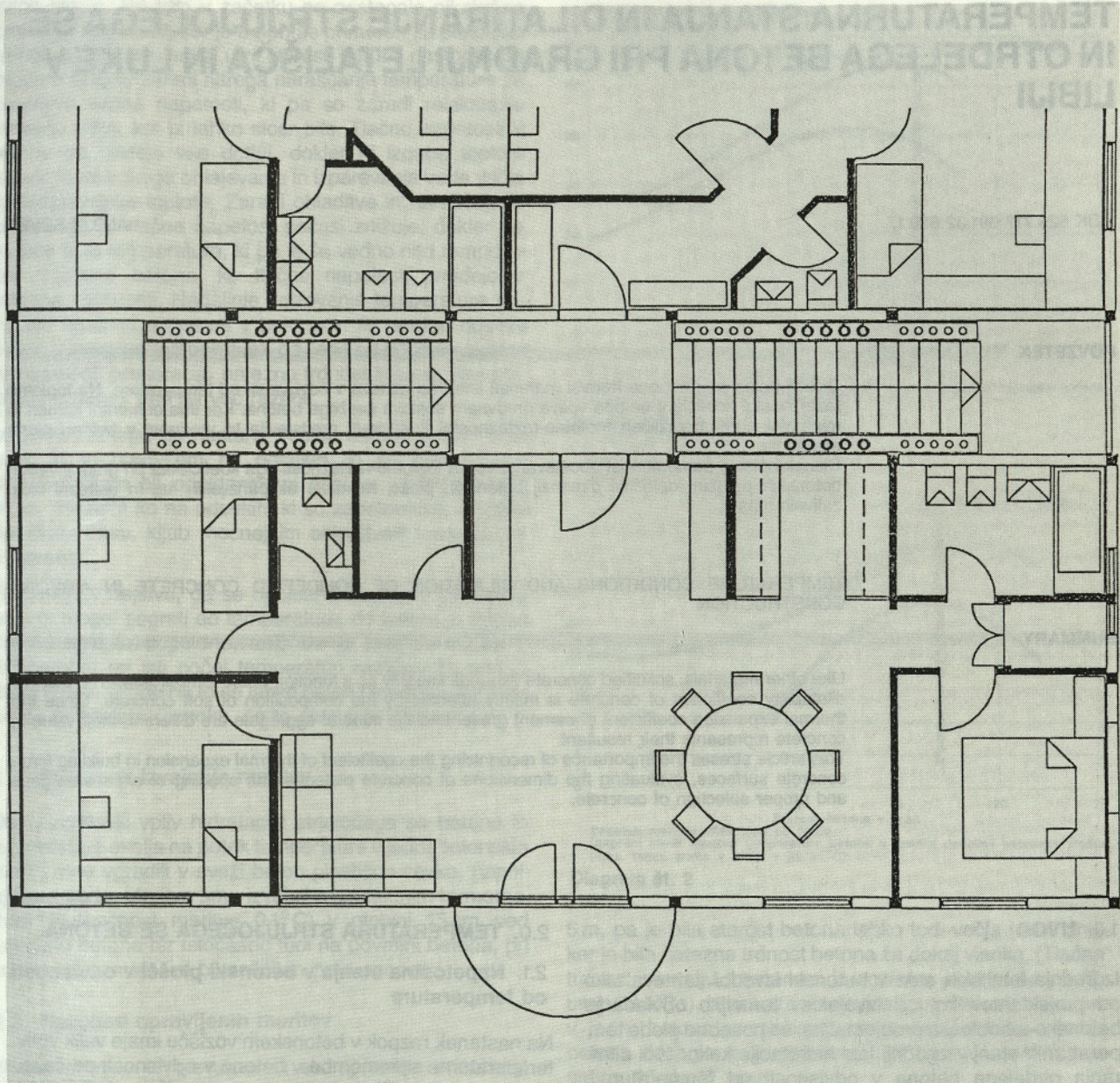


Slika 7: Primeri različnih možnosti zasnove stanovanja 45 m<sup>2</sup> pri najmanjši gradaciji VPMS sistema



Slika 8: Stanovanji (90 m<sup>2</sup>) po celotnem tlorisu konstrukcijske enote pri najmanjši gradaciji VPMS sistema. Tipična vrhna etaža

**SCT**  
sct ljubljana



Slika 9: Stanovanji (90 m<sup>2</sup>) po celotnem tlorisu konstrukcijske enote pri najmanjši gradaciji VPMS sistema. Vhod v stanovanje na sredini enote

**sct***sct ljubljana*

# TEMPERATURNNA STANJA IN DILATIRANJE STRJUJOČEGA SE IN OTRDELEGA BETONA PRI GRADNJI LETALIŠČA IN LUKE V LIBIJI

UDK 625.717:691.32:620.17

ALOJZ SEVER

## POVZETEK

Otrdeli beton se podobno kot vsi materiali linearno razteza v odvisnosti od temperature. Na toplotno razteznostni koeficient betona vpliva predvsem sestava svežega betona. Ker ima cementni kamen in mineralni agregat različni toplotno-razteznostni koeficient, predstavlja to vrednost v betonu njuna rezultanta.

Članek opisuje pomembnost upoštevanja vpliva toplotno-razteznostnega koeficienta pri gradnji velikih betonskih površin, določitvi dimenzij betonskih plošč, razmaku ekspanzijskih fug in ustrezni izbiri zalivnih mas.

TEMPERATURE CONDITIONS AND DILATATION OF SOLIDIFIED CONCRETE IN AIRPORT CONSTRUCTION

## SUMMARY

Like other materials, solidified concrete expands linearly as a function of the temperature. The thermal dilatability coefficient of concrete is mainly affected by the composition of soft concrete. Since the thermal expansion coefficient of cement gravel and the mineral aggregate are different, their value in concrete represents their resultant.

This article stresses the importance of recognizing the coefficient of thermal expansion in building large concrete surfaces, evaluating the dimensions of concrete plateaus, the spacing of expansion gaps and proper selection of concrete.

## 1.0. UVOD

Izgradnja letaliških stez v betonski izvedbi zahteva tako od projektantov kot od izvajalcev temeljito obvladovanje betonsko-tehnološke problematike, še posebno glede temperaturnih stanj v zgodnji fazi hidracije kakor tudi dilatiranja otrdelega betona v odvisnosti od temperaturnih sprememb. Ta problematika, ki bistveno vpliva na pričetek rezanja dilatacijskih fug in na določitev geometrije betonskih plošč, je zelo zahtevna že pri normalnih temperaturah, medtem ko je pri visokih dnevniških temperaturah še zahtevnejša.

Pri gradnji letališča in luke v Libiji so bile za ta namen izvajane preiskave merjenja dilatiranja betonskih plošč zaradi zunanjih temperatur ter meritve temperatur strjujočega se betona v jedru betonske plošče.

## 2.0. TEMPERATURA STRJUJOČEGA SE BETONA

### 2.1. Napetostna stanja v betonski plošči v odvisnosti od temperature

Na nastanek razpok v betonskem vozišču imajo velik vpliv temperaturne spremembe v betonu v odvisnosti od časa. Vsaka sprememba temperature povzroči v mladem betonu določene volumenske spremembe, ki jih le-ta lahko prevzame, ker se je v tej fazi še sposoben plastično preoblikovati. Pričetek strjevanja pa to stanje bistveno spremeni. Nadaljnje temperaturne spremembe povzročijo nastanek prisilnih napetosti, ki zaradi preprečitve preoblikovanja privedejo do nastanka lastnih natezних napetosti. Kolikor te natezne napetosti prekoračijo natezno trdnost mladega betona, se pojavijo razpoke v področju maksimalnih napetosti. Na velikost napetosti vplivajo predvsem spremembe temperature, ki nastanejo pri pričetku strjevanja.

V vgrajenem betonu se po ca. 2 urah prične naraščanje temperature zaradi sproščanja hidratacijske toplote. Intenzivnost sproščanja hidratacijske toplote pa je bistveno hitrejša, čim višje so temperature okolja, v katerem se

*Avtor:*  
Alojz Sever, mag., dipl. ing., IGMAT, d.o.o., Inštitut  
za gradbene materiale, Ljubljana, Slovenčeva 22



beton strjuje. Pri tem v začetku ne nastopajo nikakršne izmerljive napetosti, ker je beton še primeren za plastično preoblikovanje. Pri nekaj urni starosti betona nastopijo pri mlademu betonu zaradi hitrega naraščanja temperature že izmerljive tlačne napetosti, ki pa so zaradi relaksacije bistveno nižje, kot bi lahko sicer bile. Tlačne napetosti v betonu pa rastejo vse dotlej, dokler ni izguba toplote zaradi površinskega ohlajevanja in izparevanja vode večja od hidratijske toplote. Zaradi ohlaiditve in naraščajoče relaksacije se tlačna napetost počasi znižuje, dokler ne doseže tisto temperaturo, ki pa je še vedno nad temperaturo svežega betona, ko tlačne napetosti preidejo v natezne napetosti. Nadaljnje zniževanje temperature povečuje natezne napetosti v betonu in še preden doseže beton minimalno temperaturo, odvisno od pogojev okolice te napetosti prekoračijo natezno trdnost betona, kar povzroči nastanek ene ali več razpok.

Iz prakse izhaja, da nastane večina razpok v teku prve noči, in to predvsem na odsekih, ki so betonirani v dopoldanskem ali opoldanskem času v vročih poletnih dneh, medtem ko na odsekih, ki so zabetonirani v popoldanskem času, kljub močnejšim ohlaiditvam razpoke ne nastanejo.

Razlog je v dejstvu, da se opoldanski beton v teku prve noči ni mogel segreti do temperature, do katere je segret beton, vgrajen dopoldne, tako da je kritična razlika v temperaturi pri isti nočni temperaturi različna za prvi in drugi beton. Glede na to se lahko beton mnogo bolj ohladi, ne da bi nastale razpoke, če to ohlaidanje nastopi prej.

## 2.2. Postopek izvajanja meritev

Da bi ugotovili vpliv hidratijske strujočega se betona in temperature okolja na potek temperature v jedru betonskih plošč, smo vgradili v sveži beton plastično cevko, napolnjeno z vodo. Meritve smo izvajali s kontaktnim termometrom (natančnost meritve  $0,1^{\circ}\text{C}$ ) v globini 15 cm pod površino betona ter istočasno tudi na površini betona, pri čemer termometer ni bil zaščiten pred soncem.

## 2.3. Rezultati opravljenih meritev

Visoke dnevne temperature in skoraj stalna prisotnost vetra čez dan so pri gradnji letališča v puščavi narekovale betoniranje izključno v nočnem času. Ob tem se je pojavilo vprašanje, koliko ur po vgraditvi betona imamo na voljo za rezanje ekspanzijskih in dilatacijskih stikov brez nevarnosti, da bi nastale razpoke.

Ob tem velja poudariti, da je bil beton negovan z membransko zaščito, ki je preprečevala izhlapevanje vode iz betona v skladu z ASTM C 309. Meritve temperatur strujočega se betona so pokazale, da pri nočnem betoniranju ni nevarnosti za nekontrolirano pokanje betona najmanj 17 ur po zamešanju, ko so v betonu samo tlačne napetosti. Tlačne napetosti so v betonu sicer še nekaj ur po tem času, vendar je bila zaradi varnosti za razrez ekspanzijskih fug privzeta mejna starost betona 17 ur. (Ekspanzijske fuge so bile določene s projektom na 25 m). Za razrez dilatacijskih fug, ki so bile rezane na vsakih

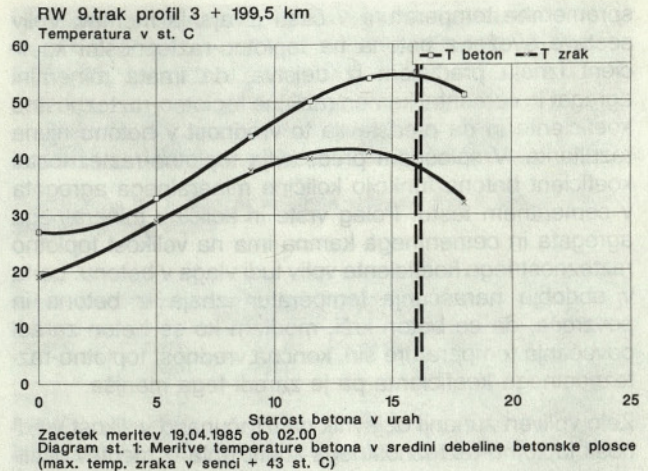


Diagram št. 1

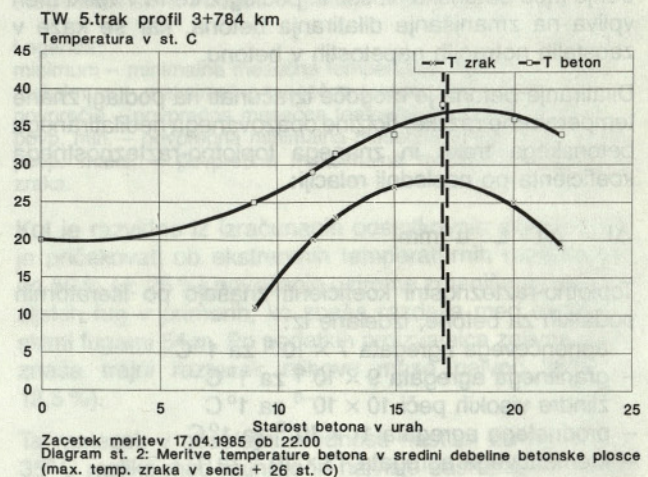


Diagram št. 2

5 m, pa je bila starost betona lahko tudi večja (do 2 dni), ker je bila natezna trdnost betona že dokaj visoka. (Tlačna trdnost na valju, izvrtanem iz vozišča, je znašala po 20 urah 23 MPa). Iz prikazanih diagramov poteka temperatura v jedru betona je razvidno, da je temperatura v jedru betona dosegla svoj maksimum pri nočnem betoniranju po ca. 16 do 17 urah.

## 3.0. TOPLOTNO DILATIRANJE BETONA

Meritve toplotnega dilatiranja betona na gradbišču letališča in luke v Libiji so se izvajale z različnimi nameni. Pri gradnji letališča so imele meritve namen izbrati zalivno maso, ki bo trajno lahko sledila dilatiranju betona, pri gradnji kontejnerskega terminala v luki pa je bilo potrebno ugotoviti poglavitni vzrok za odstopanje zalivne mase od betona v že zalitih ekspanzijskih fugh.

### 3.1. Toplotno-razteznostni koeficient

Beton ima podobno kot ostali gradbeni materiali pozitivni toplotno-razteznostni koeficient, ki je odvisen predvsem od sestave svežega betona ter od stopnje vlažnosti in

spremembe temperature v času izvajanja meritev. Vpliv sestave svežega betona na toplotno-razteznostni koeficient izhaja predvsem iz dejstva, da imata mineralni agregat in cementni kamen različne toplotno-razteznostne koeficiente in da predstavlja to vrednost v betonu njuna rezultanta. V splošnem predstavlja toplotno-razteznostni koeficient betona funkcijo količine mineralnega agregata v cementnem testu. Poleg vrste in količine mineralnega agregata in cementnega kamna ima na velikost toplotno-razteznostnega koeficienta vpliv tudi vlaga v betonu. Le-ta v obdobju naraščanja temperatur izhaja iz betona in povzroča, da se beton krči, medtem ko se beton zaradi povečanja temperature širi, končna vrednost toplotno-razteznostnega koeficienta pa je zaradi tega manjša.

Zelo vpliven zunanji dejavnik na izračunano velikost vrednosti toplotno-razteznostnega koeficienta iz meritev dilatiranja betona na terenu pri različnih temperaturah pa je trenje med betonsko ploščo in podlago. Le-ta v veliki meri vpliva na zmanjšanje dilatiranja betona, kar se kaže v zaostalih notranjih napetostih v betonu.

Dilatiranje betona je mogoče izračunati na podlagi znane temperaturne razlike, dolžine opazovanega nedilatiranega betonskega traku in znanega toplotno-razteznostnega koeficienta po naslednji relaciji:

$$\Delta l = \Delta T \cdot L \cdot \alpha \text{ [mm]}$$

Toplotno-razteznostni koeficienti znašajo po literarnih podatkih za betone, izdelane iz:

- apnenčevega agregata  $7 \times 10^{-6}$  za  $1^\circ\text{C}$
- granitnega agregata  $9 \times 10^{-6}$  za  $1^\circ\text{C}$
- žlindre visokih peči  $10 \times 10^{-6}$  za  $1^\circ\text{C}$
- prodnatega agregata  $11 \times 10^{-6}$  za  $1^\circ\text{C}$
- kremenovega agregata  $13 \times 10^{-6}$  za  $1^\circ\text{C}$

Iz gornjega sledi, da so raztezki pri betonu, izdelanem iz kremenčevega agregata, enkrat večji kot pri betonu iz apnenčevega agregata. Prav zaradi tako velikega vpliva mineralnega agregata na toplotno-razteznostni koeficient betona je potrebno razmak in velikost dilatacijskih fug za vsak primer posebej preučiti in upoštevati lastnosti predvidenih materialov za pripravo betona, minimalne in maksimalne možne temperature zraka, ki se lahko pojavijo, vpliv trenja med betonom in podlago, kakor tudi gibanje vlažnosti čez celo leto.

### 3.2. Postopek izvajanja meritev na letališču

Meritve dilatiranja betona zaradi temperature okolja so se izvajale na izrezanih ekspanzijskih fugah, in sicer v obdobju starosti betona od enega do dveh mesecev. Debelina betona je znašala 33 cm.

Razmak med ekspanzijskimi stiki je znašal 25 m, trak v dolžini 25 m je bil armiran neprekinjeno z mrežo iz rebrastega železa  $\varnothing$  4 mm in odprtini 10 × 10 cm, pri čemer so bile dilatacijske fuge, rezane na razdalji 5 m v vzdolžni in prečni smeri, prva in zadnja v traku mozničeni, srednji dve po nemozničeni. Vtisnjeni moznički so bili do polovice premazani z bitumensko emulzijo.

Beton je bil položen na plasti asfalta debeline 5 cm. Meritve širine fug so se izvajale pri različnih zunanjih temperaturah, vedno na istih označenih mestih, s klinastim distančnikom, ki je omogočal natančnost merjenja 0,5 mm.

### 3.3. Postopek izvajanja meritev v luki

Postopek meritev dilatiranja betona v luki se od postopka meritev na letališču ni razlikoval. Razlika je nastopala le v geometriji in debelini betonski plošč ter v razmaku med ekspanzijskimi fugami. Debelina betona je znašala 30 cm, velikost plošč je znašala  $7,20 \times 4,50$  m ekspanzijske fuge v vzdolžni smeri so bile izvedene na 28,80 m, v prečni smeri pa na 54,00 m. Plošče so bile armirane z mrežno armaturo, vse fuge, tako ekspanzijske kot dilatacijske, pa so bile mozničene. Beton je bil položen na tampon, ki je bil prekrit s PVC folijo.

### 3.4. Rezultati opravljenih meritev

#### 3.4.1. Letališče

Meritve dilatiranja ekspanzijskih fug so se izvajale z namenom, da se ugotovi dejansko raztezanje 25 m betonskega traku, širine 5 m, izdelanega iz sorazmerno mehkega apnenčevega drobljenega agregata (tlačna trdnost kamna 90–120 MPa), položenega na 5 cm asfaltno plast, in to pri puščavskih temperaturnih pogojih.

Ti podatki naj bi dali osnovo za izbiro zalivne mase kakor tudi območje temperatur, ko je maso najugodnejše vgrajevati glede na kompenzacijo maksimalnih skrčkov oziroma raztezkov betona.

Rezultati meritev, ki so se izvajale na petih, v različnih obdobjih betoniranih trakovih, so v odvisnosti od min. in maks. dnevnih temperatur prikazani v preglednici št. 1.

Izvajanje meritev	Dnevna temperatura		Velikost fug v odvisnosti od temperature					
	min.	max.	3+200 6. trak	3+225 7. trak	3+325 7. trak	3+350 7. trak	3+450 7. trak	
datum	ura	min.	max.	mm	mm	mm	mm	mm
–	ur/min.	°C	°C					
28. 3.	11/00	16	31	28	26	25.5	26	26.5
28. 3.	14/30	16	31	27	25	25	25	26
28. 3.	17/00	16	31	27	25	25	25	26
29. 3.	7/00	14	16	28	26.5	26	26.5	27
29. 3.	13/30	14	16	28	26.5	26	26.5	27
30. 3.	7/00	9	23	28	27	26	26.5	27.5
1. 4.	9/45	7	25	28.5	27	26	26.5	27.5
8. 4.	13/30	16	40	26.5	25	24.5	25	25.5
8. 4.	14/30	16	40	26.5	24.5	24	25	25
8. 4.	15/30	16	40	26	24.5	24	24.5	25
9. 4.	13/15	19	43	26.5	24	24.5	25	25.5
9. 4.	15/45	19	43	25.5	24	23.5	24	24
9. 4.	17/30	19	43	25.5	24	23.5	24	25
10. 4.	7/30	21	42	27	26	25	25.5	26.5
10. 4.	14/30	21	42	26	24.5	24	24	25

Preglednica št. 1: Rezultati meritev spreminjanja velikosti fug na betonskem traku dolžine 25 m zaradi vpliva temperature.

Iz prikazanih rezultatov sledi, da je znašal maksimalni izmerjeni raztezek 25 m betonskega traku  $\Delta l = 3$  mm pri temperaturni razliki  $\Delta T = 36^\circ\text{C}$ . Po znani relaciji znaša izračunan toplotno-razteznostni koeficient:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta T \cdot L} = \frac{0,003}{36 \cdot 25} = 3,3 \cdot 10^{-6}$$

To pomeni, da lahko v tem primeru, ko znašajo temperaturne razlike tudi do  $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ , pričakujemo maksimalne skrčke oziroma raztezke ekspanzijskih fug med ca 5 in 6 mm.

Glede na gibanje temperatur ozračja je možno kompenzirati maksimalne skrčke oziroma raztezke fug pri vgrajevanju zalivne mase v zgodnjih jutranjih in dopoldanskih urah, ko se temperature gibljejo med 20 in  $30^\circ\text{C}$ .

### 3.4.2. Luka

Meritve dilatiranja betona na kontejnerskem terminalu v luki so se izvajale z namenom, da bi ugotovili poglavitni razlog za odstopanje zalivne mase od betona v ekspanzijskih fugah. Zalivanje fug je bilo izvedeno natančno po navodilih proizvajalca mase, ki je za svojo maso zagotavljal trajni raztezek 25 % ( $\pm 12,5\%$ ).

Rezultati treh vzdolžnih in treh prečnih ekspanzijskih fug so prikazani v pregl. 2:

Razmak med fugami	54,0 m			28,8 m		
	1	2	3	4	5	6
$\Delta l$ v mm pri $\Delta T=29^\circ\text{C}$	5,5	7,8	5,9	2,6	3,3	3,0
Srednja velikost fuge	28,25	28,70	27,15	33,60	33,25	33,30
Delovanje fuge v %	19,5	27,2	21,7	7,7	9,9	9,0
Izračunan toplotno-razteznostni koeficient	$3,4 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$	$3,1 \times 10^{-6}$	$3,9 \times 10^{-6}$	$3,6 \times 10^{-6}$

Preglednica št. 2: Rezultati meritev delovanja fug

$\Delta l$  – raztezek oziroma skrček fuge

$\Delta T$  – razlika med maksimalno in minimalno temperaturo betona

Povprečna vrednost toplotno-razteznostnega koeficienta, izračunana iz tabelaričnih podatkov, znaša  $\alpha = 3,77 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ . Na podlagi dejansko ugotovljenega toplotno-razteznostnega koeficienta so izračunani in v pregl. 3 prikazani odstotkovno maksimalni skrčki (raztezki) fug v odvisnosti od temperaturnih razlik betona (razlika med minimalno in maksimalno možno nastopajočo temperaturo betona).

