

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

LJUBLJANA,  
JANUAR-FEBRUAR, 1992

LETNIK XXXXI  
STR. 1-64

# GRADBENI VESTNIK 1-2



Foto: DRAGAN ARRIGLER

INŠTITUT ZA METALNE KONSTRUKCIJE LJUBLJANA

# IMK



**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. 1-2 • LETNIK 41 • 1992 • YU ISSN 0017-2774

## VSEBINA- CONTENTS

Članki, študije,  
razprave  
Articles studies,  
proceedings

Boris Pukl: INŠTITUT ZA METALNE KONSTRUKCIJE – NJEGOVO MESTO IN VLOGA PRI IZGRADNJI, VZDRŽEVANJU IN SANACIJI KOVINSKIH KONSTRUKCIJ . . . . .	2
THE INSTITUTE FOR METAL STRUCTURES – ITS ROLE IN THE CONSTRUCTION, MAINTENANCE AND RENEWAL OF STEEL STRUCTURES	
Črtomir Remec, Tomaž Rojc: OBNAVLJANJE IN SANIRANJE JEKLENIH NOSILNIH KONSTRUKCIJ . . . . .	6
RECONSTRUCTION AND RENEWAL OF STEEL STRUCTURES	
Jelena Vojvodič Gvardjančič: ANALITIČNA OBRAVNAVA NATEZNEGA PREIZKUSA . . . . .	13
ANALITICAL CONSIDERATION OF TENSILE TEST	
Marko Vončina, Bogdan Jarec: NEPORUŠNE PREISKAVE NA PODROČJU KONTROLE ZVARJENIH SPOJEV NA NOSILNIH JEKLENIH KONSTRUKCIJAH . . . . .	22
NON DESTRUCTIVE TESTING IN THE FIELD OF WELDED JOINTS QUALITY CONTROL OF STEEL STRUCTURES	
Ivan Gašparovič, Ivan Bračko: ZAMENJAVA NH <sub>3</sub> KONVERTERJA . . . . .	28
EXCHANGE OF NH <sub>3</sub> CONVERTER	
Ivan Lesjak, Gorazd Strniša: PRIMER ZAHTEVNEGA TEMELJENJA OBJEKTA NA ZABITIH BETONSKIH KOLIH . . . . .	34
AN EXAMPLE OF A DELICATE BUILDING FOUNDATION USING DRIVEN PILES	
Günther Bolz: ZAŠČITA VODA V SLOVENIJI . . . . .	45
ZAŠČITA VODA V SLOVENIJI	
In memoriam	
Boris Pukl: BOGDAN GRABNAR, dipl. gr. inž. . . . .	48
Informacije	
Ludvik Trauner: STROKOVNA KNJIŽNICA BINETA LOČIČNIKA JE PRIŠLA V PRAVE ROKE	49
PRIPOROČILA 1 . . . . .	51
Bojan Majes, Janko Logar: UPORABA DEFORMACIJSKIH IZOTAH V ANALIZI KONSOLIDACIJE TAL . . . . .	55
USE OF DEFORMATION ISOTACHES IN THE CONSOLIDATION ANALYSIS OF SOILS	
Zvonko Hribernik, Iztok Leskovar, Jakob Šušteršič: UPORABA MIKROARMIRANEGA BETONA ZA IZVEDBO IN SANACIJO TLAKOV	61
USE OF FIBRE REINFORCED CONCRETE FOR PAVEMENTS	

Center za graditeljstvo:  
Gradbeni center Ljubljana

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



# INŠTITUT ZA METALNE KONSTRUKCIJE – NJEGOVO MESTO IN VLOGA PRI IZGRADNJI, VZDRŽEVANJU IN SANACIJI KOVINSKIH KONSTRUKCIJ

UDK 624.014:061.6

BORIS PUKL

## POVZETEK

Članek obravnava dejavnost Inštituta za metalne konstrukcije Ljubljana (IMK) na raziskovalnem, konstrukcijskem in defektoskopskem področju

THE INSTITUTE FOR METAL STRUCTURES – ITS ROLE IN THE CONSTRUCTION, MAINTENANCE AND RENEWAL OF STEEL STRUCTURES

## SUMMARY

The paper deals with the activities of the Institute for Metal Structures Ljubljana (IMK) in the field of research work, the design of structures and non-destructive testing.

## UVOD

Delovanje Inštituta za metalne konstrukcije sega v začetek petdesetih let. Uradno je bil ustanovljen leta 1955 z odločbo takratne Tehniške fakultete Univerze v Ljubljani kot finančno samostojen zavod. Glavne naloge inštituta so bile teoretične, znanstvene in uporabno-znanstvene raziskave na področju kovinskih konstrukcij ter pospeševanje gospodarske dejavnosti z uvajanjem in preizkušanjem novih vrst konstrukcij.

Povojna obnova porušene domovine je terjala hitre in kakovostne rešitve pri izgradnji novih objektov ter pospešen razvoj znanstveno-raziskovalnega dela. Inštitut za metalne konstrukcije je bil ustanovljen iz takratnih potreb po obnovi ter za reševanje razvojnih nalog v gradbeništvu, energetiki, kovinsko-predelovalni industriji in metalurgiji. Nastanek in razvoj inštituta sta bila tesno povezana s problemi gospodarstva v Sloveniji in nekdanji Jugoslaviji. V okviru svoje dejavnosti je inštitut vseskozi spremljal razvoj znanosti na področju kovinskih konstrukcij ter

reševal praktične razvojne naloge za gospodarske organizacije. Inštitut za metalne konstrukcije je sodeloval pri reševanju številnih problemov in nalog v vseh fazah izgradnje, obratovanja (vzdrževanja) in sanacije različnih kovinskih konstrukcij in objektov. Povezave z gospodarstvom so bile in so še vedno ključnega pomena za strokovni in znanstveni razvoj inštituta.

V prvih letih obstoja je bilo težišče dela usmerjeno na snovanje, projektiranje in kontrolo izdelave zvarjenih jeklenih konstrukcij. Takrat je bilo pri nas varjenje v tehnološkem pogledu novost in je bilo pri praktični uporabi povezano s precejšnjimi težavami. Zato smo na inštitutu pričeli sodelovati s številnimi naročniki na področju uvajanja varilnih tehnologij ter jim svetovali pri snovanju tehnično in tehnološko pravilno izvedenih zvarjenih detajlov. To delo smo opravljali neposredno s projektiranjem različnih konstrukcij oziroma posredno s konzultacijami ter revizijami in kontrolami projektov. V tem času smo opravili številne kontrole izdelave in montaže ter obremenilne preizkušnje montiranih konstrukcij. Med večjimi projekti, ki jih je v tistem času izdelal inštitut, naj omenimo projekta tlačnih cevi Moste in Završnica, projekta rezervoarjev v Splitu in Bakru ter nekaj industrijskih hal, pomembnejše kontrole izdelave in montaže konstrukcij pa so bile: cevovodi HE Moste in HE Završnica, turbinska ohišja in tlačne cevi Jajce I in II, tlačne cevi in hidromehanska oprema HE Jablanica ter tlačne cevi HE Mavrovo.

Avtor:  
Mag. Boris Pukl, dipl. inž. – direktor Inštituta za metalne konstrukcije Ljubljana



Vzporedno s projektiranjem ter kontrolno in svetovalno dejavnostjo je bil ustanovljen laboratorij, kjer smo pričeli preizkušati zvarjene detajle in elektrode ter raziskovati trdnostne in deformacijske lastnosti zvarjenih spojev. Laboratorij, ki je bil sprva lociran v kleti stare tehnike, je predstavljal jedro takratnih raziskav na področju varjenja kot tehnološkega postopka.

Pomembno prelomnico predstavlja leto 1952, ko smo se na inštitutu opremili s prenosnim rentgenskim aparatom, ki je bil eden prvih te vrste v državi. Omogočal je, da smo pričeli opravljati neporušne preiskave zvarjenih spojev v laboratoriju in na terenu. V precejšnji meri je prispeval k dvigu kakovosti izvedbe zvarjenih konstrukcij ter k razvoju varilske tehnologije v tovarnah jeklenih konstrukcij.

Danes je celotna dejavnost inštituta vsebinsko in organizacijsko razdeljena na tri področja: raziskovalno, konstrukcijsko in defektoskopsko. V okviru teh področij je inštitut uspešno reševal številne naloge in še danes opravlja različne dejavnosti, ki so povezane s snovanjem, projektiranjem, izdelavo, montažo, obratovanjem in sanacijo vseh vrst kovinskih konstrukcij in objektov. Te dejavnosti so: raziskovalno delo na področju gradiv in konstrukcij, preiskave in atestiranje osnovnega in dodatnega materiala ter spojnih sredstev, atestiranje varilcev in varilnih postopkov, obremenilne preizkušnje in meritve na področju mehanike konstrukcij, projektiranje vseh vrst kovinskih konstrukcij (idejni in izvedbeni projekti), kontrola izdelave in montaže kovinskih konstrukcij, rekonstrukcije in sanacije dotrajanih in poškodovanih objektov, različne ekspertize in izvedeniška mnenja ter neporušne preiskave materialov in zvarjenih spojev.

## RAZISKOVALNO PODROČJE

Od leta 1958, ko je bila iz takratnega Sklada Borisa Kidriča financirana prva raziskovalna naloga pa vse do danes, je inštitut za metalne konstrukcije opravil številne razvojno-raziskovalne naloge na različnih področjih svoje dejavnosti. Raziskave so bile financirane iz zveznih in republiških skladov ter sofinancirane s strani gospodarskih organizacij. Posamezne razvojne naloge so bile realizirane kot direktna naročila zainteresiranih uporabnikov v gospodarstvu. Finančni viri za razvojno-raziskovalno delo že vrsto let predstavljajo približno 20–25 % vseh prihodkov inštituta.

Prva večja raziskovalna naloga je bila Sistematična raziskava plastičnih lastnosti domačih jekel in aplikacija teorije plastičnosti za dimenzioniranje konstrukcij. Kasneje so se raziskave nadaljevale s preučevanjem možnosti uporabe teorije plastičnosti za računanje okvirnih konstrukcij. Sledile so sistematične raziskave domačih jekel in domačih Al-zlitin ter sistematične raziskave domačih elektrod. Namen teh raziskav je bil uvajanje sodobnih metod preizkušanja kovinskih gradiv, klasifikacija domačih materialov in njihova primerjava z inozemskimi. Izsledki raziskav pa so predstavljali tudi osnovo za pripravo in izdelavo predpisov za nosilne jeklene konstrukcije.