Zalivanje fug se je izvajalo v mesecih maju, juniju in juliju 1991. Gibanje minimalnih, maksimalnih in povprečnih temperatur v teh mesecih pa je prikazano v pregl. 4:

Razmak med fugami v mm	Širina fuge v mm	Skrček-raztezek v % pri razliki $\Delta T$ med maks. in min. temperaturo betona			
		$\Delta T=15^\circ\text{C}$	$\Delta T=35^\circ\text{C}$	$\Delta T=55^\circ\text{C}$	$\Delta T=65^\circ\text{C}$
54,0	28	10,9	25,4	39,9	47,2
28,8	33	5,0	11,6	18,2	21,4

Preglednica št. 3. Skrčki oziroma raztezki fug v odvisnosti od temperaturnih razlik

mesec	Temperatura zraka v $^\circ\text{C}$				
	minimum	maksimum	povprečje	povp. min.	povp. maks.
maj 91	10,0	39,0	19,1	16,0	22,3
junij 91	16,0	41,0	23,8	20,7	26,9
julij 91	20,0	38,0	26,3	23,3	29,3

Preglednica št. 4: Podatki o gibanju temperature zraka

Legenda:

minimum – minimalna mesečna temperatura zraka

maksimum – maksimalna mesečna temperatura zraka

povprečje – povprečna mesečna temperatura zraka

povp. min. – povprečna minimalna mesečna temperatura zraka

povp. maks. – povprečna maksimalna mesečna temperatura zraka

Kot je razvidno iz izračunanih odstotkovnih delovanj fug, je pričakovati ob ekstremnih temperaturnih razlikah tudi do 50 % ( $\pm 25\%$ ) povečanje oziroma zmanjšanje ekspanzijskih fug v primerih, ko znaša razdalja med ekspanzijskimi fugami 54 m. Po podatkih proizvajalca zalivne mase znaša trajni raztezek njihove mase največ 25 % ( $\pm 12,5\%$ ).

Ta raztezek v absolutni vrednosti nastopi že pri  $\Delta T = 35^\circ\text{C}$  razlike med najnižjo in najvišjo nastopajočo temperaturo betona. Ker pa proizvajalec pogojuje trajni maksimalni raztezek oziroma skrček samo za 12,5 % (+ raztezek mase, – skrček mase), je temperaturna razlika še za polovico manjša.

Ker na velikost raztezanja oziroma krčenja fuge bistveno vpliva temperatura betona v trenutku zalivanja fuge, je najprimernejši čas za zalivanje fug, ko se temperature gibljejo na sredini med minimalnimi in maksimalnimi vrednostmi.

Iz podatkov o gibanju temperatur v pregl. 4 pa izhaja, da so bile te temperature primerne za zalivanje fug. Kot bistveni razlog za prekomerno razširjanje oziroma krčenje fug (preko 12,5%) je glede na klimatske razmere v luki prevelika razdalja med ekspanzijskimi fugami.

Pri bostoječi razdalji med ekspanzijskimi fugami 54 m, nastopi prekomerno skrčenje oziroma raztezanje 30 mm fuge že pri 15 do  $20^\circ\text{C}$  povečani oziroma znižani temperaturi betona od temperature v času zalivanja, medtem ko znaša pri 28,8 m razdalji med ekspanzijskimi fugami ta temperatura lahko že ca. 30 do  $40^\circ\text{C}$ . Te razlike pa je ob upoštevanju podatkov iz prejšnjih pregl. mogoče v luki z gotovostjo pričakovati.

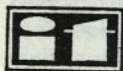
Na podlagi izračunov in meritev temperaturnega delovanja

betona sledi, da bi maksimalna razdalja med ekspanzijskimi fugami v konkretnem primeru lahko znašala 20 m ob tem, da bi bilo zalivanje fug izvedeno v temperaturnem intervalu med 25 in 35°C.

#### 4.0. SKLEP

Izvajane meritve temperatur strjujočega se betona kakor tudi dilatiranja betona zaradi temperaturnih vplivov so pokazale, da privzemanje literaturnih podatkov lahko rabi

izključno le kot groba informacija, ki jo je pri podobnih gradnjah, kot so letališča ali luke, nujno prej eksperimentalno ugotoviti na poskusnih poljih, ki so sestavni del izvedbe vsakega projekta. Neupoštevanje dejanskih vrednosti toplotno-razteznostnega koeficienta lahko v obdobju izgradnje velikih betonskih površin privede do napačne izbire zalivne mase, določitve neustreznega razmaka in oblike ekspanzijskih fug, s tem pa do katastrofalnih poškodb celotnega objekta med eksploatacijo.



**ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE**  
LJUBLJANA, ERJAVČEVA ULICA 15

## STROKOVNI IZPITI ZA GRADBENIŠTVO IN ARHITEKTURO TER PRIPRAVLJALNI SEMINARJI ZA LETO 1992

Rok	Mesec	A. seminar	B. izpit	
			pisni	ustni
I.	Januar	20.–24. januar	14. december 1991	13.–17. januar
II.	Februar	17.–21. februar	25. januar	10.–14. februar
III.	Marec	16.–20. marec	22. februar	9.–13. marec
IV.	April	13.–17. april	21. marec	6.–10. april
V.	Maj	18.–22. maj	25. april	11.–15. maj
VI.	Junij		23. maj	8.–12. junij
	September	21.–25. september		
VII.	Oktober	19.–23. oktober	17. oktober	2.–6. november
VIII.	November	16.–20. november	21. november	7.–11. december
IX.	December	14.–18. december		

A. Pripravljalni seminar organizira **ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE**, Ljubljana, Erjavčeva 15, (tel.: 061/221-587). Prijavo v obliki dopisa, skupaj z dokazilom o plačilu, pošlje plačnik stroškov seminarja. (Žiro račun: 50101-678-47602)

B. Izpit organizira **ZAVOD ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA**, Ljubljana, Dimičeva 12. Informacije dobite pri ing. Grošlju preko telefona št.: 061/342-671, od 10. do 12. ure.

# ALUMINIJ POVEZUJE

Ceste, železnice, mostovi.

Pri izredno zahtevnih konstrukcijah prihajajo do izraza izjemne lastnosti aluminija: lahkost in odpornost proti obremenitvam ter vsem vremenskim neprilikam.

Tako v zadnjem času to srebrno sivo kovino najdemo tudi na strehah, zidovih, v okenskih in vratnih okvirih.

Odlične rezultate daje aluminij pri saniranju objektov ter kot strešna kritina ali stenska obloga pri novih stavbah.

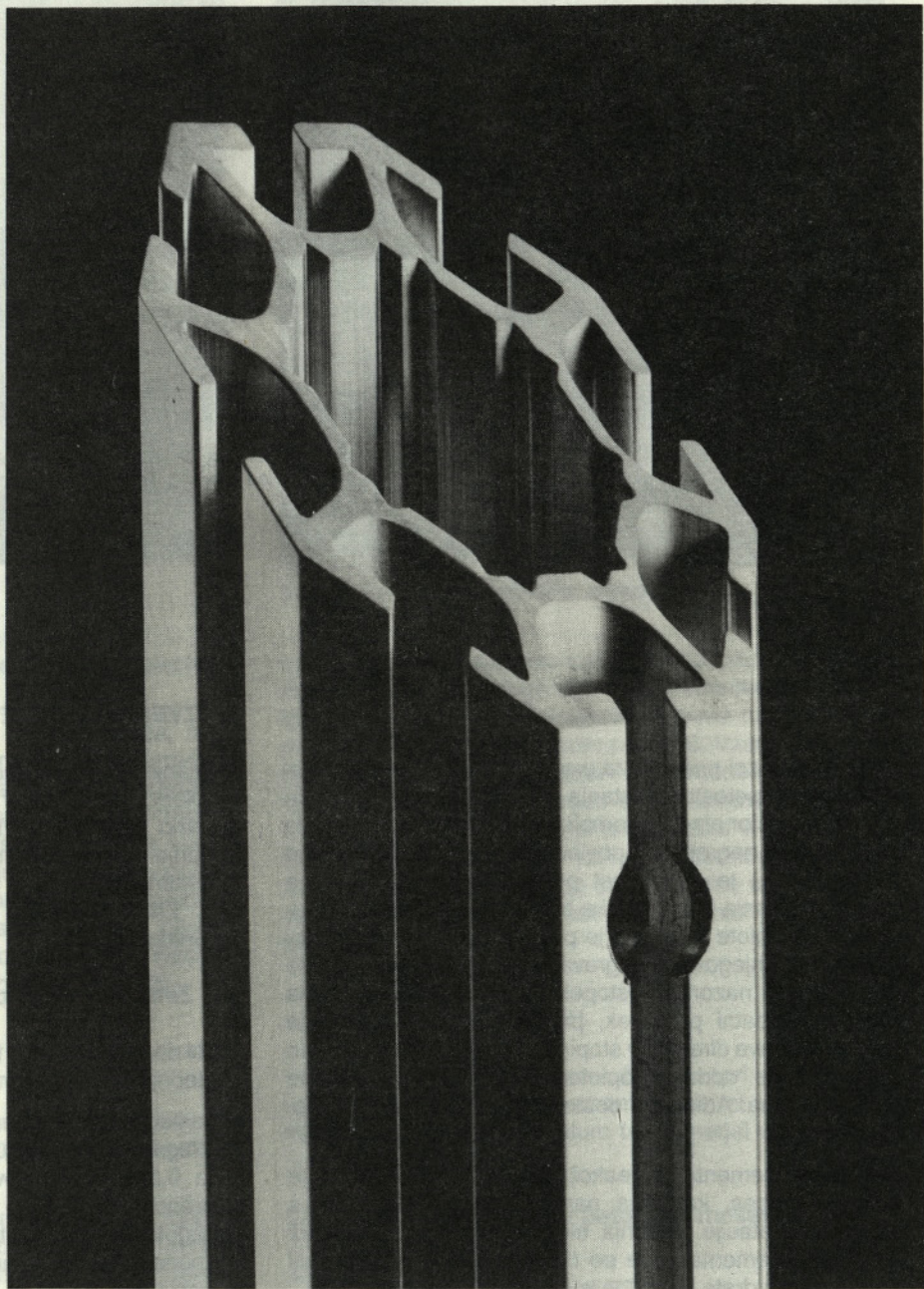
Znani oblikovalec F.E. von Garnier je naredil osnutek kovinske kolekcije iz aluminijastih plošč, katerih barvni toni se lahko med seboj kombinirajo, se prilagajajo okolici in dajejo arhitekturi prijeten videz.

Ker pa je aluminij odporen proti ognju, ga vgrajujejo v bolnišnice, otroške vrtce in domove za ostarele, iz njega pa so tudi tipični ameriški mobilni domovi.

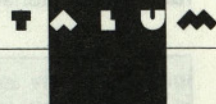
Si še vedno predstavljate aluminij samo kot dolgočasne ravne valjane plošče?

Zelo se motite.

Iz vrste aluminijevih profilov se lahko sezidajo oboki, kupole in piramida... pa takšni ali drugačni mostovi med narodil.



*Lahkota prihodnosti*



# HIDRATACIJA CEMENTA V ADIABATNEM KALORIMETRU

UDK 666.94(046)

FRANCI KAVČIČ

## POVZETEK

Opisan je postopek merjenja adiabatsne temperaturne karakteristike. Dodanih je tudi nekaj grafov in tabelaričnih prikazov rezultatov za nazornejši prikaz uporabnosti tega postopka.

## CEMENT HYDRATION IN ADIABATIC CALORIMETER

## SUMMARY

Described is the measuring process of adiabatic temperature characteristics. Added are also a few graphs and result containing tables offering illustration of applicability of such a process.

## 1. UVOD

Osnovni izhodni podatek za prognoziranje razvoja temperaturnega napetostnega stanja v strjujočem se betonu in za izbiro racionalnega kompleksa ukrepov za njegovo zaščito pred negativnimi posledicami (razpokanje, način negovanja...) je zakonitost poteka segrevanja betona zaradi oddajanja hidratacijske toplote cementa. Določitev oddajanja toplote v betonu je potrebna tudi zaradi ugotovitve poteka njegovega segrevanja pri strjevanju. Tako se je kot najbolj nazoren postopek za proučevanje procesa izkazal adiabatsni postopek, pri katerem se segrevanje betona odčitava direktno v stopinjah, ne da bi bilo potrebno izračunavanje oddane toplote in določanje specifične toplote betona. Adiabatsni postopek se tako splošno uporablja.

Hidratacija cementa je reakcija cementa z vodo, to je kemijski proces, katerega napredovanje spremljamo s stopnjo hidratacije. Stopnja hidratacije pa je tisti delež začetnega cementa, ki je po določenem času že prešel v cementne hidrate – spojine komponent cementa z vodo.

Adiabatsni proces imenujemo spremembo, pri kateri se nič toplote ne izmenja z okolico, to je sprememba toplotno izolirane snovi. Merjeni potek temperaturne spremembe v adiabatsnem kalorimetru pa nam poda adiabatsno temperaturno karakteristiko (ATK).

## 2. IZVEDBA MERITEV

Izvajanje meritev v adiabatsnih pogojih predstavlja velik problem, še posebej v primeru, ko je potrebno tako okolje umetno vzdrževati. Pri naših meritvah uporabljamo za zunanje ogrodje hladilno omaro LTH-6501 z lastnim regulacijskim sistemom, ki je relejskega tipa in dokaj nenatančen. Zato meritve in regulacijo opravljamo s pomočjo računalnika.

### 2.1. Zahteve za točnost meritev

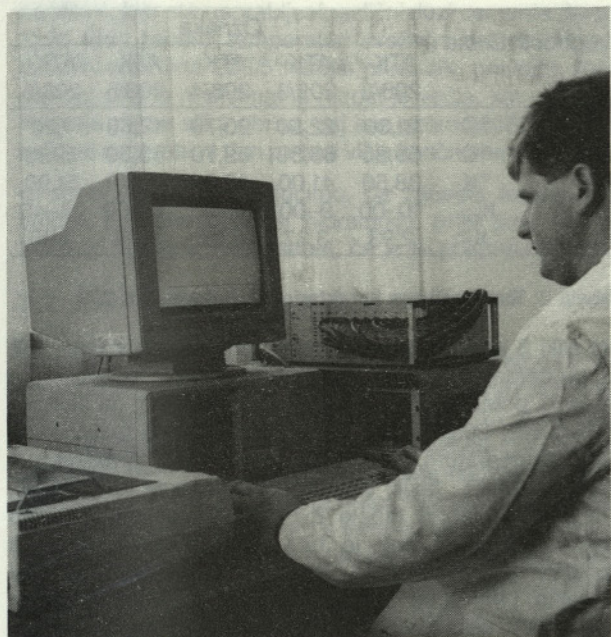
Da bi dosegli ustrezno točnost meritev, moramo upoštevati naslednje kriterije za merilni in regulacijski del:

- zasledovanje referenčne temperature, tj. temperature svežega betona v času hidratacije, mora biti velikostnega reda  $0,2^{\circ}\text{C}$ , to je dovoljeno nihanje temperature okoli reference
- zagotovljen mora biti adiabatsni pogoj, ki ga po literaturi (6) podajamo kot spremembo temperature v 10 dneh, ki ni večja kot  $0,5^{\circ}\text{C}$  in sicer v snovi, ki nima nikakršne notranje energije in je termostatirana na  $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$  višjo temperaturo, kot je temperatura okolice.

### 2.2. Merilna in regulacijska oprema

Za meritve in regulacijo pri ATK uporabljamo računalniški paket SIEMENS, ki je sestavljen iz računalnika SICOMP 16–20 in akvizicijskega dela (slika 1). Temperaturni senzori so vstavljeni v kovinsko ohišje (višja končna temperatura), s pomočjo predelanega softvera pa krmilimo proces in zagotavljamo zgoraj navedene pogoje. Program

Avtor:  
Franci Kavčič, dipl. ing., IGMAT d.o.o., Ljubljana, Sloven-  
čeva 22, avtor fotografije Oskar Dolenc



Slika 1: Regulacijski del

in senzori so že preiskušeni in delo z njimi opisano v literaturi (1, 2).

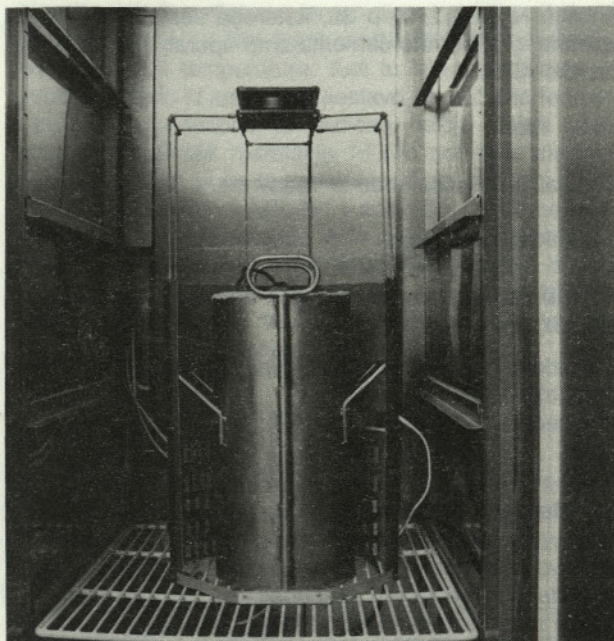
V hladilno komoro, ki nam služi le kot ogrodje, smo namestili ohišje, na katerega smo pritrdili grelne elemente. Tako razporejeni grelni elementi dajejo moč, ki zadošča maksimalni sproščeni energiji v času hidracije cementa. Pri energijskem izračunu smo upoštevali beton z visoko dozo cementa, ki ima visoko energijsko vrednost, v našem primeru cement Anhovo PCS in pa količino vgrajenega betona 12,56 l. Za preiskavo uporabljamo kalup valjaste oblike premera 20 cm in višine 40 cm, izdelan iz nerjavečega jekla, ki ima zelo dobro prevodnost. (slika 2)

### 2.3. Kalibracija naprave

S pomočjo zgoraj navedene opreme smo se lotili kalibracije naprave.

Najprej smo kalibrirali senzorje in vmesnik, ki ojačuje signale, da smo eliminirali netočnosti, ki so plod umerjanja, saj program manipulira z vrednostmi  $0,05^{\circ}\text{C}$ . Kalibracijo smo izvedli s pomočjo vodne kopeli in programa, ki popravljene vrednosti sproti zapisuje. Senzorje smo povili v šop in jih dali v vodno kopel, kjer je voda stalno krožila in imela konstantno temperaturo. Izvedli smo več kalibracij in jih sproti beležili. Vrednosti so se po petih kalibracijah umirile, s tem pa smo dobili popravke senzorjev in pripadajočih kanalov.

Naslednji korak pa je kalibracija same naprave. V kalup smo vgradili suho mešanico mineralnega agregata, cement pa nadomestili z inertnim materialom. Ob tem smo vgradili tudi en temperaturni senzor. Po postavitvi kalupa



Slika 2: Adiabati kalorimeter znotraj

v položaj za merjenje smo vzorec termostatirali na temperaturi  $40^{\circ}\text{C}$  v času dveh dni. Tako termostatirani vzorec lahko obravnavamo kot material, ki nima svoje notranje energije, začetno temperaturo pa  $40^{\circ}\text{C}$ . Vzorec smo nato izpostavili adiabatnim pogojem. V merjenem času, to je 48 ur, ni bilo nikakršnih izgub ali prirastkov temperature v vzorcu. Tudi zasledovanje temperature v okolici, ki je nihala okoli temperature vzorca (referenca), je bila v mejah zahtev. Iz vsega tega sledi, da smo uspeli narediti adiabati kalorimeter, ki ustreza podanim zahtevam iz točke 2.1.

## 3. MERITVE NA BETONIH

V tem članku bom prikazal betone, pri katerih smo uporabili različne vrste cementov, variral vsebnost cementa in začetno temperaturo ter primerjal vpliv dodatka na stopnjo hidracije.

### 3.1. Osnovni materiali za betonsko mešanico

#### 3.1.1. Mineralni agregat

Pri vseh betonih smo uporabili drobljeni kamni agregat iz separacije Kresnice, nazivnih frakcij 0/4 mm, 4/8 mm, 8/16 mm in 16/31,5 mm. Agregat je apnenčevega izvora. Uporabljena je tudi mivka Osijek, ki je nanos reke Save.

#### 3.1.2. Cement

Uporabili smo dve vrsti cementa in sicer visokokvalitetni cement Anhovo PC 15 z 45 s ali PCS, ki je bil odvzet iz proizvodnje in je uporabljen pri betonih z oznako ATK-208. Druga vrsta cementa pa je nizkohidracijski cement

Anhovo NM 50 z 10 p 35, katerega sestava je bila že opisana. (1) To vrsto cementa smo uporabili za betone z oznako ATK-A.

### 3.1.3. Voda

Dodajali smo pitno vodo iz vodovoda.

### 3.1.4. Kemijski dodatki

Uporabili smo dve vrsti kemijskih dodatkov, oba proizvod TKK Srpenica in sicer:

- brezklorni pospeševalec strjevanja in superplastifikator Omegafluid (OMFL)
- superplastifikator aerant SPA.

## 3.2. Betoni z oznako ATK-208

Sestava posamezne recepture je prikazana v tabeli 1, kjer so podane tudi dejanske vrednosti V/C faktorjev in prostorske mase ter vrednosti tlačnih trdnosti po 7 dneh. Pri vseh betonih smo imeli isto konsistenco in sicer smo vgrajevali beton s posedom 8 cm. Kocke smo hranili 24 ur v prostoru s temperaturo 20°C, nato pa do dneva preiskave v vodi z isto temperaturo (20°C). Iz primerjave tlačnih trdnosti vidimo, kakšen je vpliv kemijskega dodatka na strjevanje v prvih sedmih dneh ter kakšen je vpliv začetne temperature na prirastek trdnosti (primerjava ATK-208/4 in 208/6), kljub istim pogojem shranjevanja.

Material	Enota	Oznaka				
		ATK-208/2	ATK-208/3	ATK-208/4	ATK-208/5	ATK-208/6
cement	kg	360	360	360	330	360
voda	l	180	180	165	150	165
kemični dodatek						
OMFL	%	–	–	2	2	2
agregat	kg	1886	1886	1946	1975	1946
dejanska						
prostor. masa	kg/m <sup>3</sup>	2430	2430	2464	2460	2464
dejanski V/C		0,50	0,51	0,46	0,45	0,47
tlačna trdnost po 7 dneh	MPa	35,7	35,5	46,8	40,1	40,5

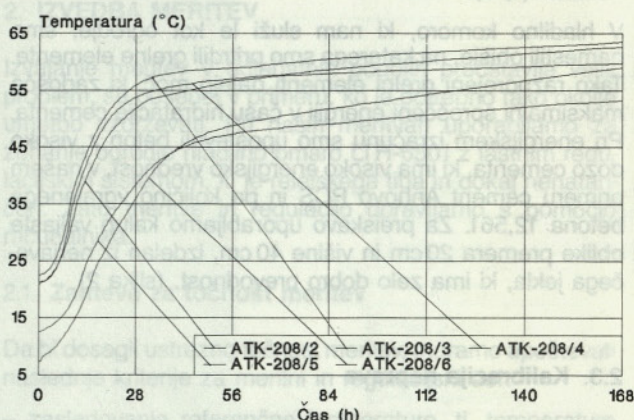
Tabela 1: Sestava betona ATK-208

V tabeli 2 so podane začetne in končne temperaturne vrednosti s točko prevoja in maksimalno hitrostjo prirastka v tej točki (dobimo jih z numeričnim odvajanjem vrednosti, ki so čitane na 10 minut, lahko tudi pogosteje, če je potrebno).

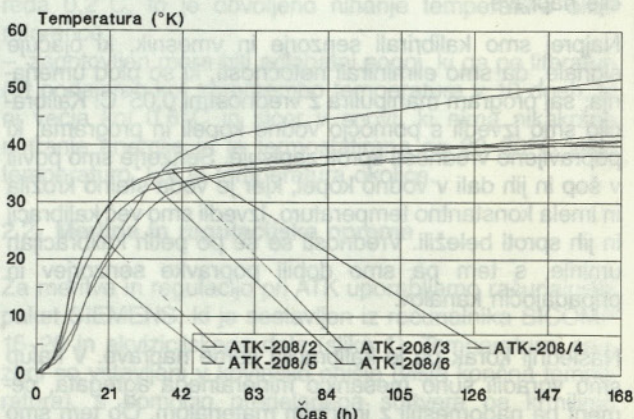
Vrednosti Enota		Oznaka				
		ATK-208/2	ATK-208/3	ATK-208/4	ATK-208/5	ATK-208/6
$T_z$	°C	21,30	22,50	20,70	12,60	7,20
$T_k$	°C	59,80	63,50	62,70	53,30	59,10
$\Delta T$	°K	38,50	41,00	42,00	40,70	51,90
$T_{pr}$	$h_{min}$	10–00	9–00	9–40	13–00	15–40
$T_{max}$	°K/h	2,93	3,37	3,22	2,10	1,90

Tabela 2: Temperaturne karakteristike betona ATK-208

Na sliki 3 in 4 podajamo temperaturni potek v času 168 ur, pri čemer je na sliki 3 prikazan absolutni, na sliki 4 pa relativni potek temperature. Iz slike 3 vidimo, da sestave ATK-208/2, 208/3, 208/4 in 208/6, ki imajo različne začetne temperature, pri zadnjih dveh pa je uporabljen tudi dodatek OMFL, težijo k približno isti končni temperaturi, kar je vidno tudi iz tabele 2. Potek ATK-208/5 ima nižjo končno vrednost, kar je tudi razumljivo, saj ima za 30 kg/m<sup>3</sup> manj cementa. Iz slike 4 je razviden vpliv dodatka OMFL na stopnja hidracije, saj ima beton ATK-208/4, kljub isti začetni temperaturi, hitrejši prirastek (stopnja hidracije je večja), kot beton z oznako ATK-208/2. Tudi iz tabele 2 je razvidno, da točka prevoja in maksimalna hitrost nastopi prej pri betonu z dodatkom. Zanimiva je primerjava med grafoma ATK-208/5 in 208/6



Slika 3: Primerjava poteka temperature – absolutno



Slika 4: Primerjava poteka temperature – relativno



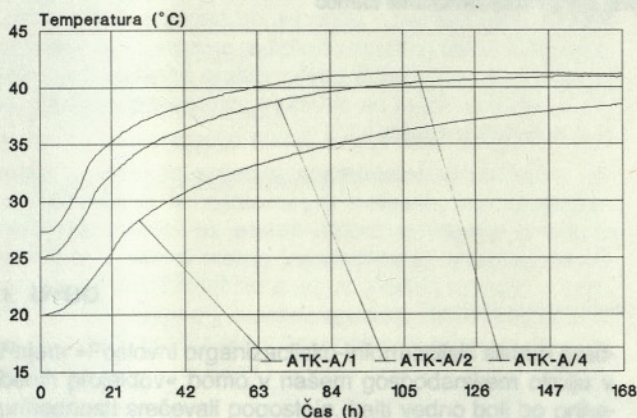
na sliki 4, kjer sta uporabljeni različni dozi cementa (tabela 1) in nizki začetni temperaturi svežega betona. V prvih desetih urah ima 208/5 hitrejši prirastek, prevojna točka nastopi prej in maksimalna hitrost je večja, kot pri 208/6. Pozneje pa se slika obrne, saj ima vzorec 208/6 le večjo količino cementa, s tem pa tudi višjo končno temperaturo.

Iz obeh slik lahko zaključimo, da začetna temperatura betona bistveno pospeši hidratacijo, prav tako pa tudi kemijski dodatek, še posebej, če je to pospeševalec.

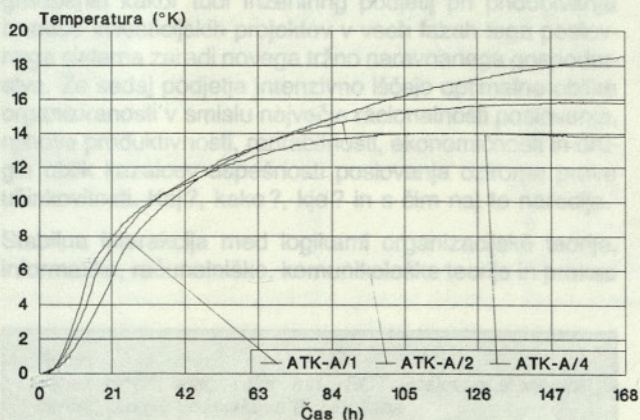
### 3.3. Betoni z oznako ATK-A

Sestava posamezne recepture je prikazana v tabeli 3, kjer so podane tudi dejanske vrednosti V/C faktorjev in prostorninske mase ter vrednosti tlačnih trdnosti po 7 in 28 dneh. Pri vseh betonih smo imeli isto konsistenco in sicer smo vgrajevali beton s posedom 3 cm. To je namreč beton za masivne konstrukcije, zato je beton trdo plastičen. Kočke smo hranili 24 ur v prostoru s temperaturo 20°C, nato pa do dneva preiskave v vodi s temperaturo 20°C. Iz primerjave tlačnih trdnosti vidimo, da smo imeli dokaj konstanten beton za vse vzorce, kar potrjujejo tudi ostale karakteristike svežega betona.

V tabeli 4 so podane začetne in končne temperaturne vrednosti s točko prevoja in maksimalno hitrostjo prirastka v tej točki.



Slika 5: Primerjava poteka temperature – absolutno



Slika 6: Primerjava poteka temperature – relativno

Na sliki 5 in 6 podajamo temperaturni potek v času 168 ur, pri čemer je na sliki 5 prikazan absolutni, na sliki 6 pa relativni potek temperature. Tudi tu lahko zaključimo, da vsi trije betoni, ki imajo isto sestavo, le začetna temperatura svežega betona je različna, težijo k isti končni temperaturi. Potek hidratacije bi bilo potrebno slediti še kakih pet dni in bi se to verjetno tudi zgodilo, saj vidimo, da je krivulja betonA ATK-A/1 v zadnjih urah strmehjša kot pa pri ostalih dveh betonih. Vpliv začetne temperature na stopnjo hidratacije in hitrost hidratacije v tretjem obdobju (4), je razviden iz slike 6 in tabele 4, kjer vidimo zmanjševanje časa prevojne točke in zvečevanje maksimalne hitrosti v tej točki z začetno temperaturo.

### 4. ZAKLJUČEK

Iz prikazanih slik, ki sem jih poskušal na kratko komentirati, vidimo, da opisan postopek merjenja adiabatske temperature karakteristike daje za prakso zelo zanimive in uporabne rezultate.

Pristop in način izdelave naprave za merjenje in zapisovanje podatkov o adiabatskih spremembah v betonu je bil torej pravilen.

To napravo želimo predstaviti širši javnosti, saj smo prepričani, da bi z njeno uporabo dobili veliko podatkov in napotkov za delo z različnimi betoni. Lažje bi izbrali tehnologijo obdelave in nege betonov, spoznali bi vpliv posameznih dodatkov na stopnjo hidratacije, vpliv začetnih temperatur in posameznih vrst cementov.

Material	Enota	Oznaka		
		ATK-A/1	ATK-A/2	ATK-A/4
cement	kg	180	180	180
voda	l	120	120	120
kemični dodatek SPA	%	2	2	2
agregat	kg	2109	2109	2109
dejanska prostorninska masa	kg/m <sup>3</sup>	2400	2380	2370
dejanski V/C		0,70	0,68	0,71
tlačna trdnost po 7 dneh	MPa	13,4	13,3	13,2
tlačna trdnost po 28 dneh	MPa	23,8	22,2	23,3

Tabela 3: Sestava betona ATK-A

Vrednosti	Enota	Oznaka		
		ATK-A/1	ATK-A/2	ATK-A/4
$T_z$	°C	20,00	25,20	27,40
$T_k$	°C	38,50	41,00	41,20
$\Delta T$	°K	18,50	15,80	13,80
$T_{pr}$	$h_{min}$	22–00	15–20	12–40
$T_{max}$	°K/h	0,58	0,73	0,88

Tabela 4: Temperaturne karakteristike betona ATK-A

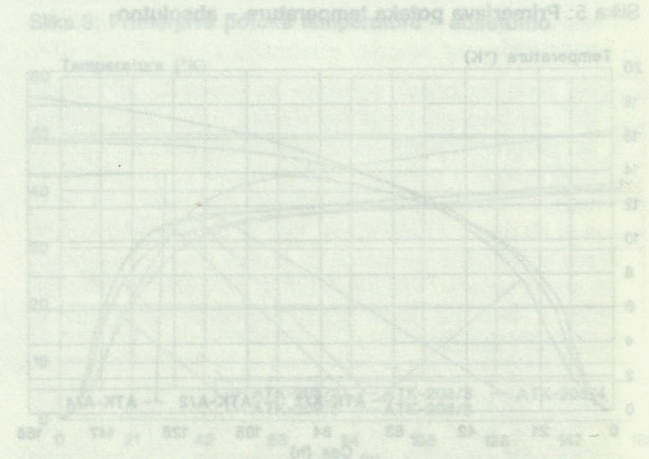
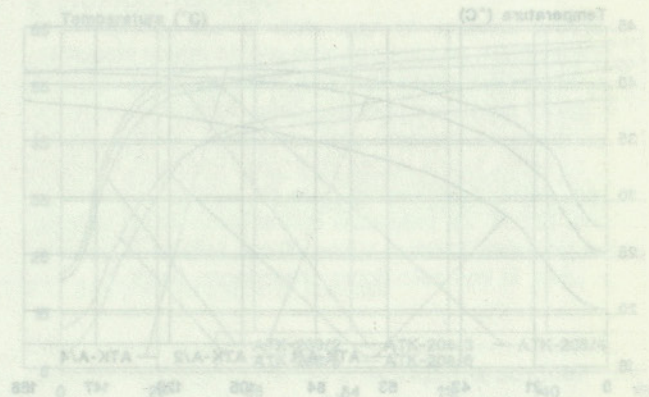
Legenda:

$T_z$  – začetna temperatura svežega betona  
 $T_k$  – temperatura betona v ATK po 168 urah  
 $\Delta T$  – prirastek temperature  
 $T_{pr}$  – točka prevoja  
 $T_{max}$  – max hitrost naraščanja

Naše razvojno delo pa še ni končano. Naslednja naloga je poiskati ustrezno analitično funkcijo, ki je bila že predstavljena (4) vendar jo je potrebno za eksaktno rabo točneje definirati.

## Literatura

1. Kavčič F.: Izboljšani tehnološki postopki za gradnjo hidroenergetskih objektov, Tehnični informator št. 21, september 1988.
2. Kavčič F.: Eksperimenta v letu 1989 v okviru razvojne naloge UNIDO – masivni betoni, Tehnični informator št. 25, marec 1990.
3. Kocuvan I.: O stopnji hidracije cementa, Tehnični informator št. 26, avgust 1990.
4. Kocuvan I.: O stopnji hidracije cementa, (nadaljevanje), Tehnični informator št. 27, oktober 1990.
5. Kocuvan I.: O stopnji hidracije cementa (dodatek), Tehnični informator št. 28, december 1990.
6. Čilingarišvili G. I.: Metoda določitve odvajanja toplote pri strjevanju, Hidrotehniško strojiteljstvo, št. 7, 1981, str. 35–39.



# ORGANIZACIJSKO INFORMACIJSKI SISTEM GRADBENIH PROJEKTOV

JANEZ BOŽIČ

## POVZETEK

Organiziranje sodobnega tržnega pristopa gradbenih podjetij temelji v osnovi na organiziranju kontinuiranega vodenja-upravljanja gradbenih projektov prek faz ponudbenega postopka, izvedbe in garancije. Vse to pa zahteva zelo celovito organiziranje procesov projektov, oblikovanje projektnih in drugih organizacijskih struktur, uporabo sodobnih metod projektnega vodenja in ne nazadnje pravilno strukturiranost projektnega informacijskega sistema.

## AN ORGANIZATION-AND-INFORMATION SYSTEM FOR BUILDING PROJECTS

## SUMMARY

The organization of latest market approach of contractors is principally based on continuously managing and conducting construction work via the various building processes offered, the completion of building and guarantee. All of these functions require a complete organization of project processes, the creation of project structures and other organizational arrangements, the use of latest methods of project management and last but not least, of a properly structured information system, last, but not least, correct structuralization of the project information system.

## 1. UVOD

Pojem »Poslovni organizacijsko-informacijski sistem gradbenih projektov« bomo v našem gospodarskem okolju v prihodnosti srečevali pogosteje, kajti vedno bolj bo prihajalo do zaostrovanja in krčenja manipulativnih sposobnosti gradbenih kakor tudi inženiring podjetij pri pridobivanju izvedbe investicijskih projektov v vseh fazah tega poslovnega sistema zaradi novega tržno naravnega gospodarstva. Že sedaj podjetja intenzivno iščejo optimalne oblike organiziranosti v smislu največje racionalnosti poslovanja, njihove produktivnosti, rentabilnosti, ekonomičnosti in drugih oblik kazalcev uspešnosti poslovanja oziroma prave učinkovitosti. Kaj?, kako?, kje? in s čim naj to naredijo.

Stabilna interakcija med logikami organizacijske teorije, informatike, računalniške, komunikološke teorije in prakse

je nuja tega trenutka gradbenih podjetij. Nedvomno pa je sedaj najpomembnejše v slovenskem gradbenem prostoru ustvariti objektivno poslovno kultiviranost, ki jo je ob ostrem konkurenčnem boju malo, doseči pa jo bo možno le z dogovorno enotno izdelanimi modeli organizacijsko-informacijskega koncepta. Zato na kratko opredelimo bistvene značilnosti gradbenega okolja. Te so:

- izobilje kapacitet v gradbeništvu
- ustavljene investicije
- povečane zahteve po kakovosti izdelkov
- zahteve za skrajševanje rokov izgradnje (dobave)
- pritiski za zniževanje cen
- trg prodajalca postaja vse bolj trg kupca.

Kot posledica se pojavljajo:

- spremembe prodajnega tržišča (intenzivna preusmeritev v tujino)
- spremembe nabavnega trga
- spremembe načina dela
- znotraj sistema zahteve za znižanje stroškov
- nadaljnje naravne zahteve po optimalizaciji poslovnega sistema in za po vse bolj anticipativnem prilagajanju tržišča (vnaprej zgraditi objekt pred plačilom).

### Avtor:

Janez Božič, mag., dipl. ing., SCT Poslovno storitveni center, d.o.o., Vošnjakova 8, Ljubljana

Obvladovanje poslovnih sistemov gradbenih projektov je smiselno povezano v štiri logične, vendar med seboj tesno povezljive in prepletajoče se segmente:

1. Organizacijski segment
2. Segment informatika
3. Segment računalniška podpora
4. Segment komunikacije.

## 2. ORGANIZACIJSKI SEGMENT

Pomembnost tega področja je bila v dosednji praksi dokaj zapostavljena, saj so gradbena podjetja pod vplivom planskega gospodarstva države spreminjala svojo organizacijsko obliko predvsem da bi zadovoljevala birokratskim težnjam, ne pa zaradi racionalnejše in učinkovitejše organiziranosti. Predvsem je bil poudarek na centralističnem upravljanju. Spremembe in novosti, ki so pričele nezadržno potekati v zadnjih dveh letih, že kažejo neke nove oblike moderne organiziranosti tega področja gospodarstva, ob tem pa se vedno večkrat pojavlja pojem »projekt«, projektno vodenje-upravljanje projektov. Miselnost, ki se spreminja predvsem pri »svežih« kadrih, veje na eni strani zaradi realnih potreb po »čistih« računih, po uveljavitvi, uspešnosti in na osnovi tega pravilnem nagrajevanju uspešnih in neuspešnih vodij projektov. Prav to, da dobiva projektni vodja v roke niti, ki mu omogočajo fleksibilnost in pravilno uravnovnoteženost upravljanja, vodenja projekta kot osnovne stroškovne celice, je najpomembnejši prispevek modernih organizacijskih metod, filozofije »project managementa«. Prav zaradi dejstva, da nam manjkajo kakovostne in ustrezno aplikativne rešitve in je njihov izbor ozek ter vprašljive kakovosti, je toliko bolj izražena potreba po celovitejši obravnavi tega področja – ne toliko zaradi alternativnih organizacijskih oblik projektne organiziranosti, temveč zaradi drugih vplivnih dejavnikov na njihovo organiziranost.

### 2.1. Kriteriji izbora optimalnega organizacijskega sistema

Naša gradbena podjetja morajo biti pri izvajanju projektov že pripravljena na temeljne spremembe pri organiziranosti, ki izvirajo iz ustavnih sprememb in zakonodaje, morajo se prilagajati drugačnim pogojem in biti dovolj fleksibilne – vendar pa morajo ohraniti določeno stabilnost sistema.

Za uspešno izvajanje gradbenih projektov je potreben organizacijski sistem, ki mora zagotavljati:

- Zanesljivost, to pomeni, da vzdržuje dobro funkcioniranje vseh komponent in celotnega sistema v dovoljenih mejah pod vplivom okolice, v kateri deluje med celotnim trajanjem projekta.
- Stabilnost v smislu stabilnega obnašanja v določenih mejah med celotnim trajanjem projekta.
- Vodljivost, tako da na motnje reagira z dinamičnim ravnotežjem, ki se ustvarja z regulacijo dotoka materiala, energije in informacij ter z regulacijo funkcioniranja komponent celotnega sistema.
- Sprejemljivost, to pomeni, da ga njegova okolica sprejema in da ni fizičnih, pravnih in družbeno-političnih ovir za njegovo delovanje.

- Tranzitivnost, tako da po končani izvedbi projekta lahko preide na izvajanje nekega drugega projekta ali se vključi kot komponenta v obstoječi stalni organizacijski sistem.
- Integriranost, da se lahko vključi v višje sisteme izvajanja oziroma da v svojo strukturo lahko vključi podsisteme, komponente drugih organizacijskih sistemov, ki sodelujejo v projektu.
- Učinkovitost v smislu čim večje stopnje doseganja ciljev.
- Učinkovitost v smislu čim ugodnejšega odnosa outputa in inputa.
- Racionalnost v smislu uporabe optimalne tehnologije in najboljših metod vodenja.

Najpomembnejša zahteva pri projektiranju organizacijskega sistema je njegova socializacija oziroma sprejemljivost za okolico. Poleg fizičnih, družbenopolitičnih in pravnih omejitev je potrebno upoštevati tudi omejitve oziroma zahteve naročnika in sistema izvedbe. Zahteve naročnika projekta so določene s podobo med naročnikom in izvajalcem. S to pogodbo lahko naročnik izvajalcu naroči izvedbo naslednjih oblik storitev:

- izvedbo kompletnega projekta,
- izvedbo kompletnega projekta skupaj z nekaterimi ali vsemi inženiring storitvami oziroma uslugami,
- delno izvedbo ali delne inženiring usluge pri izvedbi projekta.

Odgovornosti in obveznosti izvajalca so po pogodbi lahko različno določene od odgovornosti samo za dela in usluge, specifikirane v pogodbi, do odgovornosti za kompletnost in funkcioniranje objekta in opreme, ki so predmet projekta. Obseg in vrsta obveznosti in odgovornosti izvajalca bistveno vpliva na strukturo izvajalskega sistema in tudi omejuje izvajalca.

Pri projektiranju izvajalskega sistema projekta je treba upoštevati tudi omejitve organizacije, ki je sklenila pogodbo o izvedbi in znotraj katere se formira izvajalski sistem projekta. Novoformirani sistem izvajanja je podsystem v stalnem sistemu in mora biti modularno sestavljen iz obstoječih delov stalnega sistema. Po zaključku izvedbe projekta se mora transformirati v kako drugo obliko ali se vključiti nazaj v stalni sistem. Omejitve, ki jih povzročajo stalni sistem izvedbe, izhajajo iz:

- splošne ravni znanja, s katerim razpolaga organizacija, posebno znanja o organizaciji
- kadrov, s katerimi razpolaga organizacija
- dosežene stopnje organiziranosti in
- strategije in ciljev organizacije pri izvedbi projektov.