Pomembno in obsežno delo je bilo sodelovanje pri izdelavi tehničnih predpisov za nosilne jeklene konstrukcije. Pripravo tehničnih predpisov je financiral Zvezni center za

gradbeništvo, delo pa je bilo opravljeno v letih 1958–1962. V letih 1964 in 1965 so bili ti predpisi objavljeni v Uradnem listu SFRJ in s tem postali uradno veljavni. Na Inštitutu za metalne konstrukcije so bili izdelani naslednji predpisi:

- Splošni predpisi za nosilne jeklene konstrukcije,
- Kovičene in vijačene jeklene konstrukcije,
- Zvarjene jeklene konstrukcije,
- Kvaliteta zvarjenih spojev,
- Ležišča in členki,
- Spoji s prednapetimi vijaki (torni spoji),
- Lahke jeklene konstrukcije,
- Tolerance mer in oblike pri jeklenih konstrukcijah,
- Stabilnost nosilnih jeklenih konstrukcij,
- Vpliv vetra na konstrukcije,
- Enostavne konstrukcije zgradb,
- Sovprežne konstrukcije,
- Pregled in preizkušanje nosilnih jeklenih konstrukcij,
- Vzdrževanje nosilnih jeklenih konstrukcij med eksploatacijo.

Sodelovanje pri izdelavi tehničnih predpisov nedvomno predstavlja pionirsko delo, ki dokazuje visoko strokovno usposobljenost sodelavcev inštituta ter potrjuje njihove bogate praktične izkušnje. Delo pri pripravi tehnične regulative je nudilo tudi odlično priložnost za seznanjanje s tujimi predpisi in z različno literaturo.

V okviru izdelave tehničnih predpisov za nosilne jeklene konstrukcije so bile opravljene raziskave tornih spojev z domačimi materiali. Kasneje so bile te raziskave razširjene na raziskave spojev pri posebnih pogojih (vlaga, slabi pogoji za čiščenje, visoka temperatura – požar, upogibna obremenitev spojev). Opravljene so bile tudi raziskave valjčnih ležišč ter raziskave statične nosilnosti kotnih zvarov z različnimi parametri. Pomembne so bile tudi raziskave nosilnosti zvarjenih spojev: preiskave strižne odpornosti kotnih zvarov, preiskave torzijsko obremenjenega čelnega priključka I-nosilcev s kotnimi zvari in raziskave spojev, izvedenih s kombiniranimi kotnimi zvari.

V preteklih letih so bile opravljene številne varilno-tehnološke raziskave, katerih izsledki so bili pomembni pri izgradnji in vzdrževanju termoenergetskih objektov (Toplarna Ljubljana, TE Trbovlje), plinovodov, pri izgradnji tlačnih cevi hidrocentral (HE Mavrovo), itd. Med pomembnejšimi naj omenimo raziskave pokljivosti zvara v vročem, raziskave vpliva gnetenja na mehanske lastnosti zvara, raziskave varilnosti specialnih jekel in raziskave preostalih napetosti po varjenju.

Že v prvih letih delovanja smo na inštitutu ustanovili skupino za teoretične raziskave, ki je pričela uvajati sodobne računske metode za analizo konstrukcij. Te raziskave je financiral Sklad Borisa Kidriča in Zvezni sklad za znanstvene raziskave. Pomembnejše naloge, ki jih je opravila ta skupina, so bile: osnovne diferencialne enačbe v elasto-plastičnem področju, dvodimenzionalna analiza napetosti in deformacij v elasto-plastičnem področju, računanje prostorskih paličnih konstrukcij s pomočjo elektronskega računalnika, računanje anizotropnih plošč z elektronskim računalnikom, uklon grednih nosilcev, računanje prostorskih vravnih sistemov in računanje poljubno podprtih



neprekinjenih nosilcev z metodo končnih elementov. Med novjšimi raziskavami na tem področju lahko omenimo nelinearno analizo konstrukcij, račun plošč po nelinearni teoriji, primer postkritičnega obnašanja tanke profilirane pločevine in najnovejše raziskave mejnih stanj konstrukcij.

V zadnjih petih letih smo opravili pomembne eksperimentalne in analitične raziskave na področju mehanike loma. S pomočjo sodobne opreme smo pričeli raziskovati lomomehanske karakteristike domačih visokovrednih jekel: lomna žilavost  $K_{IC}$ , J-integral in hitrost širjenja razpoke  $da/dN$ . Namen teh raziskav je uvajanje sodobnih eksperimentalnih metod za ocenjevanje lastnosti materialov ter za analizo obnašanja kritičnih prevezov konstrukcij z razpoko pri cikličnih obremenitvah.

Trenutno sta v teku dve večji raziskovalni nalogi, in sicer: Razvoj in uvajanje visokotrnostnih mikrolegiranih jekel za uporabo v procesni industriji in gradbeništvu ter Sodobne metode revitalizacije jeklenih cestnih in železniških mostov.

Na področju neporušnih preiskav materialov smo z ustanovitvijo centra za defektoskopijo pričeli z raziskavami, katerih namen je bil, da pridobimo izkušnje na teoretičnem in praktičnem področju za uspešno strokovno delo. Prva raziskovalna naloga je bila Preučevanje možnosti zaznavanja napak v industrijski radiografiji s posebnim poudarkom na radioaktivnih izotopih. Te raziskave so bile osnova za predloge standardov na področju industrijske radiografije. Nadalje smo še raziskovali zaznavnost razpok glede na stopnjo in orientacijo napak ter glede na tehniko pregledov.

Sledile so raziskave tehnike radiografiranja barvnih kovin; obdelani so bili problemi določanja obsega radiografskih pregledov in kriteriji za ocenjevanje radiogramov na laboratorijsko izdelanih spojih z napakami. Nadaljnji program raziskav na tem področju je bil usmerjen na radiografijo debelih elementov ter na izpopolnjevanje in razširjanje radiografske tehnike in drugih metod na področju neporušnih preiskav (ultrazvok, magnetoskopske metode, metode na osnovi vrtničnih tokov in druge).

Pri delu z radioaktivnimi izotopi smo samostojno razvili lastne naprave, in sicer za  $Co60$  10 Ci z daljinskim upravljanjem in zvezno spremenljivo širino snopa ter za  $Ir$  192 do 20 Ci prenosno napravo z dvema različnima širinama snopa.

Raziskovalno delo na inštitutu je imelo in ima velik pomen za strokovni razvoj lastnih kadrov. Omogočalo nam je, da smo stalno spremljali razvoj znanosti na različnih področjih dejavnosti inštituta ter da smo izsledke domačih in tujih raziskav uspešno prenašali v domačo prakso. V okviru raziskovalnega dela smo osvojili sodobne metode preizkušanja materialov, spojin sredstev, elementov in konstrukcij. Uvajali smo različne merske metode, izpopolnjevali obstoječe ter razvijali nove za vse vrste meritev na področju mehanike materialov in konstrukcij. Danes opravljamo na inštitutu preiskave in testiranja osnovnih mehanskih lastnosti kovinskih materialov po domačih in inozemskih standardih ter atestiramo varilce in postopke varjenja po domačih in tujih normah. Inštitut za metalne konstrukcije je pooblastil Zvezni zavod za standardizacijo za preiskave vijačnih spojev in veznih elementov v skladu

z zvezno odredbo o obveznem atestiranju vijakov, matic in podložk, ki se vgrajujejo v nosilne jeklene konstrukcije.

## KONSTRUKCIJSKO PODROČJE

Pomembna dejavnost inštituta je konstrukcijsko področje, kjer smo sodelovali pri projektiranju, izgradnji, rekonstrukciji in sanaciji številnih objektov. V ta okvir spadajo tudi kontrole izdelave in montaže ter preiskave in periodični pregledi jeklenih konstrukcij.

Na IMK so bili izdelani projekti za rekonstrukcije številnih jeklenih cestnih in železniških mostov v Sloveniji. Te rekonstrukcije so bile posledica modernizacije na področju cestnih gradenj in zahtev po večji nosilnosti železniških mostov zaradi povečanih osnih pritiskov. Med pomembnejšimi izvedbami naj omenimo rekonstrukcijo cestnega mostu čez Savo v Črnučah, rekonstrukcijo cestnega mostu čez Krko v Novem mestu ter rekonstrukcije železniških mostov na progah Celje–Dravograd, Pragersko–Središče in Maribor–Prevalje. Rekonstrukcije in sanacije mostnih konstrukcij so praviloma obsegale več faz, in sicer: pregled stanja konstrukcije, odvzem materiala za preiskave mehanskih lastnosti, žilavosti in dinamične trdnosti, eventualni posnetek konstrukcije (kjer dokumentacija ni obstajala), izdelava statične kontrole konstrukcije glede na dejansko nastopajoče obtežbe ter predlog sanacije z morebitnimi ojačitvami.

V lanskem letu smo sodelovali pri sanaciji železniškega mostu čez Krko v Novem mestu in železniškega mostu čez Soro v Medvodah. Tu je inštitut sodeloval v vseh fazah sanacije od pregleda obstoječe konstrukcije do končne izvedbe.

Idejni in izvedbeni projekti novih cestnih in železniških mostov predstavljajo pomembna dela na konstrukcijskem področju. Uspešno so bili realizirani projekti sodobnih cestnih mostov z ortotropno ploščo in sovprežnih mostnih konstrukcij s prednapeto betonsko ploščo, prav tako pa tudi zvarjenih mostnih konstrukcij. Med pomembnejšimi naj omenimo objekte na gorenjski avtomobilski cesti (viadukt Peračica, viadukt Ljubno, viadukt Završnica), zvarjeni železniški most čez Savo v Litiji, železniški most preko Pake pri Šoštanju na progi Celje–Velenje, viadukt Ravbarkomanda – varianta premostitve z jeklenimi sovprežnimi nosilci, železniški podvoz v Postojni na avtomobilski cesti Vrhnika–Postojna, cestni most čez Dravo pri Ruti, železniška mostova čez reko Pako na progi Celje–Velenje, cestna mostova v Batujah in Črnomlju, idejni projekt za cestni most čez Savo v Hrastniku, projekt viadukta Škedenj na avtocesti Hoče–Levec, projekt mostu čez Savo v Kranju, idejni projekt za dvoetažni cestni most čez Dravo v Mariboru, sovprežni mostovi v Tacnu, Bohinjski Beli, Obrniah in Kranju.