### 2.2. Osnovne funkcije poslovnega sistema gradbenih projektov

- Razvoj
- Upravljanje – povezuje sistem z okoljem, določa vsa razmerja v ostalih funkcijah in njihovom delovanju, postavlja osnovne cilje in politiko poslovanja ter usmerja delovanje glede na notranje in zunanje zahteve:
  - postavlja, vzdržuje cilje projekta,
  - stik z okoljem,
  - stik v okviru projekta,

- izdelava, nastavitev in izpeljava načrtov upravljanja.
- Učinkovitost delovanja
- Organiziranje – na podlagi zahtev upravljanja vzpostavlja takšno razmerje elementov, ki najuspešnejše vodijo k cilju;
  - raziskava, obdelava prodajnega in nabavnega trenda, pridobivanje naročil,
  - zagotovitev, priprava proizvodnih virov-resursov,
  - izdelava, nastavitev in izpeljava načrtov za obdelavo naročil,
  - izdelava načrtov razvoja proizvodov, tehnologije informacijsko-organizacijskih sistemov,
  - obdelava pravnih zahtev,
  - izdelava, nastavitev in izpeljava načrtov organizacije.
- Kontinuiteta delovanja
- Vodenje – je funkcija operativnega uravnavanja izvrševanja vsega predpisanega, to je določeno v upravljanju in organiziranju;
  - prevzem, študij, upor. proizvodno-poslovne dokumentacije,
  - razporejanje proizvodnih virov (vrste, alokacije, čas itd.),
  - vodenje, nadzor poteka proizvodnega procesa,
  - izdelava, nastavitev in izpeljava načrtov vodenja.
- Rezultat poslovanja
- Izvajanje – je funkcija neposrednega ustvarjanja delovnih rezultatov;
  - splošni del enkratne gradbene proizvodnje,
  - posebni del enkratne gradbene proizvodnje (zidarska, tesarska, železokrivska itd.),
  - vzdrževalnih del enkratnih gradbenih proizvodov (stroji, vozila, opazni sistemi itd.),
  - delo z mehanizacijo (stroji, vozila itd.).
- Kakovost rezultatov poslovanja

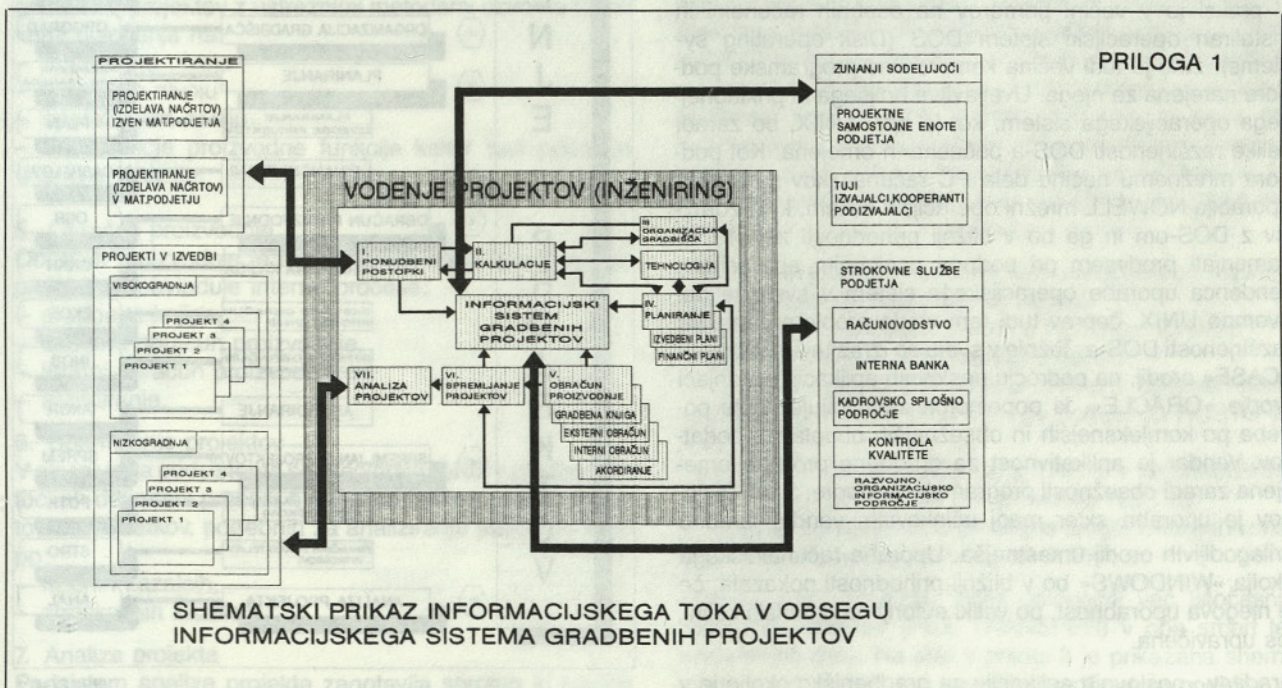
Nadzorovanje – je funkcija, s katero preverjamo ustvarjanje rezultatov v izvajanju, operativno uravnavanje vodenja, organizacijsko uravnavanje in zadovoljevanje zahtev višjih sistemov z upravljanjem:

- nadzora
- upravljanja
- organiziranja
- vodenja
- izvajanja
- izdelave, nastavitve in izpeljave načrtov nadzorovanja.

### 3. INFORMATIKA

Pomembnost področja informatizacije gradbenih projektov v korelaciji z organizacijskimi sistemi je v gradbenem poslovnem sistemu izražena temeljiteje z vidika projekta in ne toliko z vidika celotnega poslovnega sistema gradbenega podjetja. Informacijski sistem gradbenih projektov predstavlja najvitalnejši segment integralnega informacijskega sistema gradbenega podjetja. Ta informacijski sistem lahko nastopa kot avtonomna tvorba ali pa se vključuje v različne modele kompleksnejših in obsežnejših gradbenih poslovnih sistemov.

V Prilogi 1 je predstavljen informacijski tok gradbenega poslovnega sistema med internim okoljem kakor tudi z nakazanimi vezmi z zunanjim okoljem. Celoten proces se začne pri inicializaciji projekta, to je v fazi ponudbenih postopkov, kjer poteka interakcija med fazo projektiranja-riisanja načrtov, kalkulacijo, projektiranjem organizacije gradbišča, definiranjem tehnologije in izdelave planov kot faze priprave projekta. V fazi izvedbe je težišče na samem vodenju projekta, to je na aktivnostih, ki se prepletajo med planiranjem, obračunom proizvodnje s povratnimi informacijami od kalkulacij in ponudbenih postopkov, s ciljem



vzdrževanja in dograjevanja baz podatkov, kakor vključevanja novih tehnološko-organizacijskih rešitev, do faze analize projekta. Delujoči informacijski sistem ima pomembno nalogo, to je, da ugotavlja stanje projekta glede na predvideno stanje, ki je bilo strateško definirano v fazi priprave, in to v določenem časovno prostorskem okviru.

Model informacijskega sistema gradbenega projekta je potrebno obravnavati na eni strani kot centralni subjekt v celotnem ciklusu pretoka informacij med različnimi projekti in matičnim podjetjem, na drugi strani pa tudi podrobneje po posameznih podsistemih. Predvsem bi radi poudarili, da je mogoče v bližnji prihodnosti pričakovati poenotenje relevantnejših točk izvora informacij, njihovega pretoka po uskladitvi zakonodaje s področja gradnje oziroma graditeljstva z evropsko normativno zakonodajo. Nedvomno so določena orodja že v sedanjih fazi dovolj zrela za ta način obravnave problemov. Tu mislimo predvsem na pomoč, ki bi jo lahko uporabili z uporabniškimi metodami za programiranje, optimizacijo in kontrolo stroškov.

#### 4. RAČUNALNIŠKA PODPORA

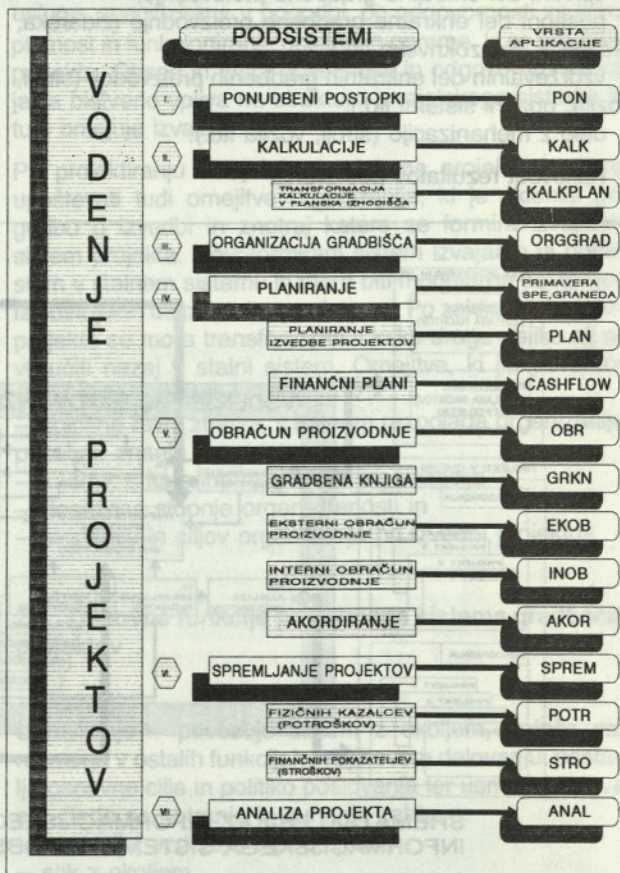
Tesna odvisnost, ki vlada med informatiko in računalništvom, je vedno bolj izrazita prav z razloga, ker se poskušajo računalniško avtomatizirati različni postopki na vseh področjih gradbene stroke. Moramo reči, da je pri nas in tudi v svetu še vedno prisotno deljeno mnenje na eni strani po centralno usmerjeni računalniški podpori gradbenim projektom, na drugi strani pa po njihovi čim večji avtonomnosti. Moderna računalniška tehnologija predvsem na področju osebnih računalnikov (»PC«) omogoča že v tem trenutku na eni strani popolno samostojnost, na drugi strani pa tudi vsemogoče povezovanje z različnimi sistemi, z uporabo različnih programov do različnih relacijskih baz podatkov.

V praksi je v večini primerov na osebnih računalnikih instaliran operacijski sistem DOS (Disk operating systems), zato je tudi večina komercialne programske podpore narejena za njega. Uveljavitve boljšega in prikladnejšega operacijskega sistema, kot je npr.: UNIX, bo zaradi velike razširjenosti DOS-a počasna in omejena. Kot podpora mrežnemu načinu dela PC računalnikov se največ uporablja NOWELL mrežni operacijski sistem, ki je združljiv z DOS-om in ga bo v bližnji prihodnosti zelo težko zamenjati predvsem pri podpori poslovnim aplikacijam. Tendence uporabe operacijskega sistema v svetu je nedvomno UNIX, čeprav tudi tam vlada problem prevelike razširjenosti DOS-a. Težnje v svetu so izrazitejšje k uporabi »CASE« orodij, na področju poslovnih aplikacij. Prednjači orodja »ORACLE«, ki popolnoma zadovoljuje večje potrebe po kompleksnejših in obsežnejših obdelavah podatkov. Vendar je aplikativnost za gradbene projekte omejena zaradi obsežnosti programske podpore. S teh razlogov je uporaba sicer manj učinkovitih, vendar izredno prilagodljivih orodij umestnejša. Uporaba računalniškega okolja »WINDOWS« bo v bližnji prihodnosti pokazala, če je njegova uporabnost, po veliki evforiji na ameriški celini, res upravičena.

Graditev »poslovnih aplikacij« za gradbeniško okolje je v

tem trenutku najuspešnejše s »FORCE« računalniškim programom, ki zadovolji dokaj ostre kriterije po hitrosti izvajanja izdelanih programov, po majhni dolžini izvajalske kode (EXE) in povezljivosti z ostalimi računalniškimi izdelki.

V bližnji preteklosti je nastopala velika dilema po pravem računalniškem programu za mrežno planiranje. Za nekatera gradbena podjetja še vedno obstaja dilema: ali kupiti ali najeti računalniški program za mrežno planiranje na velikem računalniku (npr.: IBM, VAX itd.) ali kupiti ustrezen program za osebni računalnik. Pomembnost, ki jo ima glavni subjekt, to je gradbeni projekt, daje jasno usmeritev in razčiščuje dilemo, še posebej zato, ker je težišče dogajanja na projektu in iz dejstva, da vodstvo projekta potrebuje pravočasne, hitre in ažurne informacije. Ta jih lahko dobi le neposredno ob viru dogajanja. Sodimo, da bo v prihodnosti prevladala uporaba programskih produktov na osebnih računalnikih. Trenutno se, poleg zelo znanega računalniškega programa za mrežno planiranje in spremljanje gradbenih projektov Super project expert-a, najbolj priporoča uporaba produkta Primavera. Omejitve za delo s tem računalniškim programom so samo v strojni opremlenosti (hardware – velikost eksternega spominskega medija – hard diska), ostalih omejitev glede števila aktivnosti, večnivojskega strukturiranja projektov ali števila resursov pa v tem računalniškem programu ni. Pomembno je, da omogoča izhode oziroma zapise v različne oblike in načine zapisov podatkov (v ASCII, DBF, WK3 format itd).



S tem je omogočena relativno enostavna obdelava podatkov, ki so uporabljeni v drugih podsistemih poslovnega sistema gradbenih projektov.

Obvladovanje informacijskega sistema je zaobjeto v sedmih smiselno zaokroženih sklopih – podsistemih, kar je shematsko predstavljeno kot struktura procesov oziroma podsistemov gradbenih projektov z imeni računalniških aplikacij, ki obvladujejo posamezne podsisteme v prilogi 2.

#### 1. Ponudbeni postopki

V sklopu ponudbenih postopkov potekajo vse aktivnosti v zvezi s pridobivanjem, obdelavo ponudb investitorjev kakor tudi podpisovanje pogodb.

#### 2. Kalkulacije

Podsistem kalkulacije zagotavlja ovrednotenje ponudbenih izhodišč v oblikah:

- ponudbene kalkulacije, deljene na:
- proizvodno kalkulacijo,
- komercialno kalkulacijo,
- pogodbeno kalkulacijo, prav tako razdeljeno na:
- proizvodno kalkulacijo in na
- komercialno kalkulacijo.

V okviru podsistema kalkulacij teče tudi transformacija kalkulativnih elementov – strukture kalkulacije v strukturo, uporabno za planiranje proizvodnje.

#### 3. Organizacija gradbišča

Težišče aktivnosti, ki potekajo v okviru tega podsistema, je osredotočeno predvsem k izdelavi tehnokonomskega elaborata z vsebino, ki jo delno že predpisuje Zakon o graditvi objektov kakor tudi z vso ostalo spremljajočo dokumentacijo, ki je potrebna za vodenje gradbenih projektov.

#### 4. Planiranje

Podsistem opredeljuje kakor tudi zagotavlja obvladovanje gradbenih projektov z ustreznimi metodami oziroma tehnikami planiranja na:

- strateškem nivoju
- taktičnem nivoju
- operativnem nivoju
- za področje proizvodne funkcije kakor tudi področje finančne funkcije.

#### 5. Obračun proizvodnje

Obračun proizvodnje je najsubtilnejši del v fazi izvajanja projekta in obvladuje interne procese:

- gradbena knjiga,
- eksterni obračun proizvodnje,
- interni obračun proizvodnje,
- akordiranje.

#### 6. Spremljanje projektov

V okviru tega podsistema se prepletajo vsi že v predhodnih točkah definirani procesi s temeljno funkcijo doseči zagotovitev podatkov, potrebnih za analiziranje projektov, in to po:

- fizičnih kazalcih,
- stroškovnih kazalcih.

#### 7. Analiza projekta

Podsistem analize projekta zagotavlja sprotno in tekoče

informiranje o rezultatih napredovanja procesa gradnje v okviru poslovnega sistema gradbenega projekta, z zahtevo pravočasnega vpliva na korekture v proizvodnem procesu kakor tudi področja financiranja projekta. Končni rezultat po zaključku projekta je analiza projekta, ki služi na eni strani pravočasnemu ukrepanju, ob ugotovljenih napakah, tekočim projektom, na drugi strani pa se rezultati kazalcev analizirajo v smislu popravkov normativov, ki opredeljujejo vsebino kalkulacije za nove projekte.

## 5. KOMUNIKACIJE

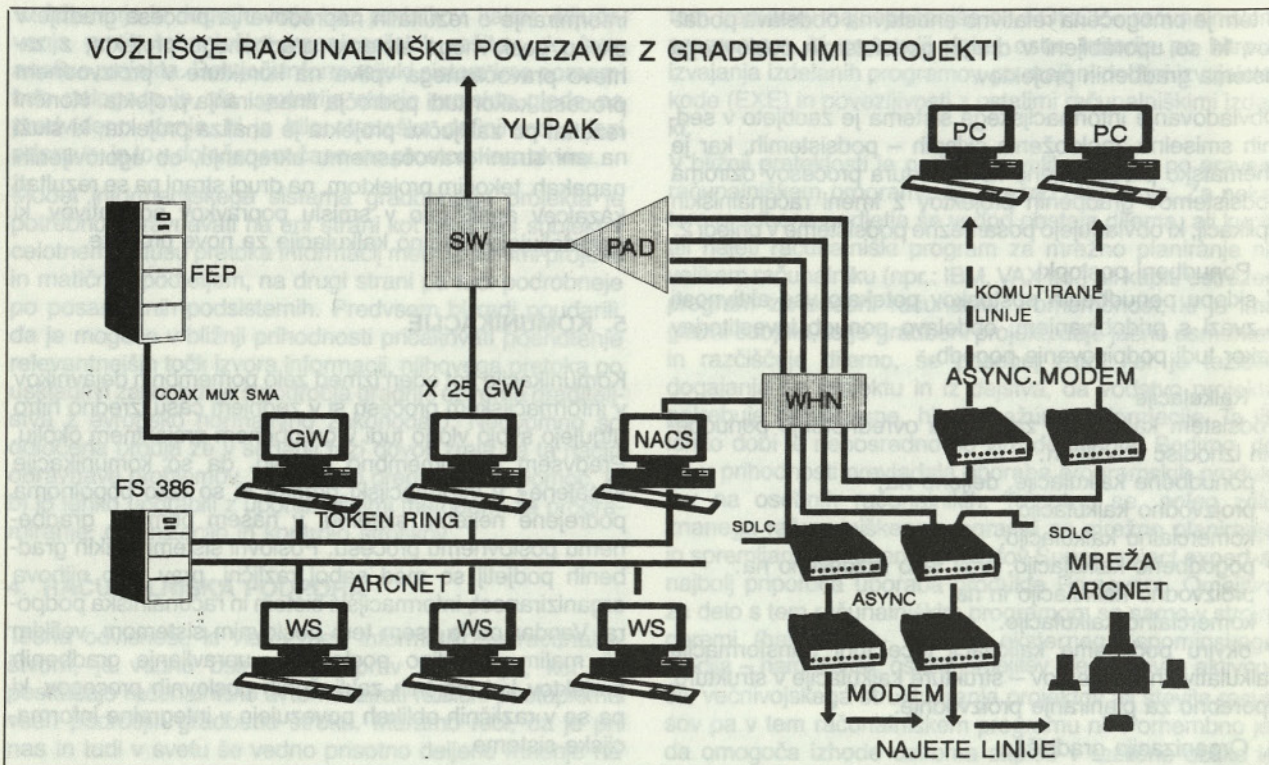
Komunikacije kot eden izmed zelo pomembnih dejavnikov v informacijskem procesu si v zadnjem času izredno hitro utrjujejo svojo vlogo tudi v gradbenem projektom okolju. Predvsem je pomembno dejstvo, da so komunikacije »vsajene« v informacijski prostor in so tako popolnoma podrejene nekemu sistemu, v našem primeru, gradbenemu poslovnemu procesu. Poslovni sistemi velikih gradbenih podjetij so med saboj različni, prav tako njihova organiziranost, informacijski sistem in računalniška podpora. Vendar pa je vsem tem poslovnim sistemom, velikim ali malim, temeljno poslanstvo, upravljanje gradbenih projektov kot logičnih zaključenih poslovnih procesov, ki pa se v različnih oblikah povezujejo v integralne informacijske sisteme.

Ena izmed mnogih rešitev vzpostavljanja komunikacij je kombinacija komunikacije »Host« računalnika in »PC« računalnikov kot samostojnih enot ali povezanih v mrežo, ki zadovoljuje različne uporabnike v poslovnem sistemu gradbenih projektov. Pri računalniškem sistemu na velikem računalniku (HOST računalnik, npr.: IBM 4381/91 E), ki upravlja celoten poslovni proces gradbenega podjetja, je potrebno zaradi ustrezne povezave z gradbenimi projekti zgraditi komunikacijsko vozlišče za prenos podatkov. Prek tega vozlišča mora biti omogočena emulacija (TSO in CISC) terminala IBM 3178 in IBM kompatibilnih osebni računalnikov. Komunikacija mora biti izvedena ali po klicni telefonski liniji ali prek JUPAK priključka, ki mora biti posebej instaliran v računalniškem centru. Na posameznih lokacijah zunaj računalniškega centra so predvidene lokalne računalniške mreže, prek katerih je vzpostavljena modemska povezava z gradbenimi projekti.

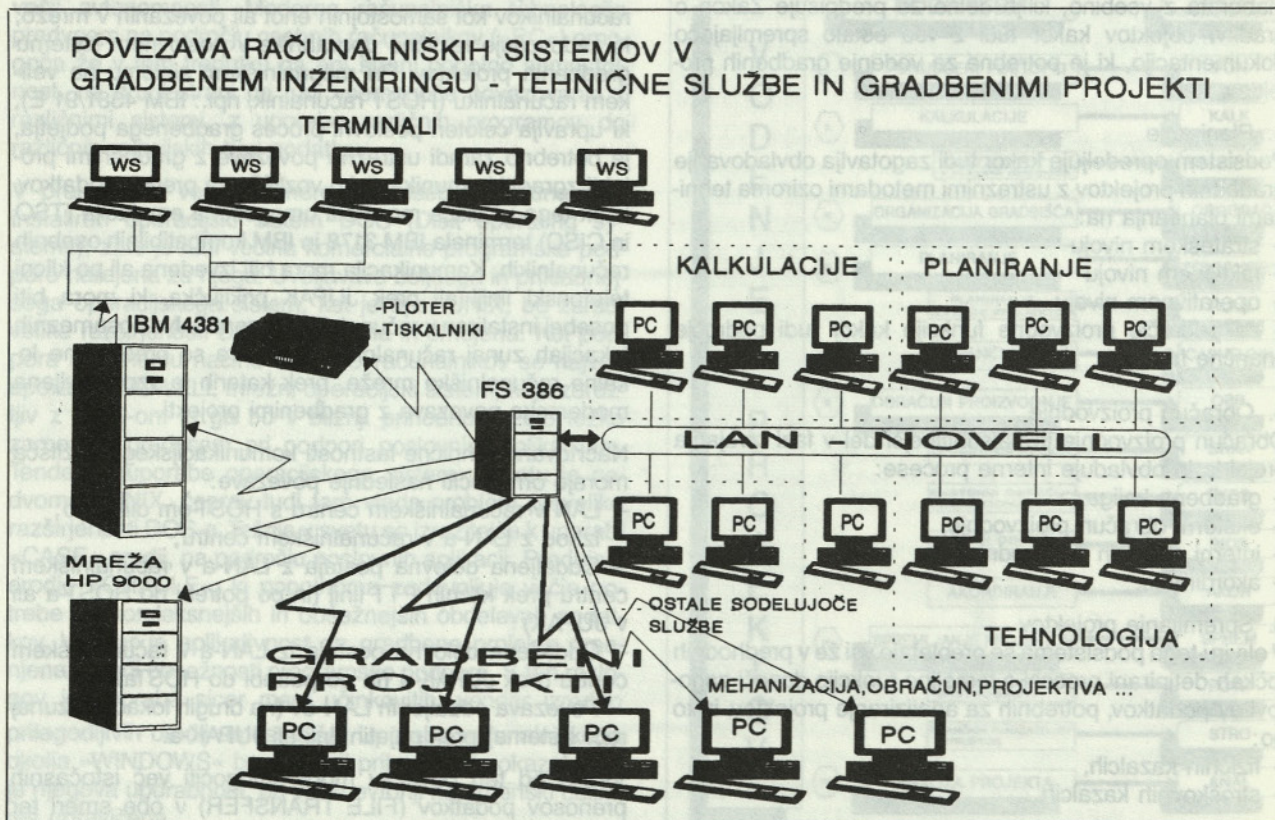
Načrtovane tehnične lastnosti komunikacijskega vozlišča morajo omogočiti naslednje povezave:

- LAN v računalniškem centru s HOST-om direktno;
- Izhod z LAN-a v računalniškem centru;
- Oddaljena delovna postaja z LAN-a v računalniškem centru prek klicnih PTT linij (in po potrebi do HOST-a ali v JUPAK)
- Oddaljena delovna postaja iz LAN-a v računalniškem centru prek JUPAK-a (in po potrebi do HOSTa)
- Povezava oddaljenih LAN-ov (na drugih lokacijah zunaj rač. sistema) prek najetih linij ali JUPAK-a.

Vsaka od teh povezav mora omogočiti več istočasnih prenosov podatkov (FILE TRANSFER) v obe smeri ter interaktivno delo. Na sliki v prilogi 3 je prikazana shema primera računalniškega vozlišča gradbenega podjetja.



PRILOGA 3



PRILOGA 4



Interakcija med tehničnimi službami in samim gradbenim projektom je odvisna od velikosti in pomembnosti ter lokacijske oddaljenosti projekta, zato je projektiranje informacijske tehnologije odvisno od teh parametrov. V načelu morajo biti pokriti z računalniki podsistemi, kot sem jih obravnaval v prejšnjem poglavju, z vsaj po enim osebnim »PC« računalnikom. Primer ene izmed variant povezave in organizirane računalniške mreže med tehnično službo in gradbenimi projekti je prikazana na sliki v prilogi 4. V principu je ta model možno razširjati ali krčiti, kar je odvisno od prej naštetih parametrov. Uporabnik bo lahko s pomočjo programske in strojne opreme vstopal prek običajnih asinhronih dial-up (klicnih) povezav na IBM HOST in hkrati tudi uporabljal aplikacije z LAN-a, vstopal prek JUPAK-a in uporabljal aplikacije z LAN-a; omogočeno pa mu je lahko povezovanje IBM SDLC 3174 opreme preko X.25 mreže na IBM Host.

- Omogočeno mu je lahko pristopanje z lokalne LAN mreže na IBM HOST in pristopanje v X.25 mrežo;
- Omogočena mu je lahko enostavna širitev funkcionalnosti tako v smislu širjenja porabe X.25 mreže v smislu povezovanja lokalnih računalniških mrež med sabo s pomočjo bridge-ov kot tudi vse povezave v javne baze podatkov, ki so dostopne preko X.25 mreže JUPAK.

V tem prispevku smo se omejili na dokaj ozek prostor, komunikacijske tehnike oziroma tehnologije in različnosti pristopov, opredelili in obdelali smo le nujne komunikacijske vozle, interakcije in akcije med posameznimi podsistemi ter opredelili potrebe strojne opreme za minimalno delovanje celotnega poslovnega sistema gradbenih projektov. Možnosti, ki jih nudi različna programska podpora, so si v večini primerov med sabo podobne, običajno ponujajo podobne rešitve kot tudi možnost, tako po hitrosti prenosov podatkov kot tudi po sami vsebini. Predvsem se nam zdi pomembno poudariti, da je komuniciranje med eksternimi sistemi informacijskega sistema odvisno predvsem od kakovosti poštnega sistema. Omeniti moramo

še vlogo EDIFACT-a, RIP-a in BSS-a, ki bodo kot zahtevani in uveljavljeni standardi prihodnosti tudi vplivali na informacijski sistem gradbenih projektov.

## 6. SKLEP

V slovenskem gradbenem prostoru vlada še vedno prevelik razkorak med teorijo in prakso ter je zato redkim poznavalcem opisanih in še drugih znanih metod in znanj težko izvesti implementacijo na realnem projektu. Vodje projektov ali celotno vodstvo projekta je prevečkrat zaposleno z banalnimi in nepotrebnimi nalogami, ki izvirajo predvsem z neurejenega trga, lastne neorganiziranosti, neznanja, premajhne izobraženosti in spremljanja novosti. Ta entropija je prisotna povsod tam, kjer ni jasno začrtanih strategij vodenja-upravljanja gradbenih projektov. Izhod vidimo v postopnosti prilagajanja, v permanentnem izobraževanju in usposabljanju projektnih vodij oziroma vodstvenega kadra. Ustvarjanje informacijske zgodovinske baze že zgrajenih projektov bo v prihodnosti še kako pomembna naloga sodobnega »managementa«, kajti le na ta način bo možna hitra odzivnost gradbenega inženiringa brez večjih tveganj pri sklepanju pogodb. Prekoračitve porab resursov – proizvodnih virov (delovne sile, mehanizacije, materiala in denarja), bodo sprejemljive v logičnih okvirih, ne pa prekoračitve pri porabah, ki so še kako prisotne v tem trenutku in odražajo dejansko nered ter neorganiziranost – entropijo. Potrebna bo še večja prepletenost med posameznimi znanstvenimi vedami kot npr.: ekonomijo, organizacijo, informatiko, tehniko, sociologijo, komunikologijo, itd. Prav iz teh razlogov je težišče razmišljanja potrebno usmeriti h kreiranju pravih in kakovostnih organizacijsko-informacijskih rešitev posameznih podsistemov poslovnega sistema gradbenih projektov, ki v končni fazi predstavljajo kakovostno funkcionalno sintezo implementirano v realnem gradbenem okolju.

## LITERATURA

- Upravljanje projektima, Anton Hauc in skupina avtorjev, Informator, Izdavačka kuća Zagreb.
- Poslovni sistemi, Dr. Zdravko Kaltnekar, VŠOD Kranj, 1981.
- Organiziranje projekata, Dr. Anton Hauc, Informator Zagreb 1982.
- Strategija in projekti, Dr. Anton Hauc, SCT Ljubljana, Bled, 1990.
- Zbornik posvetovanja, Expert Symposium, 1988.
- 2. Posvetovanje »Projekt« '89«, Ekonomsko poslovna fakulteta Maribor.
- Organizacija gradjenja, Danijel Režek, Gradjevinski institut Fakultet gradjevinskih znanosti sveučilišta v Zagrebu.
- Organizacija gradjevinskih radova, Bogdan Trbojević, 1985, Beograd Fakulteta za gradbeništvo.
- Strokovni simpozij o internacionalnem in nacionalnem upravljanju in vodenju projektov, Univerza v Mariboru, 1988.
- Priprava gradbene proizvodnje v okviru večjega poslovnega sistema, FAGG Ljubljana, 1989.
- Project Management Control using growth curve Models Applied to budgeting, Monitoring and forecasting within the construction industry, J. Berny.
- Fundamentals of construction Management and Organization, Prentice-Hall, Virginia, 1985, K.A. Tenah, I.M. Guevara.
- Construction project management 2 ND ED., Richard H. Clough Glenn A. Sears.
- Organizacija gradjevinskih radova, Inž. Bogdan Trbojević
- Poslovni organizacijsko-informacijski sistem gradbenih projektov, Magistrsko delo, Janez Božič, 1992, FOV.

# inštitut za gradbene materiale

## laboratorijske preiskave materialov kontrola tehnoloških postopkov v proizvodnji in na terenu

**IGMAT d.o.o.** je Inštitut za gradbene materiale z več kot 40-letno prisotnostjo na področju laboratorijskih preiskav, tekočega spremljanja izvajanja gradbenih del tako v domovini kot tujini. Do ustanovitve Inštituta je bila dejavnost izvajana v okviru Sektorja kakovosti SCT Ljubljana, ki je tudi ustanovitelj družbe.

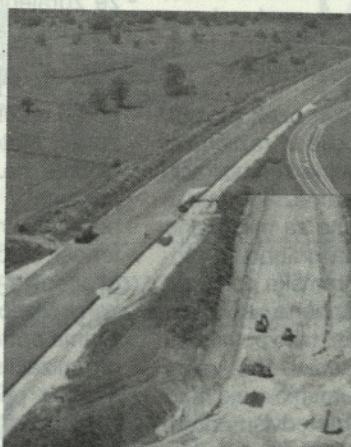
**IGMAT d.o.o.** je eden od inštitutov, ki so v Sloveniji registrirani za izvajanje laboratorijskih in terenskih raziskav gradbenih materialov (zemljin, mineralnega agregata, cementa, vode, gradbenega železa, bitumena) ter svežega in otrdelega betona, asfalta, hidroizolacijskih materialov, gradbene galanterije, epoksidnih tlakov ipd. Pri tem je potrebno omeniti, da se preiskave izvajajo v skladu s splošno znanimi domačimi in tujimi standardi (DIN, ASTM, ASHTO, BS), hkrati pa se pripravlja tudi izvajanje kontrolne dejavnosti po zahtevah najnovejšega evropskega standarda ISO 9000.

### PODROČJA DEJAVNOSTI:

- preiskave zemljin, asfalta, betona, hidroizolacij, plastičnih mas, gradbene galanterije

### CILJNE USMERITVE:

- tekoča in kontrolna dejavnost proizvodnje kamenega agregata, betona, asfalta, vgrajevanja zemljin, prevzemi gradbenih jam, klasifikacija zemljin,
- računalniško podprti programi drsin, pilotiranja, izdelav delovnih sestav,
- raziskave in razvoj materialov, ter tehnologij s ciljem kakovostnega izboljšanja, zniževanja stroškov in s tem pocenitev proizvodnje



### REFERENCE:

#### ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI pri:

- izgradnji industrijskih objektov,
- stanovanjski izgradnji
- izgradnji avtocest, letališč, tunelov
- izgradnji hidro objektov, dovodnih kanalov

- tujina: - Irak  
- Jordanija  
- Libija  
- Alžir  
- SZ  
- Nemčija  
- Avstrija

### LOKACIJE:

- centrala Ljubljana, Slovenčeva 22
- laboratoriji
- Kaldanija
- Fram
- Črnuče, Stožice
- Višnja gora
- Karavanke
- Lisičje



# POROČILA 25

GV XXXXI • 5-6-7-8

## LEZENJE BETONA PRI VISOKEM NIVOJU NAPETOSTI

UDK 691.3:620.17

VIOLETA BOKAN, FRANC SAJE

### POVZETEK

S pomočjo eksperimentalnih preiskav smo ugotavljali vpliv starosti betona ob obremenitvi in nivoja napetosti na časovno odvisno deformiranje betona. Časovno odvisne deformacije postanejo v območju napetosti nad 40 % tlačne trdnosti betona nelinearno odvisne od nivoja napetosti. Pri konstantni obremenitvi z napetostmi nad približno 80 % tlačne trdnosti betona nastopi časovno odvisna porušitev betonskega elementa.

### CREEP OF CONCRETE AT HIGH STRESS LEVEL

### SUMMARY

With experimental tests we determined the influence of the ageing of the concrete at the beginning of loading, as well as the degree of loading on the time-dependent deformation of concrete. Time-dependent deformation becomes nonlinearly dependent of the degree of loading in the stress interval exceeding 40 % of the concrete compressive strength. By application of constants stress exceeding approximately 80 % of the compressive concrete strength a time dependent specimen failure occurs.

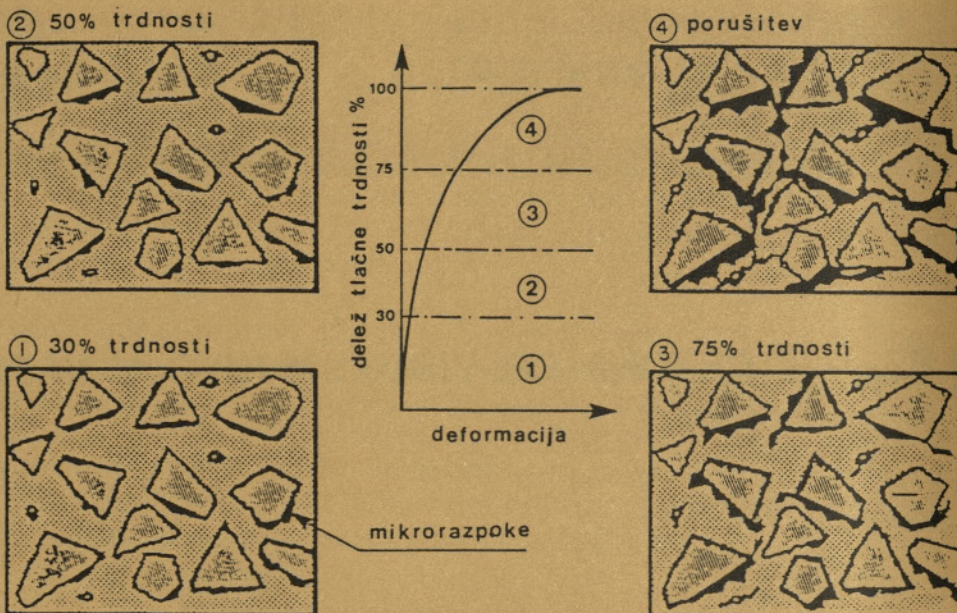
### UVOD

Na katedri za masivne in lesene konstrukcije se že nekaj časa ukvarjamo z analizo armiranobetonskih konstrukcij vse do porušitve. Za ta namen so bile izdelane dopolnitve računalniškega programa NONFRAN, tako da je mogoče upoštevati tudi reološke lastnosti materialov in vpliv razpok. Zaenkrat je privzeta le linearna teorija lezenja betona, v okviru katere so deformacije zaradi lezenja betona linearno odvisne od nastopajočih napetosti. Posledica tega je, da so računsko dobljeni pomiki armiranobetonskih konstrukcijskih elementov tik pred porušitvijo manjši od eksperimentalno izmerjenih pomikov na konstrukcijah. Linearna teorija lezenja betona velja namreč le v primerih,

ko tlačne napetosti v betonu ne presežejo približno 40 % tlačne trdnosti betona.

Če vladajo v betonskem elementu konstantne napetosti nad 40 % tlačne trdnosti betona, postanejo deformacije zaradi lezenja betona nelinearna funkcija nivoja napetosti. Gotovo lahko tudi v tem območju napetosti del deformacij zaradi lezenja betona pripišemo izločanju fizikalno adsorbirane vode iz cementnega kamna, nastanku mikrorazpok zaradi sušenja betona in zapoznelemu elastičnemu deformiranju agregata, to je osnovnim vzrokom linearnega lezenja betona. Vendar pa je njihov prispevek k časovno odvisnemu deformiranju betona zaradi lezenja tem manjši, čim višji je nivo napetosti ( $\eta = \sigma_c(t_0)/f_c(t_0)$ ), s katerim obremenimo betonski element. Osnovni vzrok nelinearnega lezenja betona so razpoke v stičnem območju med agregatom in cementnim kamnom in razpoke v cementnem kamnu. Njihovo število, velikost in medsebojna povezanost so funkcije doseženega nivoja tlačne napetosti betona (slika 1).

Avtorja:  
mag. Violeta Bokan, dipl. gradb. inž.  
doc. dr. Franc Saje, dipl. gradb. inž.  
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo  
Oddelek za gradbeništvo, KMLK



Slika 1: Shematičen prikaz obnašanja betona pri enosnem tlaku (5)

Pri napetostih nad 30 % tlačne trdnosti betona pride do povečanja števila, dolžine in širine mikrorazpok v stičnem območju, vendar ostane do približno 50 % tlačne trdnosti sistem razpok v stičnem območju stabilen. Razpokanje cementnega kamna je do tega nivoja napetosti brezpomembno. Pri napetostih med 50 in 60 % tlačne trdnosti se začnejo oblikovati razpoke v cementnem kamnu. S postopnim naraščanjem napetosti do 75 % tlačne trdnosti betona postane sistem razpok v stičnem območju med agregatom in cementnim kamnom nestabilen, razpoke v cementnem kamnu pa se začnejo širiti. Iz tega lahko sklepamo, da bo prišlo v tem območju napetosti do umiritve širjenja razpok tem pozneje, čim višji bo nivo napetosti. Nekje med 75 % in 80 % kratkotrajne tlačne trdnosti betona doseže količina sproščene deformacijske energije kritično vrednost, ki povzroči spontano širjenje razpok. Nad tem nivojem napetosti dobimo časovno odvisnost porušitev betonskega elementa. Čas od nanosa konstantne obremenitve do porušitve je tem manjši, čim bolj se napetost približa tlačni trdnosti betona.

## EKSPERIMENTALNE PREISKAVE

### Izdelava in nega vzorcev

V jeklene kalupe z notranjimi dimenzijami 10/10/36 cm smo vzdolž središčne linije dolžine 36 cm namestili merilne lističe za merjenje deformacij v notranjosti betonskih elementov. V tako opremljene kalupe smo vgradili beton projektirane marke 25. Po razopaženju smo prizme opremlili z dodatnimi merilnimi lističi za merjenje vzdolžnih deformacij na površini prizme. Preizkušanci so bili ves čas od zabetoniranja naprej v okolju s temperaturo 20 °C in relativno vlago zraka 70 % ± 5 %.

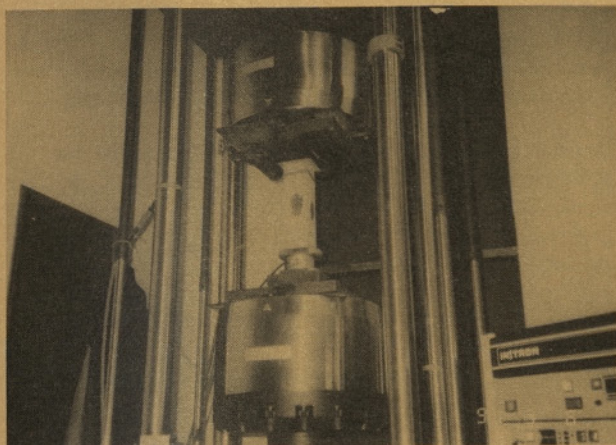
### Obremenitev prizem

Lezenje betona pri visokem nivoju napetosti smo raziskovali pri starosti betona ob obremenitvi 19 in 31 dni. Najprej smo izvedli preiskave tlačne trdnosti betona na po petih prizmah z dimenzijami 10/10/36 cm. Tako dobljena povprečna tlačna trdnost betona pri starosti 19 oziroma 31 dni je predstavljala izhodišče za določitev tlačnih napetosti, s katerimi smo obremenili prizme. Napetosti preizkušancev smo priredili vnaprej izbranim nivojem med 40 in 100 % povprečne tlačne trdnosti betona. Prizme smo vpeli v posebne jarme za preiskave lezenja betona, in sicer v vsak jarem po dve prizmi (slika 2).



Slika 2: Jarmi za preiskave lezenja betona z vpetimi preizkušanci

Preizkušance, ki naj bi bili obremenjeni s konstantnimi napetostmi okrog 90 % tlačne trdnosti betona, smo vpeli



Slika 3: Preizkušalec, ki smo ga v preizkuševalnem stroju INSTRON obremenili z napetostmi okrog 90 % tlačne trdnosti betona

v preizkuševalni stroj INSTRON (slika 3). Pri tako visokem nivoju napetosti smo namreč pričakovali porušitev vzorcev po sorazmerno kratkem času (1–2 uri).

Posebna programska oprema, ki smo jo razvili na Katedri za masivne in lesene konstrukcije, nam je omogočala, da smo v predpisanih časovnih intervalih prek naprave HOTTINGER odčitavali vrednosti z uporavnih merilnih lističev in jih zapisovali na ASCII datoteko rezultatov. Na ta način smo dobili za vsako prizmo posebej časovni zapis deformiranja v notranjosti in na površini betonske prizme, tako med nanašanjem obtežbe na betonske preizkušance kakor tudi ves čas od trenutka, ko smo dosegli predpisano silo v jarmu oziroma INSTRON-u, do konca preiskav nelinearnega lezenja betona. Poleg deformiranja betonskih prizem smo s pomočjo predhodno umerjenih merskih doz, ki smo jih namestili v jarne za preiskavo lezenja betona (slika 2) in jih priključili na merilno napravo HOTTINGER, kontrolirali tudi nanašanje obtežbe in časovni potek sile v jarmih po končanem nanašanju obtežbe.

Časovno spreminjanje sile vpetja v jarmih je bilo minimalno, zato smo privzeli, da so bili vzorci obremenjeni s konstantno centrično silo ves čas trajanja preiskav. Pri vzorcih, ki so bili obremenjeni s konstantnimi napetostmi okrog 90 % tlačne trdnosti betona v preizkuševalnem stroju INSTRON, pa je bila konstantnost napetosti zagotovljena s predhodnim programiranjem poteka preiskav.

Vzporedno z meritvami deformacij na prizmah, ki smo jih vpeli v jarne, so potekale tudi meritve deformacij zaradi krčenja betona na neobremenjenih betonskih preizkušancih.

## REZULTATI PREISKAV

Kljub temu da sta bili prizmi, ki sta se nahajali v istem jarmu, obremenjeni z enako tlačno silo, smo v nekaj primerih dobili bistveno različni začetni deformaciji ( $\epsilon_{c0}$ )

posameznih prizem. Iz tega smo sklepali, da sta bili tlačni trdnosti posameznih prizem v istem jarmu različni. Zato smo pri oceni dejanskega nivoja napetosti v posamezni prizmi poleg povprečne tlačne trdnosti, ki smo jo dobili na podlagi predhodnih preiskav prizem na tlak, upoštevali tudi velikost začetne deformacije prizme ( $\epsilon_{c0}$ ). Kot rezultat eksperimentalnih preiskav smo dobili celotne vzdolžne deformacije ( $\epsilon_{tot} = \epsilon_{c0} + \epsilon_{cc} + \epsilon_{cs}$ ;  $\epsilon_{c0}$  – deformacija betonske prizme, ki smo jo izmerili v trenutku obremenitve prizme z vnaprej izbrano osno silo,  $\epsilon_{cc}$  – viskozna deformacija zaradi lezenja betona,  $\epsilon_{cs}$  viskozna deformacija zaradi krčenja betona) pri znanih časih, starosti betona ob obremenitvi ( $t_0$ ) in nivoju napetosti ( $\eta$ ), zapisane na ASCII datoteko rezultatov. Eksperimentalno dobljene rezultate smo po metodi najmanjših kvadratov aproksimirali z ustreznimi interpoliranimi krivuljami. V literaturi obstaja večje število izrazov za opis viskoznega deformiranja betona, to je deformacij, ki so posledica krčenja in lezenja betona:

PFEFFERLE (2):

$$\epsilon_{cc} + \epsilon_{cs} = a \cdot \left\{ 1 - e^{-b \cdot (t-t_0)^{0.5}} \right\} \quad (1)$$

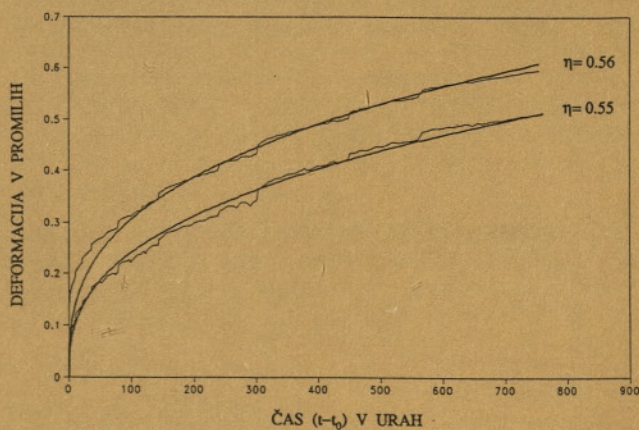
SHANK (3):

$$\epsilon_{cc} + \epsilon_{cs} = a \cdot (t-t_0)^b \quad (2)$$

ROSS (4):

$$\epsilon_{cc} + \epsilon_{cs} = \frac{(t-t_0)}{a+b \cdot (t-t_0)} \quad (3)$$

V gornjih izrazih sta  $a$  in  $b$  konstanti, ki ju za vsak nivo napetosti ( $\eta$ ) določimo po metodi najmanjših kvadratov, e pa je osnova naravnega logaritma.



Slika 4: Eksperimentalno dobljene vrednosti za viskozno deformiranje betona ( $t_0 = 31$  dni) in njihova aproksimacija z interpolirano krivuljo

Z rezultati naših preiskav sta se najbolj ujemala izraza, ki sta ju podala Shank in Ross. Za najnižji nivo napetosti

( $\eta = 0,436$ ) smo dobili najmanjše odstopanje v primeru, ko smo uporabili Rossov predlog (3), v ostalih primerih pa je bilo odstopanje najmanjše pri matematičnem izrazu, ki ga je predlagal Shank (2). Ujemanje eksperimentalno dobljenega poteka viskozne deformacije betona ( $\epsilon_{cc} + \epsilon_{cs}$ ) v odvisnosti od trajanja obremenitve ( $t-t_0$ ) z njegovo numerično simulacijo je razvidno iz slike (4).