Pomembni so tudi projekti športnih, poslovnih in industrijskih objektov, ki so bili izdelani na inštitutu. Najbolj reprezentativna objekta te vrste sta športna dvorana Tivoli v Ljubljani (prva nagrada na natečaju) in modna hiša v Osijeku, katere projekt je prejel več nagrad za arhitektonsko izvedbo, med drugim tudi za originalno izvedbo jeklene konstrukcije. Omenimo še nekaj pomembnejših projektov tovrstnih konstrukcij: dvorana III za tovarno



gospodinske opreme Gorenje, dvorani za remont kamionov v Ljubljani in Celju, dvorana Kemofarmacija v Ljubljani, večetažne jeklene okvirne konstrukcije (Elektrokorund Ruše, Tovarna metanola v Lendavi, separacije gramoza in peska v Ljubljani, Mostarju, Banja Luki in Čačku), jeklene konstrukcije kotlovnice v TE Šoštanj III in IV, jekleni konstrukciji objektov Mlekarne v Murski Soboti in Banja Luki, hladna valjarna Železarne Jesenice, jeklene konstrukcije za centralno zimsko kopališče v Ljubljani, šolski center združenih šol Tolmin, športna dvorana v Tolminu, jeklena konstrukcija visokoregalnega skladišča v Papirnici Vevče, jeklena konstrukcija hale EŽP v Železarni Ravne, hala jeklolivarne v Železarni Ravne, hala visokoregalnega skladišča za tovarno Julon v Ljubljani, jeklena konstrukcija visokoregalnega skladišča ETA Cerčno itd.

Na Inštitutu smo projektirali nosilne konstrukcije večjega števila antenskih in razglednih stolpov različnih višin. Pomemben projekt smo izdelali za 52 m visok antenski stolp na Krimu, ki je zasnovan kot palični nosilec s prekrizanimi diagonalami. Podobno zasnovo ima antenski stolp na Boču, le da je nekoliko nižji (32 m). Antenski stolp na Plešivcu, katerega jekleni del je visok 43,5 m, je bil postavljen leta 1977. Nosilna jeklena konstrukcija je polnostenske cevne izvedbe s premerom cevi 1,4 m. Med večjimi projekti tovrstnih konstrukcij omenimo še antenske stolpe v Mariboru, Murski Soboti, Lendavi in Novem mestu, nosilno konstrukcijo oddajnega stolpa na objektu TV centra v Ljubljani in tipski srednjevalovni antenski stolp. Vse našete konstrukcije imajo višino 15–20 m.

Vzporedno s projektiranjem konstrukcij smo na inštitutu opravljali kompleksne kontrole kakovosti vseh faz izgradnje objektov. Te kontrole obsegajo pregled in oceno projekta, definiranje tehničnih zahtev, kontrolo izdelave in montaže, kontrolo osnovnega materiala in spojnih sredstev ter obremenilno preizkušnjo. Danes opravljamo kontrole izdelave in montaže vseh pomembnejših konstrukcij in objektov širom po Sloveniji in zunaj nje.

## DEFEKTOSKOPSKO PODROČJE

Zvezna komisija za nuklearno energijo je leta 1958 poverila inštitutu ustanovitev centra za defektoskopijo, ki je bil eden izmed štirih takrat formiranih centrov v Jugoslaviji. Ta uspeh je bil posledica dotedanjega dela in ugleda, ki ga je inštitut že imel na področju neporušnih preiskav, saj smo že leta 1952 nabavili prenosni rentgenski aparat, takrat enega prvih te vrste v državi. Z uradno ustanovitvijo centra smo razširili defektoskopsko dejavnost na uporabo radioaktivnih izotopov. Naloge in dejavnost centra so bile usmerjene v razvijanje defektoskopskih metod, v praktično uporabo neporušnih preiskav za potrebe številnih naročnikov ter v vzgojo kadrov na področju defektoskopije.

Takrat pri nas še razmeroma nova dejavnost je zahtevala stalno izpopolnjevanje in študij metod preizkušanja z namenom, da bi jih lahko čim bolj smotrno in pravilno

uporabljali. Zato smo vseskozi spodbujali raziskovalno delo na področju radiografije. Raziskave so bile usmerjene k izpopolnjevanju tehnik radiografiranja, da bi odkrili kar največ napak. Rezultat tega dela je bil tudi lastni razvoj specifične opreme.

Obseg dela centra za defektoskopijo se je iz leta v leto povečeval. Od ustanovitve pa do danes smo opravili številne preiskave na različnih konstrukcijah in objektih doma in v tujini. Sodelovali smo pri izgradnji velikih termoelektrarnah (TE Šoštanj I, II, III, TE Kosovo I, II, Toplarna Ljubljana, TE Trbovlje II) ter pri izgradnji objektov za naftno industrijo in petrokemijo (Refinerija nafte Rijeka, nova refinerija na Urinju, razširitev refinerije nafte v Bosanskem Brodu, skladišča PETROL v Kopru, skladišča in prečrpališča Jugopetrola v Baru, objekti kemične industrije OKI v Zagrebu, slovenski plinovod itd.). Poleg del, ki smo jih opravljali pri izgradnji objektov, smo redno sodelovali pri remontih in sanacijah občasnih okvar v termoelektrarnah. Pri preiskavah smo glede na potrebe uporabljali različne metode neporušnih preiskav od radiografskih metod, ultrazvoka, magnetofluksa do penetran-tov. Preiskave niso bile omejene samo na odkrivanje napak, ampak tudi na njihovo vsestransko presojo glede sprejemljivosti za določeno vrsto materiala in tip konstrukcije.

Pomembna naloga centra za defektoskopijo je bila tudi izobraževanje in vzgoja kadrov. Na inštitutu smo prirejali različne tečaje na področju defektoskopije in industrijske radiografije za številne udeležence iz vse države.

## SKLEP

V prispevku smo prikazali glavne dejavnosti Inštituta za metalne konstrukcije. Omenili smo samo najpomembnejše raziskave in projekte, ki smo jih izdelali v preteklem obdobju. V skoraj štiridesetih letih obstoja inštituta so njegovi sodelavci opravili prek 20.000 nalog, projektov, študij in ekspertiz.

Danes ima inštitut 53 zaposlenih (stanje 31. 12. 1991), od tega 22 s fakultetno izobrazbo (pet sodelavcev ima dokončan magisterij). Izobraževanju kadrov na vseh stopnjah namenjamo stalno skrb in veliko pozornost. Zavedamo se, da je poleg dobrih kadrov pomembna tudi oprema za kakovostno raziskovalno in strokovno delo. Prav zaradi tega stalno obnavljamo potrebno opremo v laboratoriju za mehanske preiskave in v centru za defektoskopijo. Danes, v času gospodarske recesije, pa nam to čedalje težje uspeva.

V prihodnje želimo obdržati in še izboljšati kakovost našega dela, s katero so, upamo, naši naročniki do sedaj bili zadovoljni. Glavna naloga in cilj naših prizadevanj v prihodnje bo pridobiti mednarodno priznana pooblastila za tiste preiskave s področja naše dejavnosti, za katere po opremljenosti in kadrovski strukturi izpolnjujemo pogoje.



# OBNAVLJANJE IN SANIRANJE JEKLENIH NOSILNIH KONSTRUKCIJ

UDK 693.8.059.25

ČRTOMIR REMEC, TOMAŽ ROJC

## POVZETEK

Prispevek opozarja na pomen podaljševanja trajnosti jeklenih konstrukcij s pomočjo njihovega obnavljanja in saniranja. Pri tem daje poseben poudarek vrednotenju ekonomskega učinka takega posega. Na kratko so obravnavane tudi naloge pri izvedbi sanacijskih del. Prikazana sta dva primera sanacije jeklenih konstrukcij. Prvi obravnava sanacijo športne hale Tivoli v Ljubljani, drugi pa opisuje obnovo jeklenega železniškega mostu čez Soro v Medvodah.

## RECONSTRUCTION AND RENEWAL OF STEEL STRUCTURES

## SUMMARY

The article points out the importance of the interventions such as reconstructions and renewal of structures for extending of their durability. Economic consequences are studied as well. The main activities of the such interventions are shortly discussed. Two examples of renewal are presented. The first one describes the renewal of Tivoli sport hall in Ljubljana and the second one treats the repair of the rail steel bridge over Sora river in Medvode.

## 1. UVOD

Z zgraditvijo in predajo objekta v uporabo se prične zanj novo obdobje, v katerem je potrebno posvetiti pozornost vzdrževanju in ohranjanju fizične sposobnosti za rabo svojemu namenu. Posebno mesto zavzemajo pri tem nosilne jeklene konstrukcije, ki so velikokrat sestavni del pomembnejših objektov, kot na primer mostovi večjih razpetin, industrijske hale, večnamenske dvorane, skladišča in tudi drugi objekti, pri katerih je zaželena večja prilagodljivost trenutnim potrebam uporabnika. Ker je v Sloveniji sorazmerno veliko tovrstnih konstrukcij različnih starosti, je jasno, da ne smemo pri tem zanemarjati problemov, ki se pojavljajo pri njihovem vzdrževanju. Za ta namen se tudi bolj ali manj koristno porabljajo finančna sredstva. Skrb za preverjanje zanesljivosti konstrukcij se zakonsko zahteva z različnimi tehničnimi predpisi in pravilniki. Tako je na primer predpisan obseg in pogostnost pregledov konstrukcij, za razne bolj posebne objekte pa so podana tudi navodila za izvajanje teh pregledov. Mnogi objekti so namreč preveč pomembni, da bi njihovo vzdrževanje lahko prepustili samo naključnim odločitvam bolj ali manj skrbnega upravljalca.

Temeljni namen vzdrževanja je ohranjanje uporabnosti in primerne varnosti konstrukcij, ki so zaradi škodljivih vplivov okolice, atmosferskih razmer, prometne obtežbe in načina uporabe izpostavljene propadanju. To velja za vse obstoječe konstrukcije, tudi za tiste, ki so bile projektirane in izvedene po vseh pravih takratne tehnične zakonodaje in pri katerih so bile upoštewane takrat strokovno uveljavljene rešitve. Zavedati se namreč moramo, da tako stroka kot znanost v posameznih obdobjih ni razrešila vseh problemov in da v mnogih primerih ni tega zmožna tudi dandanes. Tako se ne moremo na primer izogniti procesu propadanja materialov zaradi atmosferskih razmer in vedno bolj agresivnega okolja. Poleg tega ne moremo za konkretni objekt predvideti vseh mehanskih obremenitev, ki v znatni meri povzročajo to propadanje in ki predstavljajo enega izmed temeljnih dejavnikov pri določanju varnosti konstrukcije. Nazadnje so tu še konstrukcijski detajli in tehnologije izdelave, ki zaradi vnešenih dodatnih mehanskih in drugih vplivov pospešujejo propadanje konstrukcij. Jasno je, da imajo pri vsem tem odločujočo vlogo tudi ekonomski in drugi razlogi, zaradi katerih ne gradimo objektov za daljše obdobje.

Propadanje in vzdrževanje inženirskih konstrukcij je obči problem, ki lahko zahteva znatne stroške in povzroča precej težav tako industriji kot javnosti. Zaradi propadanja konstrukcij se zmanjšuje njihova varnost, posledno pa je s tem ogrožena tudi njihova uporabnost. Seveda pa je intenzivnost propadanja odvisna od vzdrževanja objektov, ki ga vsak dober gospodar in projektant predvidita že s

*Avtorja:*  
mag. Črtomir Remec, dipl. inž., vodja konstrukcijskega oddelka  
mag. Tomaž Rojc, dipl. inž.  
Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana, Mencigerjeva 7



projektom. V mnogih primerih namreč ne zadošča samo tako imenovano funkcionalno vzdrževanje objekta, ki obmožja njegovo stalno uporabo, ampak je potrebno v to vključiti še dodatne aktivnosti, s katerimi preprečujemo, da bi varnost konstrukcije zdrsnila pod mejo, ki še zagotavlja njeno zanesljivost. Ena izmed teh aktivnosti je že prej omenjeno pregledovanje, ki predstavlja tudi osnovo za vse nadaljnje ukrepe in odločitve. Zaradi izredne pomembnosti je pregledovanje zakonsko obvezno za vse gradbene konstrukcije, in kar je najpomembnejše, zakonsko so predpisani tudi časovni intervali med posameznimi pregledi in minimalna vsebina teh pregledov. Propadanje konstrukcij je namreč proces, ki ga je potrebno v okviru ustreznega časovnega programa pregledovanja stalno nadzirati. Temeljni namen takega programa pregledov je, da z odkrivanjem, beleženjem in spremljanjem poškodb ugotovljamo stanje nosilne konstrukcije objekta, s presojo poškodb pa podajamo tudi ustrezno oceno o trenutni kakovosti opazovane konstrukcije. Te ocene so podlaga za nadaljnje ukrepanje, to je za razširitev programa opazovanja, za začasno ali stalno omejitev uporabe objekta, za popravila ali sanacijo nosilnih jeklenih konstrukcij ali tudi za prepoved uporabe objekta in za njegovo zamenjavo. Zadnji ukrep pride redkokdaj v poštev in se raje odločimo za popravilo in sanacijo konstrukcije. Ta dva ukrepa sta najpogostejša načina fizičnega vzdrževanja objektov in bosta zaradi pomembnosti predmet razprave nadaljevanja tega prispevka.

## 2.0. UPRAVIČENOSTI SANACIJE KONSTRUKCIJ

Temeljni namen sanacije je poleg povečanja izgubljene začetne varnosti konstrukcije tudi zmanjšanje nadaljnje hitrosti njenega propadanja. Učinek sanacije je v primerjavi z običajnimi vzdrževalnimi deli in popravili razviden iz diagrama na sliki 1. Očitno je, da s pomočjo sanacije lahko bistveno podaljšamo življenjsko dobo objekta, vendar je potrebno pri tem upoštevati tudi ekonomsko učinkovitost. Zato se moramo za sanacijo konstrukcij odločati tudi na podlagi skrbne ekonomske analize. Iz primera na omenjeni sliki je razvidno, da je sanacija upravičena, če so njeni stroški nižji od vrednosti treh popravil. Glede na dejstvo, da običajno večji del stroška popravil predstavljajo pripravljalna in pomožna dela, je jasno, da lahko v mnogih primerih dosežemo večji končni ekonomski učinek prav s sanacijo konstrukcije. Ne glede na to pa je sanacija nujna v tistih primerih, pri katerih se kmalu po izgradnji pokaže neustrezna projektna rešitev, ki neposredno ogroža uporabnost objekta ali pa povzroča njegovo hitrejšo propadanje.

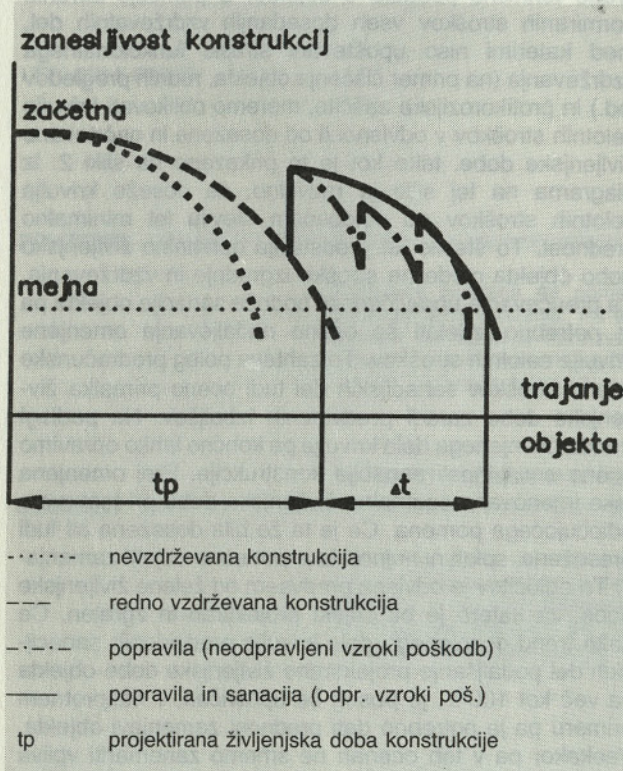
Upravičenost sanacije konstrukcije vrednotimo z ocenjevanjem ekonomskega učinka v odvisnosti od zelene življenjske dobe objekta. Za ta namen potrebujemo podatke o stroških ali ceni novega objekta in o vseh dosedanjih vzdrževalnih delih vključno z njihovo časovno razporeditvijo. Vse te podatke je potrebno normirati glede na vrednost novega objekta, seveda v pripadajočem času, da izločimo variacijo vrednosti denarja. Ker moremo v obdobju nekega objekta pričakovati tudi njegove funkcionalne spremembe, na primer v uporabni kvadraturi, je

potrebno pri normiranju omenjenih stroškov upoštevati tudi take podatke. Vse omenjene podatke bi moral sproti zbirati upravljavec objekta in jih shranjevati tako kot vse druge tehnične podatke o objektu. S pomočjo zbranih normiranih stroškov vseh dosedanjih vzdrževalnih del, med katerimi niso upoštevani stroški funkcionalnega vzdrževanja (na primer čiščenja objekta, rednih pregledov ipd.) in protikorozijske zaščite, moremo oblikovati krivuljo celotnih stroškov v odvisnosti od dosežene in načrtovane življenjske dobe, tako kot je to prikazano na sliki 2. Iz diagrama na tej sliki je razvidno, da doseže krivulja celotnih stroškov po določenem številu let minimalno vrednost. To število let predstavlja optimalno življenjsko dobo objekta glede na stroške izgradnje in vzdrževanja. Za preučevanje upravičenosti bodoče sanacije objekta pa je potrebno izdelati še oceno nadaljevanja omenjene krivulje celotnih stroškov. To zahteva poleg predračunske ocene stroškov sanacijskih del tudi oceno prirastka življenjske dobe zaradi predvidenih izboljšav. Na podlagi trenda ocenjenega dela krivulje pa končno lahko opravimo oceno smiselnosti sanacije konstrukcije. Prej omenjena tako imenovana optimalna življenjska doba pri tem nima odločujočega pomena. Če je ta že bila dosežena ali tudi presežena, sploh ni nujno, da je potrebno objekt zamenjati. Ta odločitev je odvisna predvsem od zelene življenjske dobe, za katero je bil objekt projektiran in zgrajen. Če kaže trend ocenjenega dela krivulje predvidenih sanacijskih del podaljšanje projektirane življenjske dobe objekta za več kot 100 %, je poseg še upravičen, v nasprotnem primeru pa je potrebno dati prednost zamenjavi objekta. Vsekakor pa v teh ocenah ne smemo zanemariti vpliva funkcionalne trajnosti, ki je pri določenih objektih lahko odločujoča.

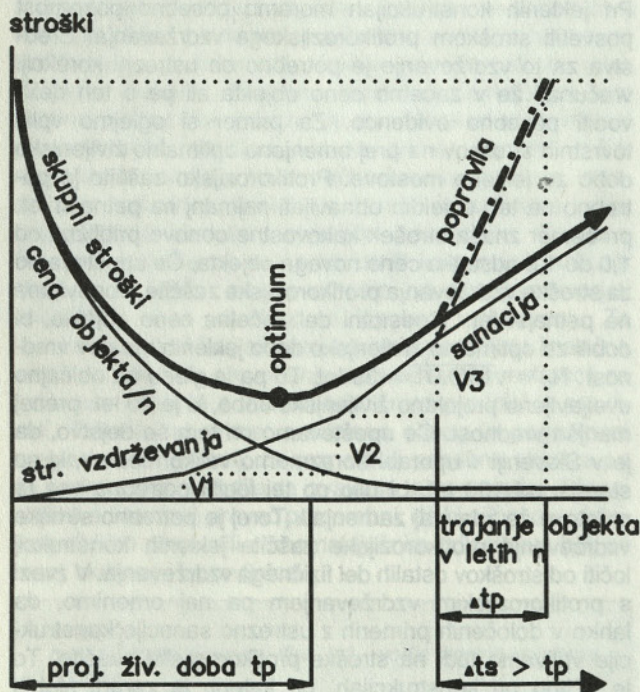
Pri jeklenih konstrukcijah moramo posebno pozornost posvetiti stroškom protikorozijskega vzdrževanja. Sredstva za to vzdrževanje je potrebno ob ustrezni korekciji vračunati že v začetno ceno objekta ali pa o teh delih voditi posebno evidenco. Za primer si oglejmo vpliv tovrstnih stroškov na prej omenjeno optimalno življenjsko dobo za jeklene mostove. Protikorozijsko zaščito je potrebno na teh objektih obnavljati najmanj na petnajst let, pri čemer znaša strošek kakovostne obnove približno od 1,0 do 1,8 odstotka cene novega objekta. Če upoštevamo za stroške vzdrževanja protikorozijske zaščite, obnavljane na petnajst let, 1 odstotni del začetne cene objekta, bi dobili za optimalno življenjsko dobo jeklenih mostov vrednost:  $N_0 = \sqrt{15/0.01} = 39$  let. To pa je glede na običajno uveljavljeno projektno življenjsko dobo, ki je 70 let, precej manjša vrednost. Če upoštevamo pri tem še dejstvo, da je v Sloveniji v uporabi sorazmerno veliko mostov, ki so starejši od 100 let, bi bilo po tej logiki potrebno vse te mostove že zdavnaj zamenjati. Torej je potrebno stroške vzdrževanja protikorozijske zaščite jeklenih konstrukcij ločiti od stroškov ostalih del fizičnega vzdrževanja. V zvezi s protikorozijskim vzdrževanjem pa naj omenimo, da lahko v določenih primerih z ustrezno sanacijo konstrukcije vplivamo tudi na stroške protikorozijske zaščite. To je očitno pri konstrukcijah, pri katerih je zaradi slabih konstrukcijskih rešitev korozijsko propadanje intenzivnejše. Tehničnih možnosti za izboljšave obstoječih jeklenih



konstrukcij ob upoštevanju ekonomske učinkovitosti je vsekakor veliko. Več o tem pa je napisano v naslednjih točkah.