Znano je, da intenzivnost lezenja in krčenja betona s časom upada in da se viskozna deformacija ( $\epsilon_{cc} + \epsilon_{cs}$ ) asimptotično približuje neki končni vrednosti ( $\epsilon_{cc} + \epsilon_{cs}$ ) $_{\infty}$ . Ta pogoj Rossov predlog (3) izpolnjuje:

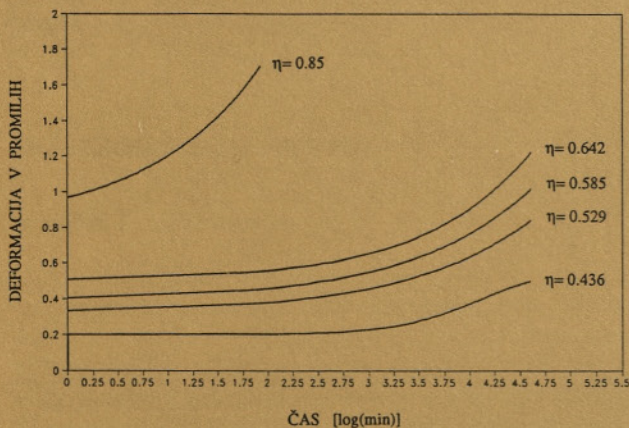
$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ \frac{(t-t_0)}{a+b \cdot (t-t_0)} \right\} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{b} = \frac{1}{b}, \quad (4)$$

Shankov (2) pa ne:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ a \cdot (t-t_0)^b \right\} = \infty \quad (5)$$

Ker smo začeli z obdelavo rezultatov eksperimentalnih preiskav sorazmerno kmalu, po 45 dneh za starost betona ob obremenitvi 19 dni in po 30 dneh za starost betona ob obremenitvi 31 dni, dobljeni rezultati časovnega naraščanja deformacij še ne kažejo težnje po umirjanju. Zaradi tega je v večini primerov merodajen izraz (2).

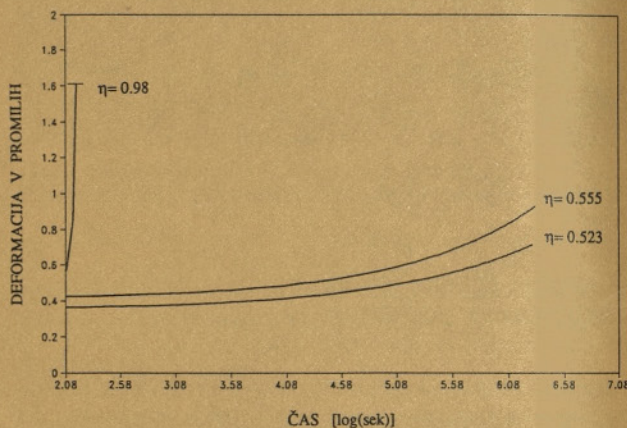
Časovni poteki celotnih vzdolžnih deformacij betona ( $\epsilon_{tot} = \epsilon_{c0} + \epsilon_{cc} + \epsilon_{cs}$ ), ki je bil ob obremenitvi star 19 dni, so za različne nivoje napetosti prikazani na sliki (5). Iz slike je razvidno, da je naraščanje deformacij zaradi lezenja betona tem bolj intenzivno, čim višji je nivo napetosti. To je predvsem posledica večje količine in intenzivnejšega širjenja razpok v stičnem območju med agregatom in cementnim kamnom in v cementnem kamnu pri višjih nivojih napetosti. Kadar smo vzorec izpostavili trajni napetosti, ki je znašala 85 % njegove tlačne trdnosti ( $\eta = 0,85$ ), smo pričakovali porušitev vzorca po določenem času. Znale preiskave obnašanja betona pri visokih



Slika 5: Odvisnost celotne vzdolžne deformacije od časa za različne nivoje napetosti in starosti betona ob obremenitvi 19 dni

nivojih napetosti namreč dokazujejo, da je kritična napetost betona med 75 % in 80 % tlačne trdnosti betona. Zaradi tehničnih težav med izvajanjem preiskave pa smo morali preiskavo končati, preden se je vzorec porušil.

Časovni poteki deformacij 31 dni starega betona pri različnih nivojih napetosti so razvidni iz slike (6). Pri izkoriščenosti tlačne trdnosti betona ( $\eta = 0,98$ ) je prišlo do porušitve vzorca po 20 sekundah, tako da smo dobili eno točko na liniji časovno odvisne porušitve betona.



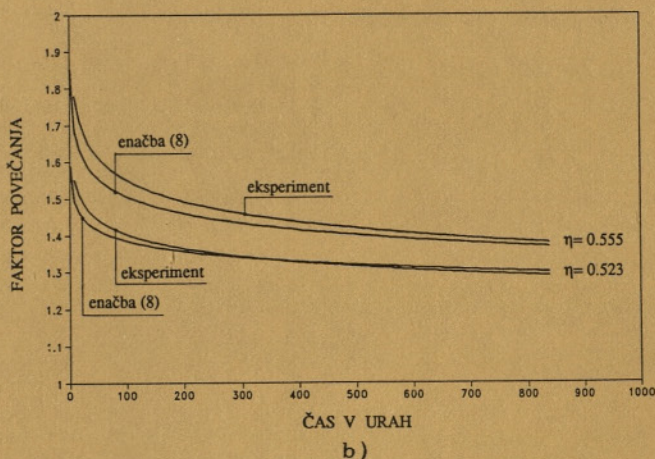
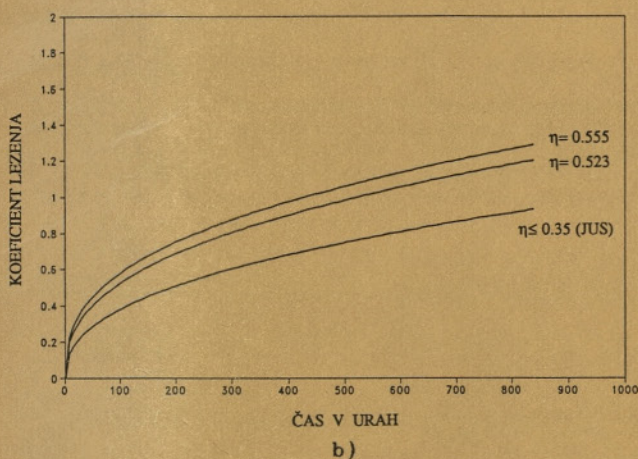
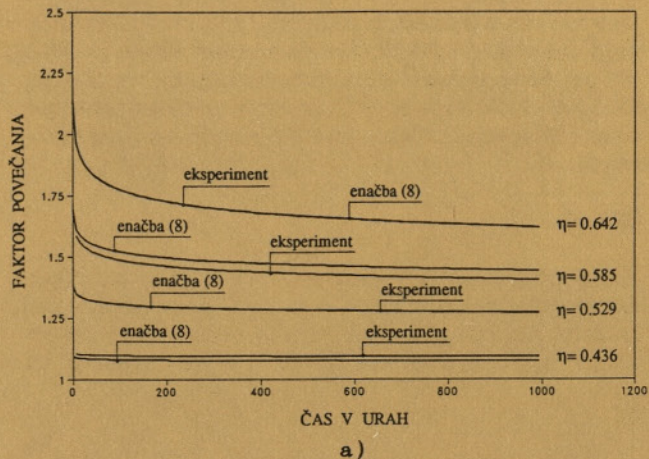
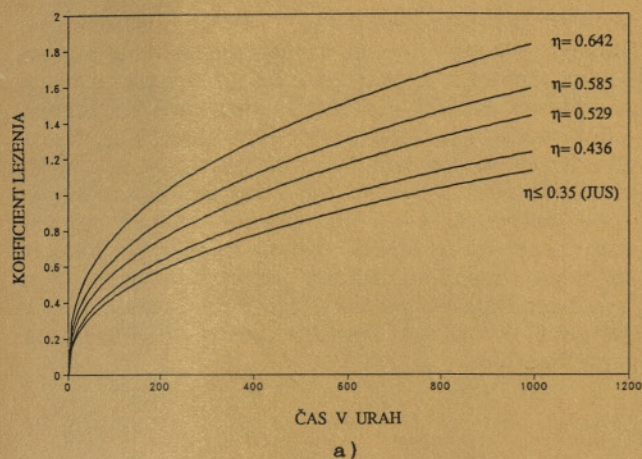
Slika 6: Odvisnost celotne vzdolžne deformacije od časa za različne nivoje napetosti in starosti betona ob obremenitvi 31 dni

V naslednjem koraku smo določili faktor povečanja koeficienta linearne lezenja betona  $\chi(\eta, t, t_0)$ , ki ga definiramo kot razmerje med koeficientom lezenja pri visokem nivoju napetosti  $\varphi(\eta, t, t_0)$  in koeficientom linearne lezenja betona  $\varphi(\eta \leq 0,35, t, t_0)$ . Faktorje povečanja koeficienta linearne lezenja betona smo določili le za napetosti, ki so nižje od dolgotrajne tlačne trdnosti betona.

Kot smo že omenili, so vzporedno s preiskavami nelinearnega lezenja betona potekale tudi preiskave krčenja betona, tako da smo koeficient lezenja betona določili na splošno uveljavljen način:

$$\varphi(\eta, t, t_0) = \frac{(\epsilon_{tot} - \epsilon_{c0} - \epsilon_{cs})}{\epsilon_{c0}} \quad (6)$$

To pomeni, da pri določitvi koeficienta lezenja betona nismo upoštevali časovnega naraščanja trdnosti betona. Tudi v tem primeru smo eksperimentalno dobljene vrednosti aproksimirali z interpoliranimi krivuljami po metodi najmanjših kvadratov. Tako dobljene krivulje, ki prikazujejo odvisnost koeficienta lezenja betona od časa, nivoja napetosti in starosti betona ob obremenitvi, so prikazane na sliki (7). Ti diagrami potrjujejo domnevo, da se pri določenem nivoju napetosti koeficient nelinearnega lezenja betona z manjšanjem starosti betona ob obremenitvi povečuje. Obstaja torej določena podobnost z obnašanjem betona pri linearnem lezenju betona.



Slika 7: Odvisnost koeficienta lezenja od časa in nivoja napetosti:

- a) starost betona ob obremenitvi 19 dni
- b) starost betona ob obremenitvi 31 dni

Slika 8: Odvisnost faktorja povečanja koeficienta linearnega lezenja betona od trajanja obremenitve in nivoja napetosti:

- a) starost betona ob obremenitvi 19 dni
- b) starost betona ob obremenitvi 31 dni

Za določitev faktorja povečanja koeficienta linearnega lezenja betona  $\kappa(\eta, t, t_0)$  smo časovno odvisnost koeficienta linearnega lezenja betona privzeli po jugoslovanskem pravilniku za beton in armirani beton pri temperaturi  $T = 20^\circ\text{C}$  in relativni vlagi okolja  $RV = 70\%$ :

$$\kappa(\eta, t, t_0) = \frac{\varphi(\eta, t, t_0)}{\varphi(\eta \leq 0,35, t, t_0)_{PBAB}} \quad (7)$$

Rezultati so v obliki krivulj, ki prikazujejo odvisnost faktorja povečanja koeficienta linearnega lezenja betona ( $\kappa$ ) od trajanja obremenitve ( $t - t_0$ ) za različne nivoje napetosti in dve starosti betona ob obremenitvi, podani na sliki (8).

Iz diagramov je razvidno, da pri vseh nivojih napetosti faktor povečanja koeficienta linearnega lezenja betona s trajanjem obremenitve upada. Njegovo zmanjševanje je pri konstantni starosti betona ob obremenitvi tem bolj intenzivno, čim višji je nivo napetosti. Z nivojem napetosti

narašča faktor povečanja koeficienta linearnega lezenja betona nelinearno. Tako se na primer za starost betona ob obremenitvi 19 dni in trajanje obremenitve 30 dni giblje od 1,03 pri  $\eta = 0,35$ , prek 1,18 pri  $\eta = 0,5$  do 1,7 pri  $\eta = 0,65$ . Vrednosti faktorja povečanja v času nekaj minut po obremenitvi so vprašljive zaradi istega velkostnega reda deformacij  $\epsilon_{c0}$  in  $\epsilon_{cc}$ .

Na podlagi dobljenih vrednosti faktorja povečanja koeficienta linearnega lezenja betona  $\kappa(\eta, t, t_0)$  predlagamo za numerično simuliranje tega faktorja matematični model po enačbi (8).

$$\kappa(\eta, t, t_0) = \left\{ 1 + (t_0 + 2^k) \cdot (\eta - 0,3)^e \right\} \cdot \left\{ t - t_0 \right\}^{- \left\{ e^{(k-1)} \cdot (\eta - 0,3)^3 \right\}} \quad (8)$$

Vrednost koeficienta »k« znaša za obremenitev betona pri starosti 19 dni 1, pri starosti 31 dni pa 2.

Ujemanje med rezultati, ki jih dobimo s pomočjo predlaganega matematičnega modela, in rezultati eksperimentalnih preiskav, je sicer zelo dobro (slika 8), vendar pa moramo poudariti, da bi bilo potrebno ustreznost predlaganega računskega modela preveriti z večjo serijo eksperimentov.

### SKLEP

Rezultati opravljenih eksperimentalnih raziskav potrjujejo, da se, odvisno od nivoja napetosti, dejanski časovni prirastki deformacij zaradi lezenja betona pri visokem nivoju napetosti lahko tudi za 100 % in več razlikujejo od

časovnih prirastkov deformacij, ki jih pri enakem nivoju napetosti dobimo z upoštevanjem linearne teorije lezenja betona. Zanesljiva ocena nelinearnega lezenja betona je za ustrezno nelinearno računsko simuliranje napetostno – deformacijskega stanja betonskih konstrukcij blizu porušitve bistvenega pomena. Nivo napetosti in starost betona ob obremenitvi sta sicer najpomembnejša, vendar ne edina parametra, ki v okviru inženirske natančnosti vplivata na nelinearno lezenje betona. Zaradi tega bodo za zanesljivo simuliranje nelinearnega lezenja betona, ki ga potrebujemo pri nelinearni analizi betonskih konstrukcij do porušitve, potrebne še obsežne predhodne eksperimentalne raziskave.

### LITERATURA

1. V. Bokan, Vpliv nivoja napetosti in kemijskih dodatkov na reologijo betona, magistrska naloga, KMLK, FAGG, 117 strani, 1991.
2. R. Pfefferle, Zur Theorie des Betonkriechens, Dissertation TU Karlsruhe, 1971.
3. I. K. Shank, Plastic Flow of Portland Cement, Concrete Bulletin 91, Engineering Experiment Station, Columbus, Ohio State University, Sept. 1938.
4. A. D. Ross, Concrete Creep Data, The Structural Engineer, pp. 314–326, August 1937.
5. P. K. Mehta, Concrete; Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.



## EROZIJSKO-ABRAZIJSKA ODPORNOST MIKROARMIRANIH BETONOV Z JEKLENIMI VLAKNI

UDK 691.32:620.17

JAKOB ŠUŠTERŠIČ

### POVZETEK

Rezultate preiskav erozijsko-abrazijske odpornosti mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni, navedene v članku, razdelimo na dva dela. V prvem obravnavamo rezultate preiskav erozijsko-abrazijske odpornosti mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni, merjene po metodi CRD-C 63-80, in rezultate abrazijske odpornosti istih betonov, merjene po Böhmejevi metodi pri starosti betonov 28 dni.

V drugem delu pa obravnavamo rezultate preiskav erozijsko-abrazijske odpornosti več kot eno leto starih mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni.

Uporabili smo devet sestav mikroarmiranih betonov. Vrednost  $v/c$  smo spremljali od 0,30 do 0,65. Prostorninski deleži jeklenih vlaken s sidri so znašali od 0,25 do 2,0 vol. % pri vrednosti  $v/c = 0,30$ ; pri ostalih betonih je bila količina vlaken enaka. Poleg tega smo pri vsaki vrednosti  $v/c$  pripravili mešanico brez vlaken.

Rezultati kažejo, da z dodajanjem jeklenih vlaken betonu izboljšujemo odpornost, ki smo jo merili po obeh preiskovalnih metodah. Erozijsko-abrazijsko odpornost povečujemo s povečevanjem tlačne trdnosti in s povečevanjem količine vlaken. To lahko primerjamo s povečevanjem abrazijske odpornosti, merjene po Böhmejevi metodi, toda to velja samo za betone z isto vrednostjo  $v/c$  in z različnimi količinami vlaken.

Erozijsko-abrazijsko izgubo mase smo merili vsakih 12 ur do 72 ur. Po določenem času smo iste preizkušance ponovno izpostavili erozijsko-abrazijski obremenitvi do naslednjih 72 ur. Ta 72-urni cikel smo ponovili štirikrat.

Obnašanje dolgotrajno obremenjenega betona smo natančneje opisali s koeficientom erozijsko-abrazijske izgube  $L_t$  glede na čas.

Ugotovljeni rezultati kažejo, da dolgotrajno erozijsko-abrazijsko odpornost mikroarmiranih betonov izboljšujemo z jeklenimi vlakni, in sicer s povečevanjem prostorninskega deleža vlaken z majhno trdoto in s povečevanjem sprijemljivosti med vlakni in cementnim kamnom.

*Avtor:*  
Jakob Šušteršič, dipl. inž. gradb.

## SUMMARY

The results discussed in the paper are separated into two parts. The results of investigation into the erosion-abrasion resistance according to CRD-C 63-80 test method and abrasion resistance according to Böhme test method of 28-days-old steel fibre reinforced concrete (SFRC) specimens are discussed in the first part.

The results of investigation into the erosion-abrasion resistance according to CRD-C 63-80 test method of over 1-year-old SFRC specimens are discussed in the second part.

Nine mix proportions were used. The w/c ratios were varied from 0.30 to 0.65. The volumetric percentage of hooked steel fibres were varied from 0,25 to 2,0 vol. % at the w/c of 0,30 and at the others the quantity of fibres was constant. In addition, mixes without fibres were made at each w/c.

The results show that adding steel fibres in to the concrete improves the resistances measured by both test methods. The erosion-abrasion resistance is improved by an increase of compressive strength and by an increase in fibre content. It can be correlated to improvements of abrasion resistance from the Böhme test method but only at constant w/c and different content of fibres.

The erosion-abrasion loss of mass was measured every 12 hr up to the 72 hr. After a period the same specimen of long-term loaded concrete was exposed to the erosion-abrasion loading again up to the next 72 hr. This cycle of 72 hr was repeated four time.

Performance of long-term loaded concrete is described more evident with a coefficient of erosion-abrasion loss according to time  $L_t$ .

The experimental results obtained show that the long-term erosion-abrasion resistance of SFRC is improved more by an increase of volumetric percentage of low hardness steel fibres and by an increase of a quality bond between fibres and cement paste.

## UVOD

V zadnjih petih letih poteka na Inštitutu za materiale ZRMK raziskovalni projekt o erozijsko-abrazijski odpornosti betonov in mikroarmiranih betonov, sestavljenih predvsem z jeklenimi vlakni (1), (2), (3), (4).

Rezultate te raziskave in preiskav smo uporabili za projektiranje sestav mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni za izdelavo hidrotehničnih oblog, odpornih proti eroziji in abraziji.

Raziskave se nadaljujejo s projektom Ugotavljanje in vrednotenje erozijsko-abrazijske odpornosti betonov, katerega namen je pridobiti kriterije, ki bodo opredeljevali zahteve pri projektiranju erozijsko-abrazijsko obremenjenih betonskih elementov ter pri dokazovanju kakovosti vgrajenih betonov.

V tem članku podajamo rezultate in ugotovitve, ki smo jih že podali v (2) in (4). Največji poudarek obravnave rezultatov preiskav mikroarmiranega betona, starega 28 dni, dajemo korelacijskim odnosom med erozijsko-abrazijsko izgubo mase, ki smo jo ugotovili s podvodno metodo CRD-C 63-80 (5), (6), (7), in abrazijsko izgubo mase, ki smo jo ugotovili po Böhmejevi metodi (8), ter tlačno trdnostjo. Nato smo opazovali obnašanje istih betonov, starih več kot eno leto, po delovanju dolgotrajnih erozijsko-abrazijskih obremenitev.

## DEFINICIJE NEKATERIH POJMOV IN PRIMERJAVA NEKATERIH UGOTOVITEV

Obstajajo tri izrazite vrste površinske obrabe betona (9):

- abrazija: obraba s ponavljajočim se drgnjenjem ali s procesi trenja,
- erozija: obraba z abrazijskim delovanjem vode, ki vsebuje potopljenih trde delce,
- kavitacija: obraba z udarnim delovanjem zračnih mehurčkov v tekočinah z veliko hitrostjo pretoka.

Glavni parametri, ki vplivajo na abrazijsko odpornost betona, so (10), (11):

- tlačna trdnost ali natančneje trdnost cementne paste, zato vrednost v/c,
- vrsta in kakovost agregata,
- postopek površinske obdelave,
- nega betona.

Hidrotehnični objekti so sestavljeni iz betonskih pregrad, prelivnih polj, predorov, ipd., ki so obremenjeni z abrazijskim (ali erozijskim) delovanjem potopljenih trdih delcev in z naključno kavitacijo. Ti objekti so lahko v uporabi celo po odstranitvi površinske plasti in zato je prav tako pomembna abrazijska odpornost betona pod površino (8).

Navadni beton se po navadi obnaša zelo skromno, saj od njega zahtevamo naslednje lastnosti, ki so pomembne za trajnost objektov: odpornost proti utrujanju, kavitaciji in eroziji, udarno trdnost, upogibno trdnost in deformabilnost, sposobnost prenašanja obtežbe v razpokanem stanju in veliko strižno trdnost. Z uporabo mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni – tj. betona s poljubno in z enakomerno razporejenimi vlakni, ki tvorijo mikroarmaturo – dosežemo te lastnosti pri različni uporabi v praksi. Vlakna armirajo cementno matrico oziroma maltni delež betona in s tem ustvarjajo kompozitni material, ki je odporen proti razpokanju. Teoretično bodo vlakna preprečila ali stabilizirala razširjanje mikrorazpok in notranjih neločljivo povezanih napak v betonu (12).

Erozijsko-abrazijsko delovanje delcev, nošenih z vodo, v umirjvalnih bazenih je zelo dobro ponazorjeno s podvodno metodo CRD-C 63-80. To metodo so razvili v Structures Laboratory, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station in je podrobno opisana v (5), (6), (7).

Voda, ki kroži zaradi vrtenja mešala, nosi po površini betonskega preizkušanca jeklene brusne kroglice, s čimer povzroča želeno abrazijo. Hitrost vode in vpliv tresenja nista tako velika, da bi dvigovala jeklene kroglice nad površino preizkušanca in bi te povzročale večje udarno

delovanje na površino (5), (6), (7).

S to podvodno erozijsko-abrazijsko metodo je bila vrednotena relativna erozijsko-abrazijska odpornost:

- različnih vrst betonov:
- normalnega betona z različnimi vrednostmi v/c (5), (6),
- polimernega betona (5), (6),
- podvodnega betona (13),
- mikroarmiranega betona (5), (7), (1), (2), (3), (4),
- malte z mikrosiliko in brez vlaken ter z njimi (14)
- betonov z različnimi vrstami agregata (5), (6),
- betonov z različno površinsko obdelavo (5), (6).