Slika 1: Krivulja zanesljivosti objekta v odvisnosti od trajanja.



Slika 2: Krivulja celotnih stroškov objekta v odvisnosti od njegovega trajanja.

### 3. FAZE PRI IZVEDBI SANACIJSKIH DEL

Sanacije konstrukcij si v splošnem predstavljamo kot izredno drage posege, ki jih izvršimo samo v redkih primerih. Vendar pri jeklenih konstrukcijah to pogosto ne drži. Pri njih so namreč stroški sanacije v primerjavi z vrednostjo celotnega objekta velikokrat precej nižji še zlasti, če upoštevamo, da je njen učinek lahko sorazmerno visok. Seveda pa je za to potrebna izdelava ustreznega predloga in tudi kakovostna izvedba. Dva primera uspešnih sanacij bosta prikazana v zadnji točki tega prispevka, tu pa bomo na kratko preleteli naloge, ki so potrebne pri načrtovanju in izvedbi sanacijskega projekta.

Posamezne naloge pri izvedbi sanacijskih del in popravi jeklenih konstrukcij moremo kronološko razvrstiti takole:

- 1) pregled obstoječe tehnične dokumentacije o objektu in priprava programa za pregled objekta.
- 2) pregled konstrukcij z odkrivanjem poškodb in ugotavljanjem vzrokov,
- 3) vrednotenje stanja obstoječe konstrukcije z ugotavljanjem dejanske varnosti nosilnih elementov,
- 4) določitev obsega popravil in sanacije,
- 5) izbira načina in tehnoloških postopkov ob upoštevanju zmožnosti potencialnih izvajalcev del,
- 6) izdelava projektne dokumentacije z oceno ekonomske učinkovitosti predvidenih popravil in sanacije,
- 7) izbira najprimernejšega izvajalca ali izvajalcev del in končno
- 8) izvedba sanacije ob skrbnem in dobro organiziranem nadzoru in sodelovanju projektanta.

Prve tri naloge predstavljajo aktivnosti, ki jih običajno opravimo že v okviru stalnega vzdrževalnega programa z nekoliko drugačnejšo vsebino. Pri takih pregledih se namreč ne ukvarjamo z odkrivanjem vzrokov poškodb, saj je njihov cilj samo ocena stanja konstrukcije. Če obstoji dvom o zanesljivosti nosilne konstrukcije, pa je smiselno vključiti tudi to aktivnost. V praksi se take okoliščine pojavijo v primeru že vidnih poškodb na konstrukciji, zapaženih pri rednem pregledu (razpoke v materialu, močne oslabitve prerezov nosilnih elementov zaradi korozije, deformirani deli konstrukcije, opazni premiki podpor ipd.), ko nastopijo problemi v zvezi s funkcionalnim obratovanjem objekta (na primer težave pri vožnji mostnih dvigal v industrijskih dvoranah, opazne vibracije konstrukcij ipd.) ali zaradi vestnosti upravljavca objekta pri zagotavljanju njegove zanesljivosti. Zadnji primer je največkrat posledica dobro organizirane vzdrževalne službe, ki upravlja z javnimi objekti, kot so na primer cestni in železniški mostovi, objekti zvez in telekomunikacij ter energetske objekti ali z drugimi za javnost pomembnimi objekti (na primer športne dvorane, trgovska poslopja ipd.). Skrb za varnost objektov je namreč zelo odgovorna naloga, zlasti takrat, kadar se od njih zahteva popolna zanesljivost.

Za uspešnost popravil in sanacijskih posegov so izredno pomembne aktivnosti pri odkrivanju poškodb in ugotavljanju vzrokov za njihov pojav. S pravočasnim odkrivanjem poškodb in njihovih vzrokov moremo preprečiti marsikatero nezaželeno posledico ali celo nesrečo. Tako lahko s pravočasnimi popravili in sanacijskimi posegi prepreču-



jemo nastanek novih poškodb in hitreje propadanje konstrukcij. Trajnost rešitve kakega problema s takimi posegi pa je odvisna predvsem od pravilne ocene vzroka ali vzrokov za pojav že odkrite poškodbe. Od tega je odvisna tudi ocena podaljšanja življenjske dobe objekta in ekonomske učinkovitosti sanacije. Zato je potrebno v okviru priprav na izdelavo sanacijskega predloga posvetiti posebno pozornost ugotavljanju vzrokov poškodb.

#### 4.0. PRIMERI

Tu bosta prikazana dva primera uspešno izvedenih sanacij konstrukcij popolnoma različne namembnosti. Sanacija jeklene konstrukcije Hale Tivoli je primer, kjer gre za večnamensko dvorano, v kateri so se med 25-letnim obratovanjem zvrstile številne pomembne prireditve in katere varnost ne sme biti vprašljiva. V drugem primeru pa bo prikazana sanacija jeklenega železniškega mosta čez Soro v Medvodah. Koliko nevšečnosti lahko povzroči omejitve hitrosti na delu proge, v našem primeru zaradi poškodovanega mosta, vedo samo prometniki. V obeh primerih bodo predstavljene aktivnosti, ki so nujne za učinkovito izvedbo sanacije.

#### 4.1. HALA TIVOLI

V novembru 1990 smo od upravljalca objekta Zavoda Tivoli dobili naročilo za ugotovitev dejanskega stanja jeklene konstrukcije po 25 letih obratovanja in izdelavo izvedbenega projekta popravil in sanacije ob upoštevanju vseh veljavnih predpisov.

Glavni nosilci v rastru 10,35 m so palične konstrukcije razpetine 67 m s previsom 2,5 m na eni in 10,05 m na drugi strani (sl. 3). Montažni stiki pasov so izvedeni z dvostriznimi tornimi priključki z visokovrednimi prednapetimi vijaki kvalitete 10.9. V osi A so nosilci podprti s 4 m visokimi nihajnimi stebri, v osi B pa z 12 m visokimi stebri, ki so v vzdolžni smeri nihajni, v prečni pa skupaj s tribunskimi oporami delujejo kot dvočlenski okvir, ki prevzame vse horizontalne obtežbe v prečni smeri. V vzdolžni smeri prevzamejo vse horizontalne obtežbe portali in srednjih dveh poljih nosilnih sistemov v oseh A in B (sl. 4).

##### 4.1.1. Ugotavljanje stanja konstrukcije

Pri detaljnem vizualnem pregledu jeklene konstrukcije smo zabeležili določene poškodbe in pomanjkljivosti, ki so izvirale še iz izdelave in montaže ali pa so nastale med obratovanjem. Poškodbe protikorozijske zaščite so bile ugotovljene na več mestih. Izrazitejša korozijske poškodbe so bile opažene predvsem na notranjih površinah koritastih spodnjih pasov glavnih nosilcev, kjer je zastajala voda kot posledica kondenza in občasnega zamakanja.

Posebno pozornost smo posvetili ugotavljanju stanja montažnih prednapetih tornih spojev. Preverili smo privojne momente na 450 naključno izbranih VV prednapetih vijakih od skupno okoli 30.000 vgrajenih vijakov te vrste. Vsi izmerjeni privojni momenti so bili v okviru dopustnih odstopanj od preverjenih nazivnih vrednosti. Vse prednapete torne spoje smo tudi natančno pregledali in nismo

opazili, da bi kateri od njih popustil oziroma zdrsnil. Za potrditev zgornjih ugotovitev smo izvršili še meritve povosov glavnih nosilcev v oseh 1, 2, 5 in 10 pri stalni obtežbi. Primerjava dobljenih rezultatov z meritvami po končani montaži l. 1965 in računskimi vrednostmi je prikazana na sliki 5. Pri nosilcih v oseh 1, 2 in 10 se meritve dokaj dobro ujemajo (+ 1,0 cm), medtem ko so pri nosilcu v osi 5 izmerjeni povosi l. 1990 do 2,5 cm večji glede na meritve iz l. 1965. Na ta nosilec so obešene sodniške kabine, katerih teža je večja kot po projektu, zato je bila naknadno zmanjšana dopustna obtežba snega. Tako si lahko razlagamo, da je nekoč prišlo do preobremenitve s snegom, ki je povzročila nepovratne deformacije nosilca. Na sliki 5 je dobro vidno, da je potek diagramov izmerjenih povosov ob lomu nivelete spodnjih pasov nosilcev nezvezen, kar je verjetno posledica manjšega zdrsa v priključku preobremenjene tlačene vertikale. Računski povosi so v primerjavi z izmerjenimi pri vseh nosilcih večji, razen pri nosilcu v osi 5, kjer so približno enaki. To je razumljivo, ker smo nosilec računali kot paličje, dejansko pa imajo vozliščni priključki določeno togost. Da so izmerjeni in računski povosi pri nosilcu v osi 5 skoraj enaki, pa sledi iz že prej navedenih ugotovitev o verjetni preobremenitvi. V celoti lahko na podlagi rezultatov primerjalne meritve povosov sklepamo, da so jekleni strešni nosilci 25 let po montaži ostali oblikovno praktično nespremenjeni.

Na razpolago smo imeli zelo popolno atestno dokumentacijo, zato smo izvedli le nekaj primerjalnih preiskav vgrajenega materiala, vijakov in zvarov. Bistvenih odstopanj od izvirne dokumentacije nismo ugotovili, zato smo sodili, da obširnejše preiskave niso potrebne.

##### 4.1.2. Projekt in izvedba sanacije

Pri izdelavi kontrolnega statičnega računa smo upoštevali vse zdaj veljavne predpise. Glede na osnovni projekt je bistveno večja predvsem potresna obtežba. Odpraviti smo želeli tudi vse lokalne omejitve obtežbe snega, tako da bi bila dopustna obtežba po celotni površini ravne strehe 1,25 kN/m<sup>2</sup>. Glede na statične zahteve smo predvideli ojačitve določenih elementov glavnih nosilcev, diagonal zavetrovanja in srednjega stebra portala v osi A (sl. 4). Večina povezav med obstoječimi elementi in ojačitvami je bila načrtovana v varjeni izvedbi po predpisani tehnologiji. Glede na ugotovitve stanja konstrukcije smo predvideli tudi obseg in način izvajanja popravil. Posebno pozornost smo posvetili predlogu obnove protikorozijske zaščite predvsem tam, kjer je bila pločevina že močneje razjedena.