Med podatki iz literature zasledimo dva nasprotujoča si sklepa o erozijsko-abrazijski odpornosti mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni:

(a) v literaturi (5) in (7): primerjava obnašanja mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni in betona brez vlaken kaže, da so bili mikroarmirani betoni z jeklenimi vlakni manj odporni proti erozijsko-abrazijskemu delovanju kot pa beton z isto vrsto agregata in vrednostjo v/c brez vlaken;

(b) v literaturi (14): boljši rezultati erozijsko-abrazijske odpornosti so bili ugotovljeni pri malti, ki je vsebovala cement z elektrofiltrskim pepelom, mikrosiliko in jeklena vlakna; v literaturi (2): ugotovljeni rezultati kažejo, da so jeklena vlakna primerna za uporabo, pri kateri se zahteva erozijsko-abrazijsko odporen beton, ker se erozijsko-abrazijska odpornost, merjena po metodi CRD-C 63-80, izboljšuje s povečanjem prostorninskega deleža jeklenih vlaken pri isti vrednosti v/c.

Parametri, ki vplivajo na ta nasprotujoča si sklepa, so: sestave betonov, sprejemljivost med vlakni in cementnim kamnom in trdota jeklenih vlaken.

Dva vpliva, ki bi lahko pripomogla k slabemu obnašanju mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni, sta obravnavana v literaturi (7). Eden od vplivov je opisan takole: »Ko je mikroarmirani beton izpostavljen erozijsko-abrazijskemu delovanju, kljubuje erozijsko-abrazijskim silam na začetku le tanek film površinske malte; toda, ko je površinska malta izrabljena, so izpostavljena vlakna. Voda teče in gibanje abrazivnih delavcev v poskusnem polju povzroča, da izpostavljena vlakna vibrirajo. Ko vlakno vibrira, vnaša v beton velike napetosti, ki povzročajo koncentracijo napetosti. Te velike napetosti pripomorejo k nadaljnjemu propadanju betona v okolici vlaken. Obnašanje je bilo razvidno iz poslabšanja betona okrog oboda vlaken na površini preizkušanca.«

Iz te obravnave lahko sklepamo, da bi lahko imela uporabljena vlakna veliko trdoto (okrog 550 HB), če upoštevamo tudi naše preiskave, pri katerih smo ugotovili podoben vpliv vlaken.

Vlakna, ki smo jih uporabljali pri preiskavah (1), (2), (3), (4), imajo majhno trdoto (približno 250 do 270 HB). Ta vlakna postanejo sploščena zaradi udarjanja kroglic, ki jih nosi krožeča voda in ki ne izpulijo vlaken iz betona, ker je bila dosežena kakovostna sprejemljivost med vlakni in strjeno cementno pasto.

Preiskave erozijsko-abrazijske odpornosti, predstavljene v navedeni literaturi, so bile opravljene na preizkušancih, starih 28 dni; ti preizkušanci so bili izpostavljeni erozijsko-abrazijski obremenitvi do 72 ur (1 cikel).

Obnašanje več kot eno leto starih preizkušancev iz

mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni, ki so bili izpostavljeni dolgotrajnim obremenitvam (do 288 ur – 4 ciklov po 72 ur), smo predstavili v (4) in ga bomo ponovno v tem članku. Ocenjevali smo obnašanje dveh vrst betonskih površin:

- (a) nepoškodovana površina do preiskave in
- (b) poškodovana (erodirana) površina betonskih preizkušancev, ki so bili prvič obremenjeni po 28 dneh (do 72 ur) in smo jih nato (po 1 letu) izpostavili dolgotrajni obremenitvi.

## OCENJEVANJE EROZIJSKO-ABRAZIJSKE ODPOORNOSTI

Podvodno metodo CRD-C 63-80 lahko uporabimo samo za določitev relativne odpornosti materiala za erozijsko-abrazijsko delovanje delcev, nošenih z vodo (6).

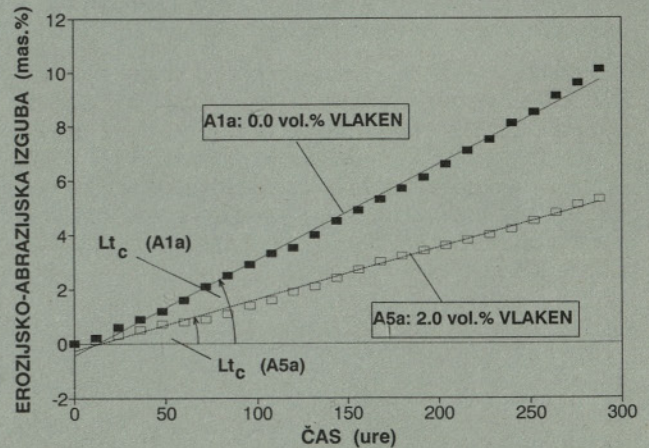
Vsaki 12 ur in na koncu preizkusa tehtamo maso površinsko suhega preizkušanca ter izračunamo erozijsko-abrazijsko izgubo po naslednji enačbi:

$$L = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (1),$$

kjer pomenijo:

- erozijsko-abrazijsko izgubo (mas. %),
- $M_i$  – masa površinsko suhega preizkušanca pred preizkusom,
- $M_f$  – masa površinsko suhega preizkušanca po preizkusu.

Ko vse rezultate erozijsko-abrazijske izgube določene vrste betona primerjamo s časom, v katerem smo ugotovili te rezultate, dobimo dobro korelacijo med tema parametroma (sl. 1).



Slika 1: Linearna korelacija med erozijsko-abrazijsko izgubo betonov z oznakama A1a in A5a (glej obravnavane rezultate) in časom

To korelacijo lahko izrazimo z označbo:

$$L = C + L_{t_c} \times t \quad (2),$$

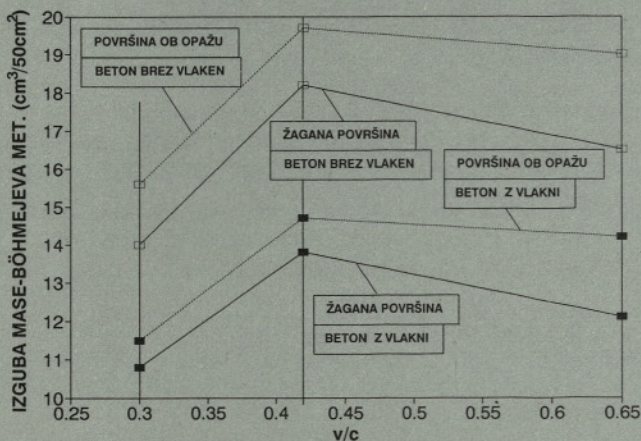
kjer pomenijo:

- $L$  – erozijsko-abrazijsko izgubo,
- $C$  – konstanto,
- $t$  – čas,
- $L_{t_c}$  – kot nad premico izguba/čas in vzporednico abscisni

Brusili smo dve vrsti površin mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni:

- površino ob opažu in
- žagano površino.

Rezultate preiskav po Böhmejevi metodi podajamo v preglednici 2. Vpliv prostorninskega deleža vlaken pri isti vrednosti  $v/c = 0,30$  in vpliv vrednosti  $v/c$  pri 0,5 vol. % vlaken na izgubo betonske mase pri preiskavi po Böhmejevi metodi podajamo na slikah 2 in 3.

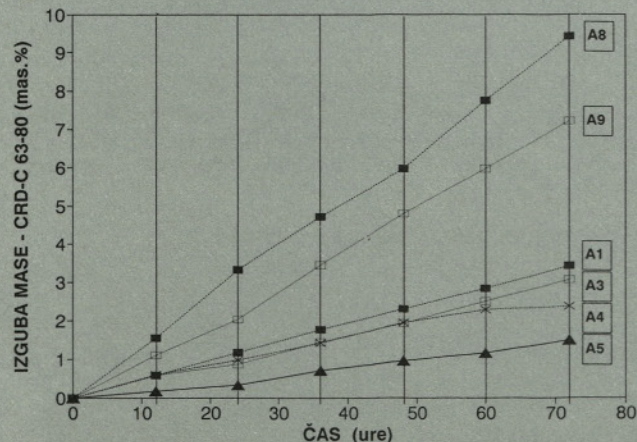


Slika 3: Vpliv vrednosti  $v/c$  pri 0,5 vol. % vlaken na izgubo mase betona, merjene po Böhmejevi metodi.

Izguba mase je bila večja, če smo površino ob opažu brusili v primerjavi z žagano površino. Na žagani površini je kakovost betona boljša, razporeditev vlaken pa v primerjavi s površino ob opažu enakomernejša.

Razvidna sta vpliv vlaken na abrazijsko odpornost betona, prav tako tudi vpliv vrednosti  $v/c$ , toda njen vpliv je v primerjavi z vplivom vlaken manjši.

Z dodajanjem vlaken povečujemo delež malte v betonu. Maltni delež ni tako odporen na (mehanično) brušenje pri preiskavi po Böhmejevi metodi kakor pri manj ostrem brusilnem delovanju v preiskavi po metodi CRD-C 63-80. Groba zrna agregata se bolje upirajo mehanskemu brušenju. Podane ugotovitve potrjujejo dobljeni rezultati, ki so razvidni iz zgornje krivulje na sliki 2 (mikroarmirani beton z 0,25, 0,5 in 1,0 vol. % vlaken).

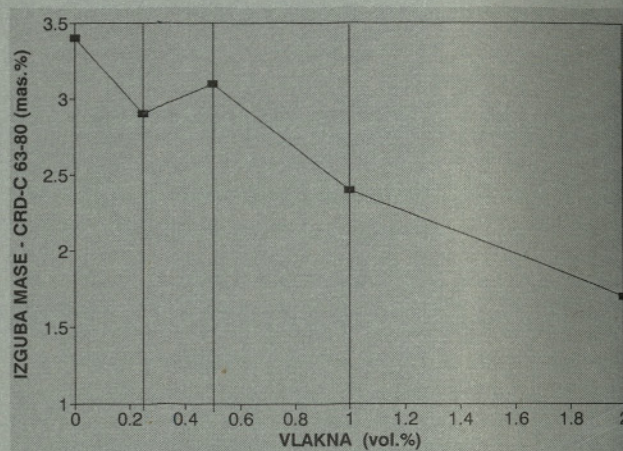


Slika 4: Erozijsko-abrazijska izguba mase betona, merjena po metodi CRD-C 63-80 vsakih 12 ur do 72 ur

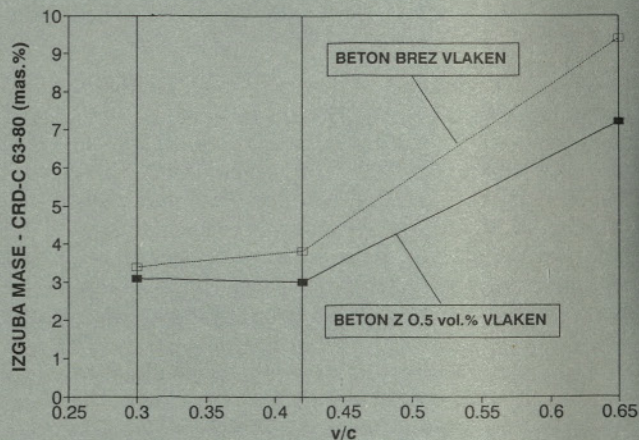
## Erozijsko-abrazijska odpornost mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni, merjena po metodi CRD-C 63-80

Izgubo mase betona smo merili vsakih 12 ur do 72 ur. Dobljeni rezultati so razvidni s slike 4.

Povprečne vrednosti dobljenih rezultatov po 72-urni preiskavi podajamo v preglednici 2. Na sliki 5 je prikazan vpliv prostorninskega deleža vlaken pri vrednosti  $v/c = 0,30$ , na sliki 6 pa vpliv vrednosti  $v/c$  pri 0,5 vol. % vlaken na izgubo mase po 72 urah.



Slika 5: Vpliv prostorninskega deleža vlaken na erozijsko-abrazijsko izgubo mase betona, merjeno po metodi CRD-C 63-80 po 72 urah



Slika 6: Vpliv vrednosti  $v/c$  na erozijsko-abrazijsko izgubo mase betona, merjeno po metodi CRD-C 63-80 po 72 urah

Erozijsko-abrazijsko odpornost izboljšujemo s povečevanjem prostorninskega deleža vlaken in z zmanjševanjem vrednosti  $v/c$ . Vrednost  $v/c$  ima večji vpliv na erozijsko-abrazijsko odpornost, merjeno po metodi CRD-C 63-80 kakor pa na abrazijsko odpornost, merjeno po Böhmejevi metodi.

Erozijsko-abrazijsko odpornost mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni lahko zagotovimo z dobro sprjemljivostjo med vlakni in cementnim kamnom. To trditev potrjujejo tudi rezultati preiskav (14), pri čemer je bila dosežena dobra sprjemljivost med vlakni in cementnim kamnom z dodatkom mikrosilike; s tem je bila dosežena tudi večja erozijsko-abrazijska odpornost preiskovanih malt.

osi oziroma koeficient erozijsko-abrazijske izgube, ki podaja hitrost obrabe oziroma erozijsko-abrazijske izgube površine betona in ki ga izrazimo z enačbo:

$$L_{t_c} = \frac{L}{t} \quad (3)$$

Zmanjšanje naklona premice erozijsko-abrazijska izguba/čas glede na abscisno os pomeni izboljšanje erozijsko-abrazijske odpornosti preiskovanega betona (slika 1).

## PROGRAMSKA ZASNOVA PREISKAV

Uporabljene sestave betonov podajamo v preglednici 1.

OZNAKA SESTAVE	SESTAVA			SVEŽI BETON		
	v/c	CEMENT (kg/m <sup>3</sup> )	VLAKNA (vol.%)	POSED (cm)	VEBE (Indeks Vebe)	PROSTOR. MASA (kg/m <sup>3</sup> )
A1	0.30	550	0.00	16.0	0.9	2528
A2	0.30	550	0.25	17.0	1.3	2555
A3	0.30	560	0.50	16.5	1.0	2546
A4	3.30	580	1.00	11.0	3.5	2547
A5	0.30	600	2.00	0.5	>10.0	2581
A6	0.42	400	0.00	17.0	0.8	2475
A7	0.42	400	0.50	16.0	1.6	2509
A8	0.65	250	0.00	10.0	2.4	2469
A9	0.65	260	0.50	10.0	2.7	2480

### KONSTANTE:

- SUPERPLASTIFIKATOR = 3% OD KOLIČINE CEMENTA
- Dmaks = 16 mm
- JEKLENA VLAKNA: - vrsta
  - dolžina l = 32 mm
  - koeficient oblike l/d = 64

Preglednica 1: Uporabljene sestave za pripravo mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni in rezultati preiskav svežega betona

Uporabljali smo jeklena vlakna TRIAS s sidri; dolžina vlaken l = 32 mm in njihov premer d = 0,50 mm. Tako znaša koeficient oblike l/d = 64.

Za pripravo vseh betonov smo uporabljali portlandski cement PC 15z 45S Anhovo, okroglozrnat rečni agregat (pretežno apnenec) iz separacije Hotič, od katerega smo uporabili naslednje frakcije: 0/4, 4/8 in 8/16 mm in superplastifikator. Količino cementa smo spreminjali tako, da je bila obdelovalnost betonov približno enaka (preglednica 1). Obdelovalnost mikroarmiranega betona z vrednostjo v/c = 0,30 in z 2,0 vol. % (prostorninski delež od celotne prostornine betona) vlaken (oznaka sestave A5) se je močno zmanjšala zaradi največje uporabljene količine vlaken.

Betone smo pripravljali v 50-litrskem laboratorijskem protičnem mešalniku z navpično osjo mešala. Betone smo kompaktirali v kalupih na vibracijski mizici. Preizkušance smo negovali pri 95% relativni vlažnosti in temperaturi 20°C. Pred preiskavo po metodi CRD-C 63-80 smo preizkušance dali v vodo, da so se nasičili z vodo.

Preizkušance (A1-A9), ki smo jih dolgotrajno obremenjevali po metodi CRD-C 63-80, smo razdelili v dve seriji:

1. serija: preizkušance, ki smo jih označili s A1a do A9a in imajo nepoškodovano površino do začetka preiskave, smo izpostavili erozijsko-abrazijski obremenitvi do 72 ur pri starosti 390 dni (1 leto in približno 2 meseca); nato smo jih ponovno izpostavili enaki obremenitvi, ki je vsaka dva meseca (do končnega števila ciklov - 4) trajala 72 ur (1 cikel);

2. serija: preizkušance, ki smo jih označili s A1b do A9b, smo najprej preiskovali pri starosti 28 dni; naslednjič smo

iste preizkušance preiskovali šele pri starosti 600 dni (1 leto in približno 8 mesecev); nato smo jih preiskovali vsakih 12 dni (do končnega števila ciklov - 4).

## REZULTATI PREISKAV BETONOV, STARIH 28 DNI

Povprečne rezultate, ki smo jih dobili s preiskavami preizkušancev, starih 28 dni, podajamo v preglednici 2.

OZNAKA SESTAVE	TLAČNA TRDNOST (f <sub>c</sub> ) <sub>28</sub> (MPa)	IZGUBA MASE PO BÖHMEJEVI METODI (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )		IZGUBA MASE PO METODI CRD-C 63-80 PO 72 urah (mas.%)
		POVRŠINA OB OPAŽU	ŽAGANA POVRŠINA	
A1	71.6	15.6	14.0	3.4
A2	71.1	11.3	10.8	2.9
A3	70.6	11.5	10.8	3.1
A4	72.0	11.7	9.6	2.4
A5	71.9	7.5	7.2	1.7
A6	57.5	19.7	18.2	3.8
A7	58.8	14.7	13.8	3.0
A8	35.1	19.0	16.5	9.4
A9	42.2	14.2	12.1	7.2

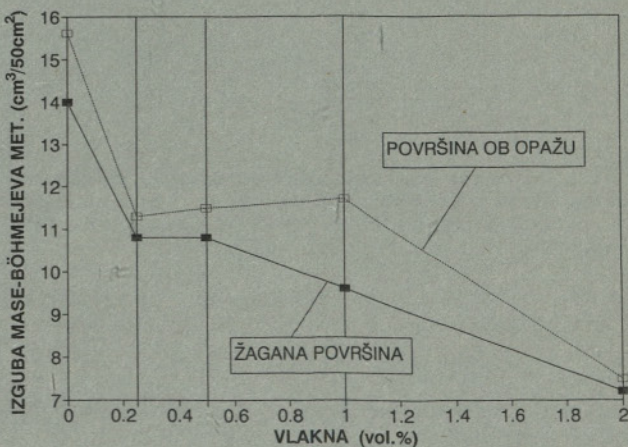
Preglednica 2: Povprečni rezultati preiskav preizkušancev, starih 28 dni

### Tlačna trdnost

Rezultati preiskav tlačnih trdnosti betonov z vrednostjo v/c = 0,30 so precej enaki, čeprav so količine vlaken različne (preglednica 2). Tlačna trdnost se zmanjšuje, posebno betonov brez vlaken, s povečevanjem vrednosti v/c.

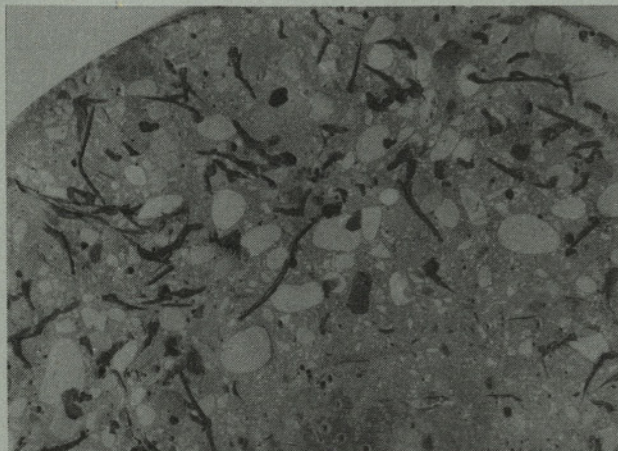
### Abrazijska odpornost mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni glede na Böhmejevo metodo

Böhmejeva metoda je podana v nemškem standardu DIN 52108 in v JUS B.B8.015. Celotno površino preizkušanca (50 cm<sup>2</sup>) brusimo z vodoravno rotirajočim jeklenim brusnim kolesom, na katerega pritiskamo preizkušance. Med preiskavo kontroliramo hitrost vrtenja in pritisk na stični površini, tako da ne pride do velikih napetosti in udara. Uporabljamo abrazivni pesek.



Slika 2: Vpliv prostorninskega deleža vlaken pri vrednosti v/c = 0,30 na izgubo mase betona, merjene po Böhmejevi metodi

Da imajo vlakna velik vpliv, lahko sklepamo tudi iz vizualne ocene obrabljene površine po preiskavi (slika 7).

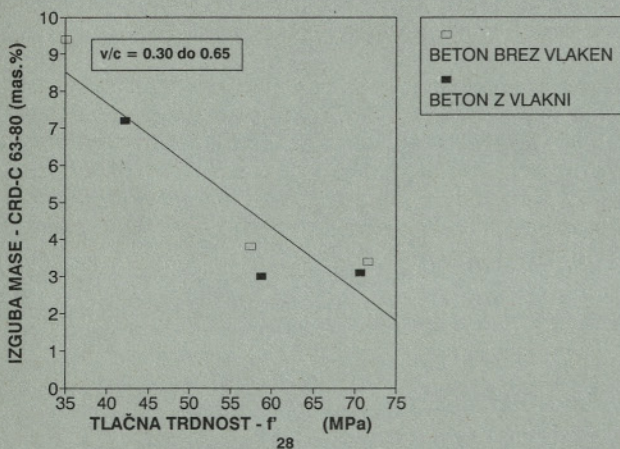


Slika 7: Erodirana površina mikroarmiranega betona z oznako A4 (z 1 vol. % vlaken) po 72-urni preiskavi

Jeklene brusne kroglice, ki jih nosi krožeča voda, niso izpulile vlaken iz betona, ker je bila dosežena dobra sprijemljivost med vlakni in cementnim kamnom. Vlakna so se sploščila zaradi udarjanja kroglic.

### Korelacija med abrazijsko odpornostjo in tlačno trdnostjo

Rezultatom abrazijske odpornosti, ki smo jih dobili po Böhmejevi metodi na žaganih površinah, smo ugotavljali korelacijsko odvisnost od tlačne trdnosti. S slike 8 je razvidno, da ne obstaja korelacija med tema dvema parametroma.



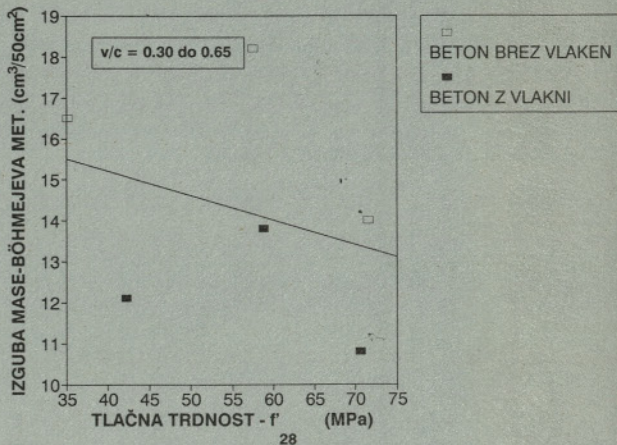
Slika 8: Korelacija med abrazijsko odpornostjo (ali izgubo mase), merjeno po Böhmejevi metodi, in tlačno trdnostjo betona brez vlaken in z 0,5 vol % vlaken ter različnimi vrednostmi v/c

Abrazijske odpornosti ne izboljšujemo s povečanjem tlačne trdnosti, ampak s povečevanjem količine jeklenih vlaken in s količino ter kakovostjo agregata v betonu.