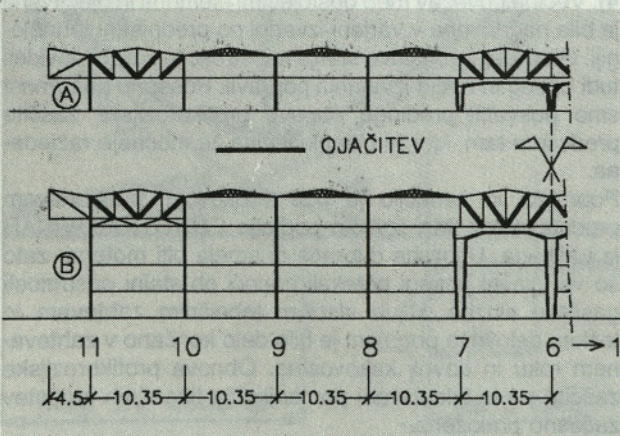
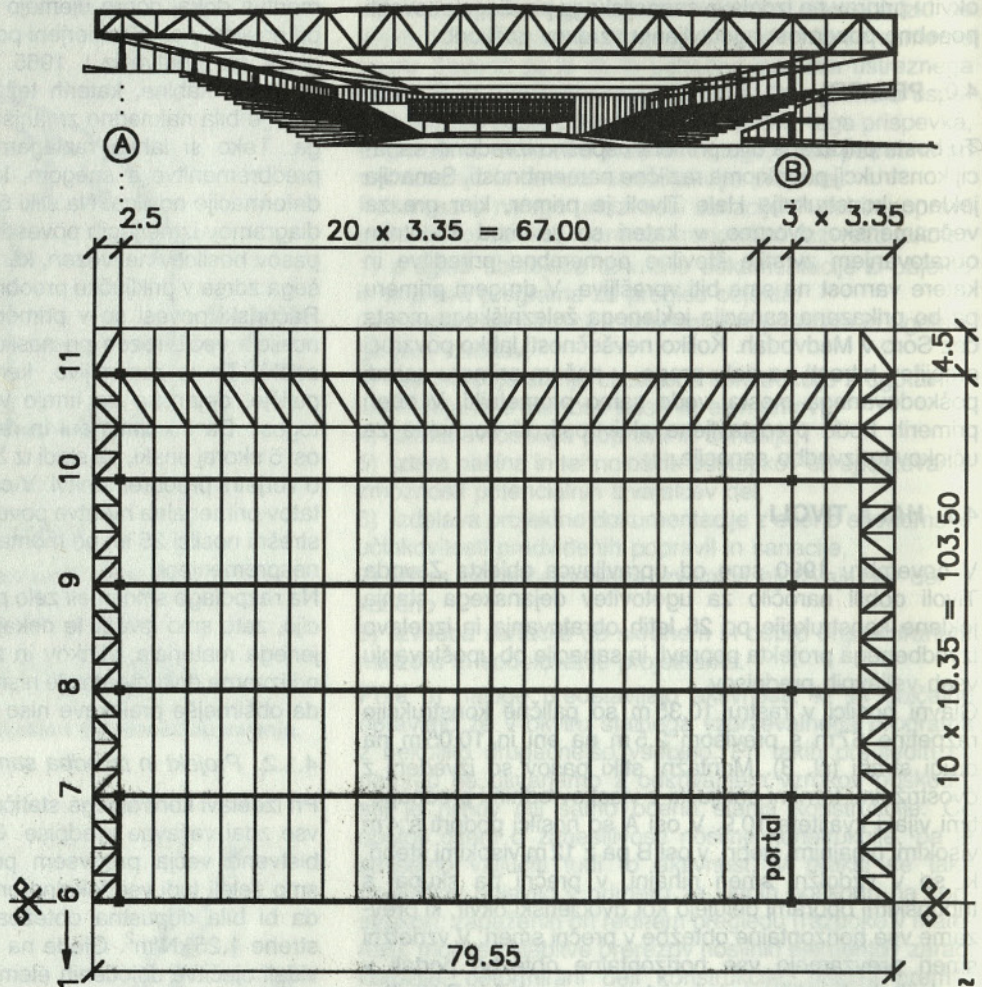
Popravila in sanacijo je pod strokovnim nadzorstvom predstavnikov IMK izvedlo podjetje ELEKTROKOVINAR iz Laškega. Uporaba dvorane ni smela biti motena, zato so vsi glavni posegi potekali ponoči ob stalni prisotnosti gasilske službe. Kljub visokim tehničnim zahtevam in težkim delovnim pogojem je bilo delo končano v zahtevanem roku in dovolj kakovostno. Obnova protikorozijske zaščite pa je bila zaradi pomanjkanja finančnih sredstev začasno preložena.

Pod pogojem, da bo upravljalca objekta v predvidenem roku zagotovil tudi obnovo protikorozijske zaščite in upo-



števal navodila za pravilno uporabo in vzdrževanje, je predvidena preostala življenjska doba jeklene konstrukcije Hale Tivoli še najmanj 10 let. Takrat se bo potrebno odločiti za obsežnejšo obnovo ali glede na funkcionalno zastarelost za nov objekt.

Slika 3: Shema jeklene konstrukcije Hale Tivoli



Slika 4: Nosilna sistema v oseh A in B z ojačitvami

#### 4.2. ŽELEZNIŠKI MOST ČEZ SORO V MEDVODAH

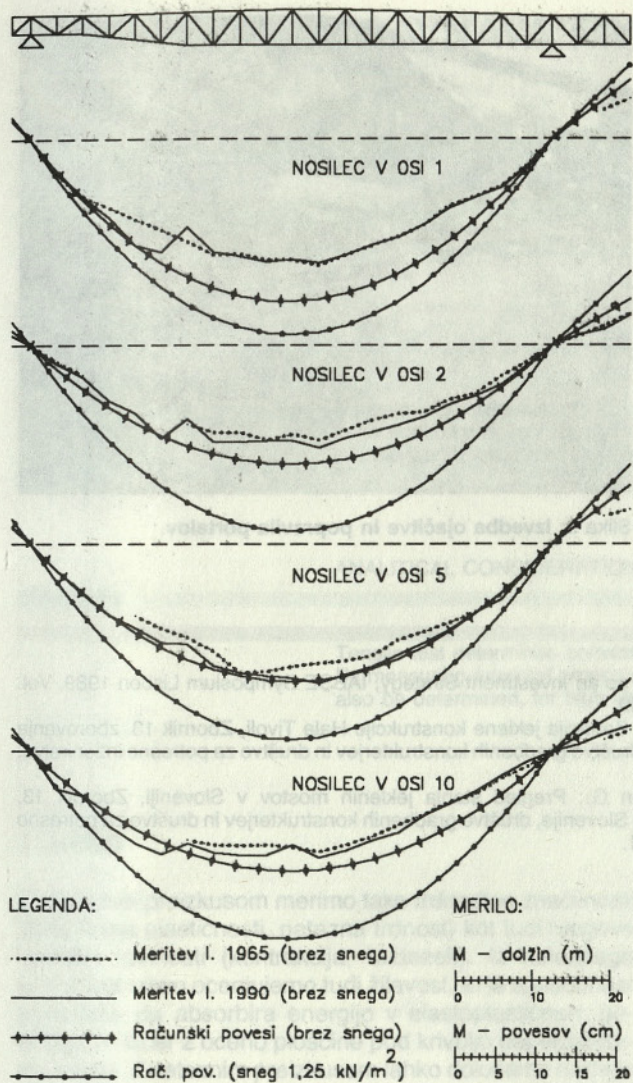
Pri glavnem pregledu jeklenega železniškega mosta čez Soro v Medvodah so bile ugotovljene kritične poškodbe, zaradi katerih je upravljavec takoj uvedel ustrezno omeji-

tev hitrosti na tem delu proge in začel s sanacijo. Most je prosto ležeča kovičena palična konstrukcija razpona 48 m (sl. 6). Vozišče je v ravnini zgornjega pasu glavnih nosilcev. Vzdolžnika potekata neprekinjeno nad prečniki in sta v ravnini zgornje pasnice podprta z bočno vezjo. Pomemben podatek je tudi, da ravno na sredini mostu proga preide iz desne prehodnice v levo. Tirnice so zvarjene v dolgi tirni trak.

##### 4.2.1. Analiza ugotovljenih poškodb

Večina ugotovljenih poškodb je bila na priključkih vzdolžnikov na prečnike. Najbolj značilna je prikazana tudi na sliki 8. Ponekod so bile poškodovane samo kovice ali odviti vijaki. Pri zadnjem popravilu so namreč v priključkih zamenjali poškodovane kovice z navadnimi vijaki, kar pa očitno ni bilo dovolj učinkovito. Razpoke so bile zapažene v zgornjih pasnicah prečnikov (sl. 7), večinoma na mestih,





Slika 5: Diagrami povesov glavnih nosilcev

kjer sta bila razrahljana oba priključka vzdolžnikov na prečnik. Na teh mestih so bile ugotovljene tudi deformacije vertikal bočne vezi (sl. 8).

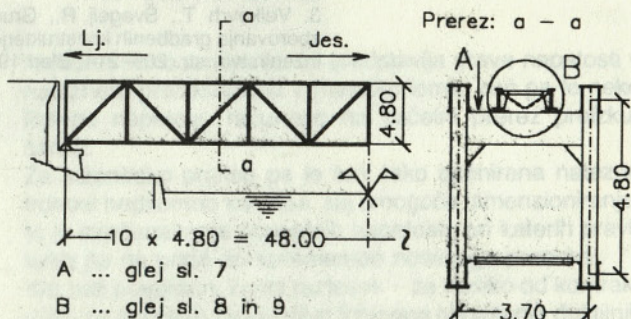
Te poškodbe so kazale na preobremenitev tega dela konstrukcije. Zato smo izvršili kontrolni statični račun, ki je pokazal, da so priključki vzdolžnikov na prečne nosilce nezadostno dimenzionirani. Vzdolžniki tvorijo namreč s prečno palico zgornje bočne vezi portal, ki mora prenesti vodoravno obtežbo zaradi centrifugalne sile in bočnih sunkov na prečni nosilec (glej sliko 8). Kovice v priključku vzdolžnika na prečni nosilec niso bile zaradi delne vpetosti omenjenega portala obremenjene samo s strižno, temveč tudi z natezno silo. Ta je pospešila proces rahljanja kovic in lomljenja njihovih glav, tako da je prišlo do spremembe nosilnega sistema in kot posledica tega tudi do poškodb prečne palice bočne vezi (plastične deformacije) in razpok v zgornji lameli prečnega nosilca.

4.2.2. Izvedba sanacije

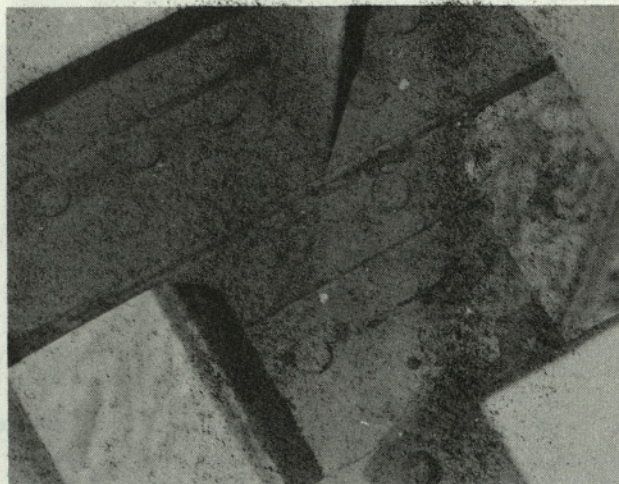
Na podlagi ugotovitev pregleda, kontrolnega statičnega računa in analize poškodb smo pripravili izvedbeni projekt sanacije in jo z našimi podizvajalci tudi izvedli. V poškodovane portale smo vgradili dodatno povezje (sl. 9), s katerim se prenese večina horizontalne obtežbe neposredno v zgornjo pasnico prečnika. Kjer so bile razpoke, smo izrezali daljše odseke pločevine in vstavili nove kose, ki smo jih na stare priključili z obdelanimi soležnimi zvari na mestih najmanjših obremenitev. Poškodovane priključke vzdolžnikov na prečnike smo sanirali tako, da smo vgradili večje priključne pločevine z več in močnejšimi kovicami. Kjer so bile poškodovane samo posamezne kovice, smo jih zamenjali z novimi.

Ojačitve in nadomestni elementi so bili izdelani v delavnici z naddolžinami, medtem ko je bilo potrebno zaradi prilaganja na obstoječe stanje dokončne odreze in vrtanje lukenj za kovice opraviti na licu mesta. Vsa pripravljala dela na montaži so potekala brez zapore prometa, samo ob najmanjši možni hitrosti vlakov, tako da se je med dvema popolnima ehournima dnevnima zaporoma izvajalo samo kovičenje.

Po končani sanaciji nosilne jeklene konstrukcije je ŽG SVP Ljubljana obnovila tudi zgornji ustroj proge (pritrditve tirnic in pragov), tako da so se vozni pogoji v celoti bistveno izboljšali tudi za večje hitrosti vlakov.

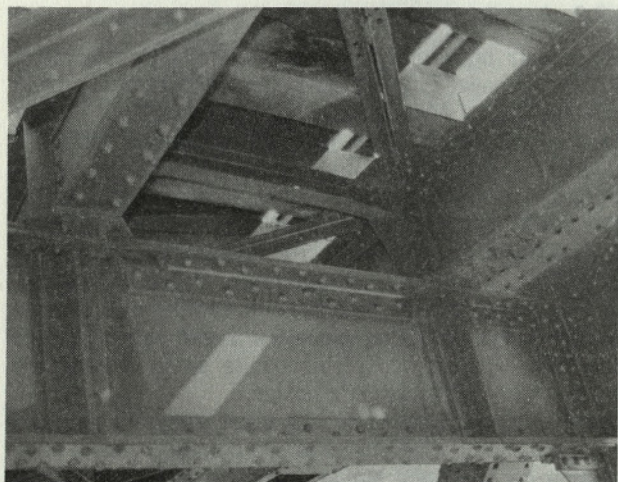


Slika 6: Shema železniškega mostu čez Soro v Medvodah

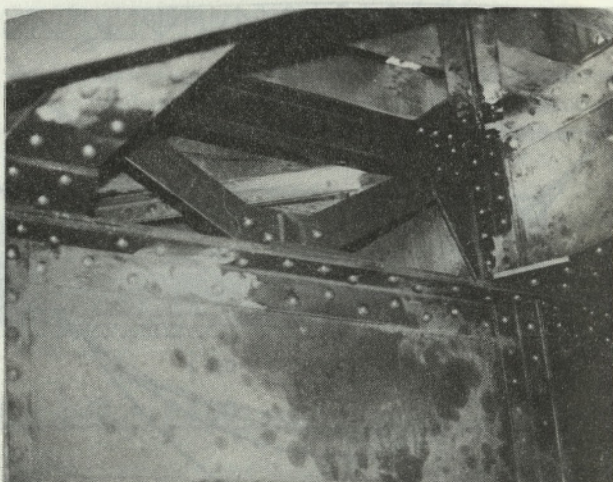


Slika 7: Tipična poškodba priključka vzdolžnika na prečnik (detalj A)





Slika 8: Pogled na poškodovan portal (dejal B)



Slika 9: Izvedba ojačitve in popravila portalov.

## LITERATURA

1. Bröchner J.: Durability Research as an Investment Strategy, IABSE Symposium Lisbon 1989, Vol. 57/1, IABSE, str. 45–50, Zürich 1989.
2. Remec Č., Grilc F., Velkovrh T.: Sanacija jeklene konstrukcije Hale Tivoli, Zbornik 13. zborovanja gradbenih konstrukterjev Slovenije, društvo gradbenih konstrukterjev in društvo za potresno inženirstvo, str. 133–137, Bled 1991.
3. Velkovrh T., Švegelj R., Gruden G.: Pregled stanja jeklenih mostov v Sloveniji, Zbornik 13. zborovanja gradbenih konstrukterjev Slovenije, društvo gradbenih konstrukterjev in društvo za potresno inženirstvo, str. 209–214, Bled 1991.



## ELEKTROKOVINAR LAŠKO

Podjetje kovinskih izdelkov p.o.

63270 LAŠKO

CELJSKA CESTA 52



# ANALITIČNA OBRAVNAVA NATEZNEGA PREIZKUSA

UDK 691.71 : 620.172

JELENA VOJVODIČ GWARDJANČIČ

## POVZETEK

Z nateznim preizkusom določamo konvencionalne mehanske lastnosti jekel. Z merjenjem maksimalnega enakomernega raztezka nateznega preizkušanca lahko določimo tudi krivuljo tečenja jekel, pri mikrolegiranih jeklih pa celo lomno žilavost  $K_{IC}$ .

## ANALITICAL CONSIDERATION OF TENSILE TEST

## SUMMARY

Tensile test determines conventional mechanical properties of steels. By measuring maximal proportional elongation of the tensile test specimen yield curves of steels can also be determined, for high strength steels even fracture toughness  $K_{IC}$ .

## 1. UVOD

Z nateznim preizkusom merimo tako trdnostne značilnosti jekla (meja plastičnosti, natezna trdnost) kot tudi njegove duktilne lastnosti (kontraktacija, raztezek). Iz nateznega preizkusa lahko ocenjujemo tudi žilavost, to je sposobnost materiala, da absorbira energijo v elastoplastičnem področju, in sicer z oceno ploščine pod krivuljo napetost-deformacija. Z nateznim preizkusom lahko določamo nadalje tudi lomno žilavost  $K_{IC}$ , še bolj učinkovito pa lahko duktilne lastnosti jekla ugotavljamo na nateznih preizkušancih z obodno zarezo.

## 2. TEORETIČNI DEL

### 2.1. Inženirski diagram nateznega preizkusa, prava napetost – prava deformacija, analitična obdelava rezultatov

Pri običajnem nateznem preizkusu kovin danes še vedno merimo skoraj izključno le mejo elastičnosti  $R_p$ , natezno trdnost  $R_m$ , kontraktacijo  $Z$  ter povprečni lomni raztezek  $A$ , ki se nanaša na neko referenčno dolžino nateznega preizkušanca. Vendar pa tako trdnost kot tudi povprečni lomni raztezek nista dejanski lastnosti duktilne kovine.

Natezna trdnost namreč ne predstavlja prave napetosti v nateznem preizkušancu v trenutku loma, pač pa le neko fiktivno napetost, računano na začetni prerez preizkušanca.

Za inženirsko prakso pa je tudi tako definirana natezna trdnost nedvomno koristna, saj omogoča dimenzioniranje, to je izračunavanje dopustnih napetosti, pri katerih praviloma še ne pride do spremembe nosilnega preseka. Ker tudi povprečni lomni raztezek – za razliko od kontraktacije – ne popisuje zadovoljivo lomnega obnašanja duktilnih kovin, je bilo že večkrat predlagano (lit. 1, 2, 3), da bi ga sploh opustili in raje merili največji enakomerni raztezek  $e_{gt}$  ter lomni raztezek  $e_f$ , ki ga definiramo kot:

$$e_f = \frac{S_o}{S_u} - 1 \quad (1)$$

pri čemer je  $S_o$  začetni prerez nateznega preizkušanca,  $S_u$  pa lomni prerez tega preizkušanca.

Odvisnost med nominalno napetostjo  $R$  ter povprečnim raztezkom  $(L_u - L_o/L_o)$  je običajno prikazana v obliki inženirskega diagrama napetost – deformacija kot neposreden rezultat nateznega preizkusa. Poleg tovrstnih diagramov pa so pogosto v rabi tudi diagramsko prikazane odvisnosti med tako imenovano pravo napetostjo ter pravo deformacijo.