### Korelacija med erozijsko-abrazijsko odpornostjo in tlačno trdnostjo

Nasprotno prejšnji ugotovitvi pa lahko rečemo, da obstaja korelacija med erozijsko-abrazijsko odpornostjo (ali izgubo

mase), merjeno po metodi CRD-C 63-80, in tlačno trdnostjo. S slike 9 je razvidna dobra korelacija med izgubo mase betonov z različnimi vrednostmi v/c (brez vlaken in z 0,5 vol. % vlaken) ter tlačno trdnostjo.



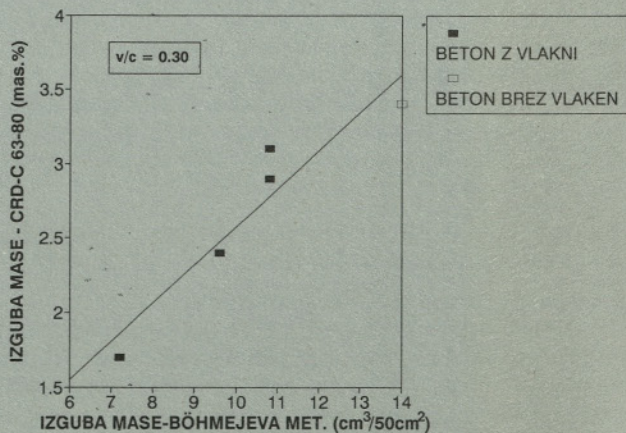
Slika 9: Korelacija med erozijsko-abrazijsko odpornostjo (ali izgubo mase), merjeno po metodi CRD-C 63-80, in tlačno trdnostjo betona brez vlaken in z 0,5 vol. % vlaken ter različnimi vrednostmi v/c

Korelacija pa ni tako dobra, ko upoštevamo rezultate erozijsko-abrazijske odpornosti betonov z isto vrednostjo v/c in različnimi količinami vlaken.

Na splošno lahko rečemo, da se erozijsko-abrazijska odpornost izboljšuje oziroma izguba mase se zmanjšuje s povečanjem tlačne trdnosti betona brez vlaken in z njimi. To odpornost pa še izboljšujemo s povečevanjem količine vlaken pri isti vrednosti v/c, pri čemer so tlačne trdnosti približno enake.

### Korelacija med erozijsko-abrazijsko odpornostjo in abrazijsko odpornostjo

Ko povečujemo abrazijsko odpornost, merjeno po Böhmejevi metodi, s tem še ne povečujemo tudi erozijsko-abrazijske odpornosti (po metodi CRD-C 63-80) betonov z različnimi vrednostmi v/c in brez vlaken ter z enako količino le-teh. Erozijsko-abrazijska odpornost pa se povečuje z izboljševanjem abrazijske odpornosti betonov pri isti vrednosti v/c in z različnimi količinami jeklenih vlaken (slika 10).



Slika 10: Korelacija med erozijsko-abrazijsko odpornostjo – merjeno po metodi CRD-C 63-80 in abrazijsko odpornostjo, merjeno po Böhmejevi metodi – betonov z vrednostjo v/c = 0,30 in različnimi količinami vlaken

## REZULTATI PREISKAV VEČ KOT ENO LETO STARIH MIKROARMIRANIH BETONOV Z JEKLENIMI VLAKNI, OBREMENJENIH Z DOLGOTRAJNIMI EROZIJSKO-ABRAZIJSKIMI OBREMITVAMI

Rezultati (erozijsko-abrazijska izguba), dobljeni po podvodni metodi CRD-C 63-80 mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni iz 1. in 2. serije na začetku in koncu vsakega 72-urnega cikla, so podani v preglednicah 3 in 4.

ČAS PREIZ. (ure)	STAROST BETONA (dni)	IZGUBA MASE (mas. %) BETONSKEGA PREIZKUŠANCA OZNAKE								
		A1a	A2a	A3a	A4a	A5a	A6a	A7a	A8a	A9a
0	390	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
72		2.1	2.1	1.3	1.6	0.9	2.7	2.6	5.2	4.3
84	450	2.5	2.4	1.6	2.1	1.1	3.2	2.8	6.3	5.2
144		4.5	4.3	3.6	3.7	2.4	5.6	5.2	11.8	9.8
156	510	4.9	4.8	4.1	4.2	2.7	5.8	5.8	12.2	11.1
216		7.1	6.8	6.2	6.1	3.8	8.2	8.4	17.4	17.1
228	570	7.5	7.1	6.7	6.4	4.0	8.6	8.8	18.7	17.6
288		10.1	8.7	8.8	8.3	5.3	10.9	10.8	23.0	20.5

Preglednica 3: Rezultati podvodne preiskave betonskih preizkušancev iz 1. serije

ČAS PREIZ. (ure)	STAROST BETONA (dni)	IZGUBA MASE (mas. %) BETONSKEGA PREIZKUŠANCA OZNAKE								
		A1b	A2b	A3b	A4b	A5b	A6b	A7b	A8b	A9b
0	28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
72		3.4	2.9	3.1	2.4	1.5	3.8	3.0	9.4	7.2
84	600		3.5			1.7	4.3	3.2		
144			5.5			2.8	5.6	5.0		
156	612		6.0			3.0	6.2	5.4		
216			8.5			4.3	8.6	7.2		
228	624		8.9			4.5	9.0	7.6		
288			11.2			5.6	11.2	8.6		

Preglednica 4: Rezultati podvodne preiskave betonskih preizkušancev iz 2. serije

Izračunane vrednosti koeficienta  $L_t$  (enačba (3)) istih preizkušancev pa so podane v preglednicah 5 in 6.

DO ČASA (ure)	$L_t$ (mas. %/uro) $\times 10^{-2}$ BETONSKEGA PREIZKUŠANCA OZNAKE								
	A1a	A2a	A3a	A4a	A5a	A6a	A7a	A8a	A9a
72	2.9	3.0	1.8	2.3	1.3	3.6	3.6	7.0	6.1
288	3.5	3.1	3.2	2.9	1.9	3.8	3.9	8.4	7.8

Preglednica 5: Koeficient  $L_t$  betonskih preizkušancev iz 1. serije

DO ČASA (ure)	$L_t$ (mas. %/uro) $\times 10^{-2}$ BETONSKEGA PREIZKUŠANCA OZNAKE								
	A1b	A2b	A3b	A4b	A5b	A6b	A7b	A8b	A9b
72	4.7	4.2	4.2	3.5	2.1	5.3	4.3	13.0	10.0
288		3.8			2.0	3.7	3.0		

Preglednica 6: Koeficient  $L_t$  betonskih preizkušancev iz 2. serije

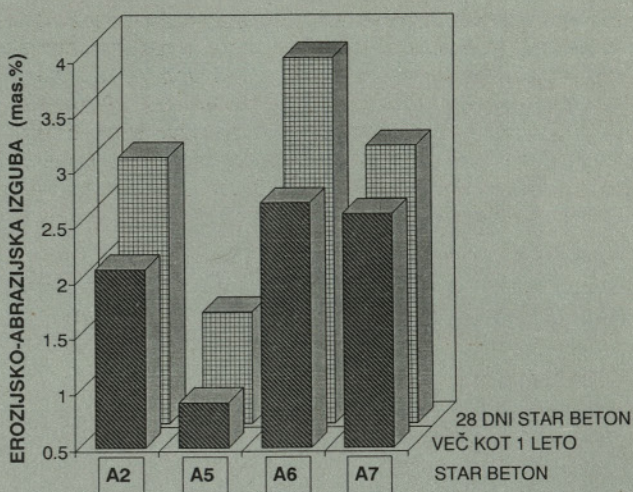
### Vpliv starosti betona

Izguba mase betonov z vlakni in brez njih iz 2. serije, ki smo jih po 28 dneh izpostavili erozijsko-abrazijski obremenitvi do 72 ur, je večja kot izguba mase enakih betonskih preizkušancev iz 1. serije po 390 dneh, obremenjenih do 72 ur (slika 11).

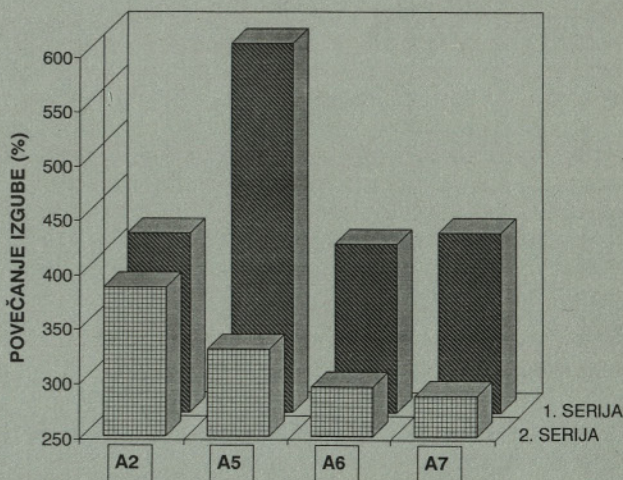
Po teh preiskavah so relativne izgube mase betonov iz 2. serije manjše kot relativne izgube mase betonov iz 1. serije (slika 12).

Obnašanje betona z vlakni in brez njih iz 1. in 2. serije glede na njegovo starost lahko natančneje vidimo tako s slike 13, kjer smo za primer podali diagrama erozijsko-

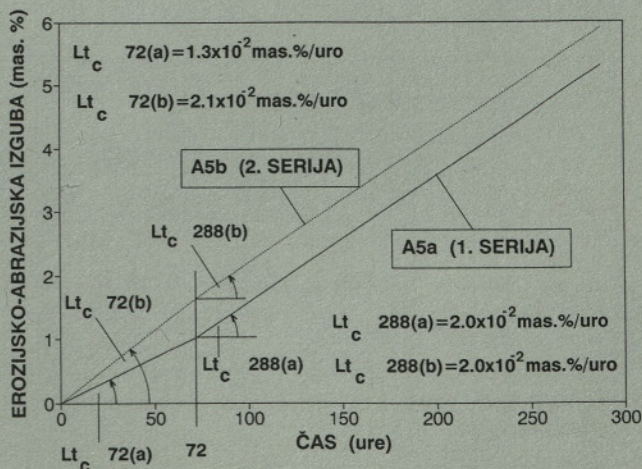
abrazijske izgube betonskega preizkušanca A5, kakor tudi iz preglednic 5 in 6.



Slika 11: Erozijsko-abrazijska izguba mase betonov iz 1. serije: A2a, A5a, A6a in A7a in iz 2. serije A2b, A5b, A6b in A7b, obremenjenih do 72 ur



Slika 12: Relativna erozijsko-abrazijska izguba mase betonov iz 1. in 2. serije v primerjavi z rezultati s slike 11



Slika 13: Premica izguba/čas betona A5 (A5a iz 1. serije in A5b iz 2. serije)

Erozijsko-abrazijska izguba betona z nepoškodovano površino po 28 dneh je večja od izgube istega betona z nepoškodovano površino po 360 dneh. Tak rezultat smo tudi pričakovali in velja tako za mikroarmirane betone kakor tudi za betone brez vlaken, toda na različnih ravneh odpornosti. Če izpostavimo beton – ki smo ga že izpostavili erozijsko-abrazijskim obremenitvam po 28 dneh – ponovno tem obremenitvam pri njegovi starosti prek enega leta (600 dni), se bo njegova odpornost povečala in bo približno enaka odpornosti betona, ki smo ga prvič izpostavili obremenitvam po 1 letu (390 dni).

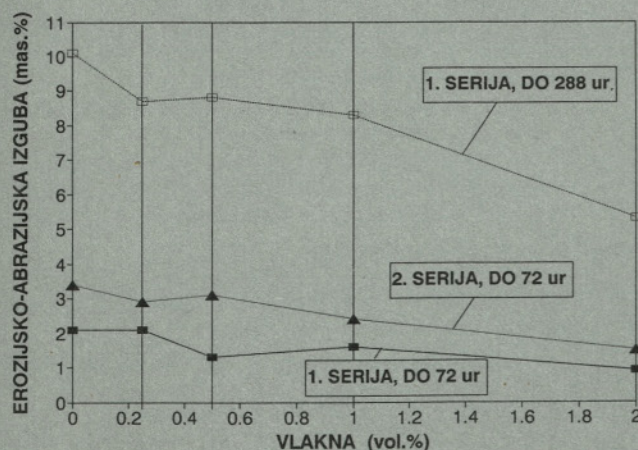
Koeficient  $L_{tc}$  betona iz 1. serije, obremenjenega do 72 ur, je manjši od koeficient  $L_{tc}$  betona iz iste serije, obremenjenega do 288 ur. To pomeni, da je nepoškodovana površina bolj odporna proti erozijsko-abrazijski obremenitvi kot deformirana oziroma že erodirana površina.

Po drugi strani pa je koeficient  $L_{tc}$  betona iz 2. serije, obremenjenega do 72 ur, večji od koeficienta  $L_{tc}$  betona, obremenjenega do 288 ur. To pomeni, da je erozijsko-abrazijska odpornost manj strjenega betona manjša od istega bolj strjenega in že površinsko erodiranega betona.

### Vpliv količine vlaken

Izboljšanje erozijsko-abrazijske odpornosti mikroarmiranih betonov s povečevanjem količine jeklenih vlaken smo že ugotovili pri obravnavi rezultatov betonov, ki smo jih preiskovali pri starosti 28 dni, in smo jih podali v prvem delu obravnave rezultatov tega članka. Enak vpliv vlaken ugotavljamo iz preiskav istih betonov po enem letu pri ponavljajočih se 72-urnih cikličnih obremenitve. Odpornost mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni izboljšujejo s povečevanjem količine vlaken. To lahko vidimo iz rezultatov preiskav betonskih preizkušancev z oznakami A1a do A5a oziroma A1b do A5b, ki jih podajamo v preglednicah 3 do 6.

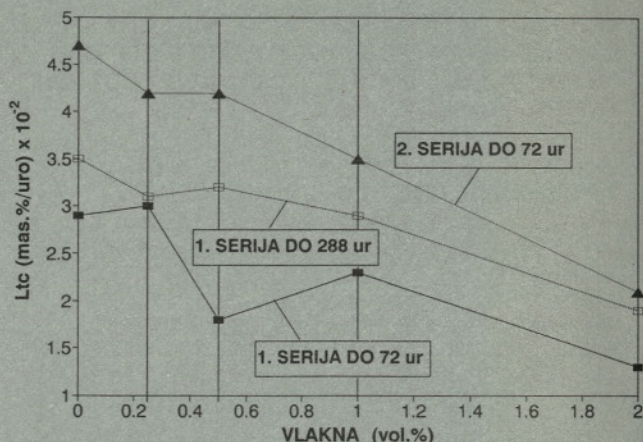
Zmanjševanje erozijsko-abrazijske izgube glede na količino vlaken je prikazano z diagrami na sliki 14.



Slika 14: Erozijsko-abrazijska izguba glede na količino vlaken pri vrednosti  $v/c = 0,30$

Erozijsko-abrazijska odpornost mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni glede na količino vlaken je še bolj nazorna na sliki 15.

Odpornost izboljšujemo z dodajanjem jeklenih vlaken z majhno trdoto; odpornost pa še povečujemo s povečanjem števila vlaken na erodirani površini. Vlakna, ki se



Slika 15: Koeficient  $L_{tc}$  glede na količino vlaken pri vrednosti  $v/c = 0,30$

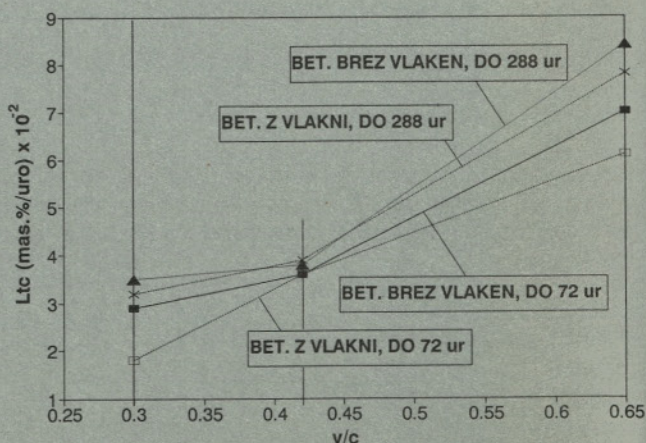
sploščijo zaradi udarjanja kroglic, ustvarjajo na površini betona jeklen plašč (slika 7). Večjo gostoto plašča dosežemo s povečevanjem števila vlaken in z njihovo povečano sploščenostjo. Pri uporabljenih vlaknih smo izmerili največjo širino sploščenosti 2,5 mm. To pomeni, da so se vlakna s premerom 0,5 mm razširila za petkrat.

Med posameznimi cikli smo mikroarmirane betonske preizkušance negovali v klimatsko urejeni komori s 95 % relativno vlažnostjo. Zato so vlakna na erodirani površini začela rjaveti. Toda vlakna so bila zaradi udarjanja jeklenih kroglic že toliko poškodovana, da rjavenje ni imelo vidnega vpliva na odpornost vlaken proti ponovnemu udarjanju kroglic oziroma na erozijsko-abrazijsko odpornost mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni.

### Vpliv vrednosti v/c

Z zmanjševanjem vrednosti  $v/c$  izboljšujemo kakovost strjene cementne paste (cementnega kamna) in sprijemljivost med zrni agregata, vlakni ter cementnim kamnom. Z zmanjšanjem vrednosti  $v/c$  izboljšujemo tudi erozijsko-abrazijsko odpornost betonov brez vlaken in mikroarmiranih betonov. To smo že dokazali s preiskavami betonov, starih 28 dni.

Enako ugotovimo tudi pri betonih, starih več kot eno leto. S slike 16 je razvidno zmanjševanje erozijsko-abrazijske odpornosti (oziroma povečevanja koeficienta  $L_{tc}$ ) betonskih preizkušancev brez vlaken in z njimi iz 1. serije s povečevanjem vrednosti  $v/c$ .



Slika 16: Koeficient  $L_{tc}$ , betonskih preizkušancev iz 1. serije brez vlaken (A1a, A6a in A8a) in z vlakni (A3a, A7a in A9a) glede na vrednost  $v/c$



## SKLEP

Iz ugotovljenih rezultatov preiskav lahko sklepamo, da so jeklena vlakna primerna za uporabo, kjer so potrebni erozijsko-abrazijsko odporni betoni.

Abrazijske odpornosti, merjene po Böhmejevi metodi, ne izboljšujemo s povečevanjem tlačne trdnosti. Izboljšujemo jo z dodajanjem in s povečevanjem količine jeklenih vlaken ter količine kakovostnih grobih zrn agregata v betonu.

Erozijsko-abrazijsko odpornost, merjeno po metodi CRD-C 63-80, izboljšujemo s povečevanjem tlačne trdnosti betona brez jeklenih vlaken in z njimi. Najbolj smo to odpornost izboljševati s povečanjem količin oziroma prostorninskih deležev jeklenih vlaken pri isti vrednosti  $v/c$  (0,30). Pri teh betonih so bile vrednosti tlačne trdnosti približno enake. Če izboljšamo abrazijsko odpornost, merjeno po Böhmejevi metodi, s tem še ne izboljšujemo tudi erozijsko-abrazijske odpornosti, merjene po metodi CRD-C 63-80. To velja za betone z različnimi vrednostmi  $v/c$ , brez jeklenih vlaken in z enako količino le-teh. Pri betonih z isto vrednostjo  $v/c$  in različnimi količinami vlaken

pa z izboljšanjem erozijsko-abrazijske odpornosti dosežemo tudi boljšo abrazijsko odpornost teh betonov.

Obnašanje betonov, ki so izpostavljeni dolgotrajnim erozijsko-abrazijskim obremenitvam, natančneje opisujemo s koeficientom  $L_t$ .

Dolgotrajna erozijsko-abrazijska odpornost betonov z vlakni in brez njih, ki smo jih prvič izpostavili erozijsko-abrazijskim obremenitvam po več kot enem letu, je približno enaka kot pri betonih, ki smo jih prvič izpostavili delovanju erozijsko-abrazijskim obremenitvam pri starosti 28 dni in jih potem ponovno izpostavili dolgotrajnim obremenitvam po več kot enem letu.

Nepoškodovana površina več kot eno leto starega betona je bolj odporna proti erozijsko-abrazijski obremenitvi kot poškodovana oziroma že erodirana površina. Toda erozijsko-abrazijska odpornost nepoškodovane površine manj strjenega betona je manjša od odpornosti že erodirane površine bolj strjenega betona.

Dolgotrajno erozijsko-abrazijsko odpornost mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni izboljšujemo s povečevanjem količine vlaken in z zmanjševanjem vrednosti  $v/c$ .

## LITERATURA

1. Šušteršič J. s sodelavci, *Betoni z zvišano abrazijsko-erozijsko odpornostjo za hidrotehnične gradnje in voziščne konstrukcije*, 1. del: Abrazijsko-erozijski in kavitacijski učinki na hidrotehničnih betonih, RSS PORS 06 – Graditeljstvo, Ljubljana 1989, 40 str.
2. Šušteršič J., Mali E. and Urbančič S., *Erosion-Abrasion Resistance of Steel Fibre Reinforced Concrete*, ACI SP 126 (V. M. Malhotra), 1991, V. 2, str. 729–743.
3. Šušteršič J., Rebič M. and Urbančič S., *Testing of SFRC by the Schmidt Rebound Hammer*, MRS Symp. Proc. V. 211 (S. Mindess and J. Skalny), 1991, str. 33–38.
4. Šušteršič J., *Resistance of Over 1-Year-Old SFRC Exposed to Long-Term Erosion-Abrasion Loading*, referat je pripravljen za objavo v *Proceedings of Fourth RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Cement and Concrete*, ki bo v Sheffieldu od 20. do 23. julija 1992.
5. Liu T. C., *Maintenance and Preservation of Concrete Structures: Report 3, Abrasion-Erosion Resistance of Concrete*, Technical Report No. C-78-4, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Julij 1980, 129 str.
6. Liu T. C., *Abrasion Resistance of Concrete*, ACI Journal, Sept.–Okt. 1981, str. 341–350.
7. Liu, T. C. and McDonald, J. E., *Abrasion-Erosion Resistance of Fiber-Reinforced Concrete*, *Cem. Con. and Aggr.*, 2 (3), 1981, str. 93–100.
8. Alexander, M. G., *Towards standard tests for abrasion resistance of concrete; Report on limited number of tests studied, with a critical evaluation* (Prepared for submission to RILEM CPC-14 Concrete Permanent Committee, June 1984), *Materiaux et Constructions*, Vol. 18 – No 106, str. 297–307.
9. Mindess S., Young J. F., *Concrete*, Prentice, Hall Inc., London, 1981.
10. *ACI Manual of Concrete Practice*, Part. 3, Recommended practice for concrete floor and slab construction (ACI 302–69) American Concrete Institute, 1980.
11. *CEB Information Bulletin No. 148: Durability of concrete structures*, State – of – the – Art Report, 1982.
12. *Fiber Reinforced Concrete – Le Beton Arme de Fibres*, CIGB ICOLD, Bulletin 40, 1982.
13. Hester, W. T., Khayat, K. H. and Gerwick, Jr., B. C., *Properties of Concretes for Thin Underwater Placements and Repairs*, ACI SP 114 (V. M. Malhotra), 1989, V. 1, pp. 713–731.
14. Berra M., Ferrara G., and Tavano S., *Behaviour of High Erosion-Resistant Silica Fume-Mortars for Repair of Hydraulic Structures*, *Proceedings of Third International Conference on The Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Trondheim, Norway, ACI, 1989, Vol. 2, str. 827–847.

# SCT

## *sct ljubljana*