Prava napetost, označili jo bomo s  $\sigma$ , je definirana kot kvocient med natezno silo  $F$  ter dejanskim, sili  $F$  pripadajočim prerezom  $S$  obremenjenega nateznega preizkušanca, medtem ko je prava deformacija  $\epsilon$  definirana pri-rastkovno kot:

*Avtor:*  
mag. Jelena Vojvodič Gvardjančič, dipl. inž.,  
Institut za metalne konstrukcije, Mencingerjeva 7, 61000  
Ljubljana



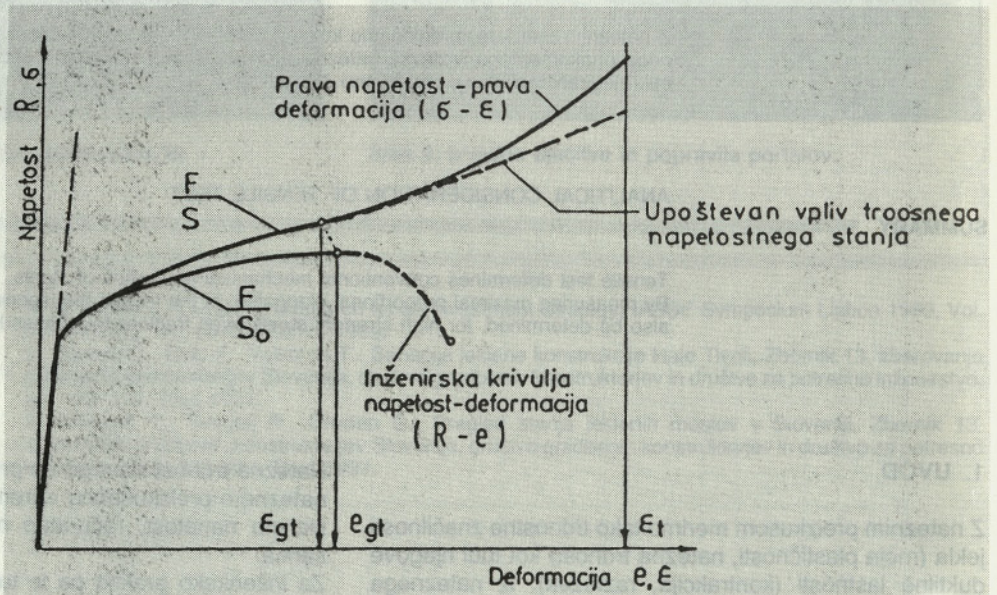
$$d\varepsilon = \frac{dL}{L} = - \frac{dS}{S} \quad (2)$$

Enačba (2) sledi iz ugotovitve, da je plastična deformacija strižni proces, ki ne vključuje spremembe volumna. Za  $\varepsilon$  dobimo:

$$\varepsilon = \int_{S_0}^S - \frac{dS}{S} = - \ln \frac{S}{S_0} = \ln \frac{S_0}{S} \quad (3)$$

Tako definirano pravo deformacijo pa imenujemo tudi logaritemska deformacija.

Slika 1. Diagram prava napetost-prava deformacija, kot sledi iz inženirske krivulje napetost-deformacija nateznega preizkusa



V diagramu na sl. 1 je prikazana odvisnost prava napetost-prava deformacija, kot sledi iz inženirske krivulje napetost - deformacija.

Kot smo že omenili, inženirska krivulja napetost - deformacija ne daje prave podobe deformacijskih karakteristik kovine, ker upošteva začetni preizkusni vzorec, ki pa se dejansko ves čas preizkusa spreminja. Prav tako postane natezno obremenjeni material nestabilen in se lokalno zožuje med preizkusom. Prečni preizkusni vzorec se pri tem zelo hitro zmanjšuje in zato sila, ki je potrebna za nadaljnjo deformacijo, pada, dejanska napetost pa še vedno narašča. Tudi povprečna napetost, ki upošteva začetni preizkusni vzorec, se zmanjšuje. To povzroči padanje krivulje napetost-deformacija, potem ko je bila dosežena maksimalna sila. Dejansko pa se kovina zvezno utrjuje vse do točke porušitve, tako da mora rasti tudi napetost, potrebna za nadaljnjo deformacijo. Če uporabimo pravo napetost, računano na dejansko ploščino prereza, se izkaže, da krivulja, gledano makroskopsko, raste zvezno do porušitve. Če tudi deformacijo merimo zvezno, dobimo krivuljo prava napetost-prava deformacija, ki je znana tudi pod imenom krivulja tečenja, ker predstavlja osnovne lastnosti tečenja materiala v plastičnem območju.

Krivuljo tečenja mnogih kovin v področju enakomerne deformacije lahko predstavimo s preprosto potenčno krivuljo po Ludwik-Hollomonu (lit. 4, 5):

$$\sigma = C \cdot \varepsilon^n \quad (4)$$

kjer je  $C$  konstanta, imenovana trdnostni koeficient,  $n$  pa je eksponent deformacijskega utrjevanja.

Pri nateznem preizkusu doseže obremenitev  $F$  svojo maksimalno vrednost  $F_m$  v trenutku tako imenovane natezne nestabilnosti, ko plastična deformacija postane nehomogena in ko nominalna, to je inženirska napetost doseže svojo največjo vrednost  $R_m$  enako  $R_m/S_0$ . Analitično je ta točka v diagramu prava napetost-prava deformacija definirana s pogojem za stacionarno stanje:

$$\frac{dF}{d\varepsilon} = 0 \text{ in } \sigma \frac{dS}{d\varepsilon} + S \cdot \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = 0 \quad (5)$$

saj velja:  $F = \sigma \cdot S$

ker je tudi  $d\varepsilon = -dS/S$ , sledi:

$$-S \cdot \sigma + \frac{S \cdot d\sigma}{d\varepsilon} = 0$$

oziroma

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma \quad (6)$$

če enačbo (4) odvajamo in vstavimo v enačbo (6), dobimo za maksimalni enakomerni raztezek  $\varepsilon_{gt}$  vrednost:

$$\varepsilon_{gt} = n \quad (7)$$

kjer je  $n$  že omenjeni eksponent deformacijskega utrjevanja kovine. Ker smo povprečni raztezek  $e$  definirali kot:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{S_0}{S} - 1 \quad (8)$$



dobimo končno za maksimalni pravi enakomerni raztezek izraz:

$$\varepsilon_{gt} = \ln(1 + e_{gt}) \quad (9)$$

pri čemer je  $e_{gt}$  maksimalni povprečni enakomerni raztezek, ki ga dobimo iz inženirskega diagrama sila-deformacija nateznega preizkusa.

Določimo še konstanto C iz potenčne funkcije (4). Ko natezna sila F in z njo enakomerni raztezek  $\varepsilon$  dosežeta svoji maksimalni vrednosti  $F_m$  oziroma  $\varepsilon_{gt}$ , dobimo za pravo napetost  $\sigma$ , upošteva je izraz (4):

$$\sigma = C \cdot \varepsilon_{gt}^n \quad (10)$$

kjer je pri tem tudi:

$$\sigma = R_m (1 + e_{gt}) \quad (11)$$

pri čemer pomeni  $R_m$  nominalno napetost pri  $F_m$ , to je natezno trdnost kovine, kot sledi iz inženirskega diagrama napetost-deformacija, dobimo, upošteva je enačbe (7), (9), (10) in (11), za konstanto C:

$$C = R_m \left(\frac{e}{n}\right)^n \quad (12)$$

kjer je e osnova naravnega logaritma ( $e = 2,71828$ ). Očitno lahko oba parametra potenčne funkcije (4), namreč konstanto C ter eksponent utrjevanja n, določimo kar enostavno iz inženirskega diagrama napetost-deformacija, kot ga dobimo pri nateznem preizkusu. Omeniti moramo, da enačba (4) ne predstavlja kake osnovne lastnosti materiala, zaradi česar pride do odstopanj predvsem pri nizkih ( $10^{-3}$ ) ali pa visokih ( $\approx 1.0$ ) deformacijah. Zato pogosto namesto izraza (4) uporabljamo izraz po Ramberg-Osgoodu, ki ima obliko:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n \quad (13)$$

$$n = \frac{\ln \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_1}}{\ln \frac{\sigma_0}{\sigma_1}} \quad (14)$$

V zgornjih izrazih je  $\sigma_0$  napetost, ki povzroči nepovratni raztezek  $\varepsilon_0$ .

$\sigma_1$  in  $\varepsilon_1$  so podobno definirane količine, kjer pa mora biti  $\varepsilon_0 > \varepsilon_1$ .

Če vzamemo za  $\sigma_0$  tako napetost, da sta pripadajoči plastični in elastični raztezek enaka, potem velja:

$$\sigma_0 = E \cdot \varepsilon_0 \quad (15a)$$

in lahko pišemo enačbo v brezdimenzijski obliki (izraz 15).

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\sigma} + \bar{\sigma}^n = \bar{\sigma} (1 + \bar{\sigma}^{n-1}) \quad (15)$$

kjer je:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad \text{in} \quad \bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

Poleg aproksimacij diagrama prava napetost-prava deformacija z analitičnimi funkcijami po Ludviku Hollomonu in Ramberg Osgoodu pa je znan tudi funkcijski nastavek, ki ga je na podlagi eksperimentalnih raziskav, predlagal Schnadt (lit. 6, 7):

$$\sigma = \sigma_p + E_p \left(1 - \frac{m}{1 + \frac{A}{\varepsilon'} + B \left(\frac{A}{\varepsilon'}\right)^3}\right) \cdot \varepsilon' \quad (16)$$

$$\text{kjer je: } \varepsilon' = \varepsilon - \varepsilon_p \quad (17)$$

in pomeni:

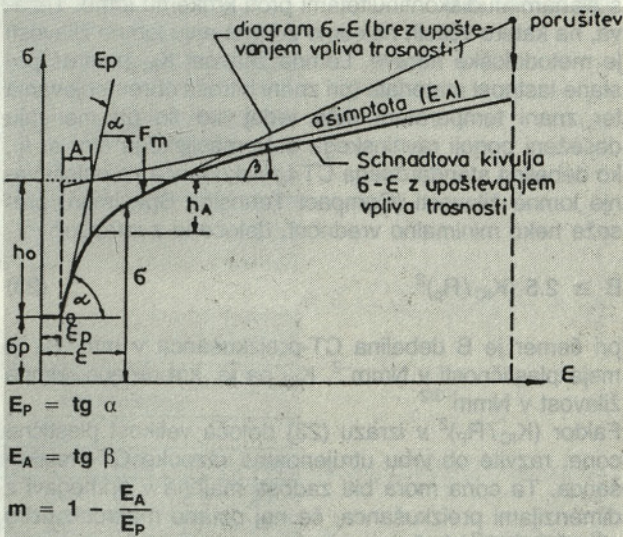
- $\sigma$  prava napetost (po Schnadtu – plastična napetost)
- $\varepsilon$  pravi raztezek (po Schnadtu – plastični raztezek)
- $\sigma_p$  napetost začetka utrditve (točka na meji plastičnosti materiala)
- $E_p, m, A, B$  konstante karakteristične za obliko krivulje
- $\varepsilon_p$  raztezek na začetku utrditve

Tako predstavlja  $E_p$  tangenti modul v začetni točki utrditve, vrednost m pa je določena z izrazom:

$$E_A = (1 - m) E_p \quad (18)$$

in je  $E_A$  modul asimptote »plastonične krivulje«, količina A in B pa sta značilni za obliko kolena te krivulje v začetnem območju (slika 2), kjer je:

- O ... točka začetka deformacijskega utrjevanja
- $h_0$  ... vertikalna razdalja od presečišča premic  $E_A$  in  $E_p$  do meje plastičnosti
- $h_A$  ... vertikalna razdalja od presečišča premic  $E_A$  in  $E_p$  do Schnadtove krivulje



Slika 2. Schnadtova plastična krivulja



Medtem ko aproksimacija po Ramberg-Osgoodu in Ludvik-Hollomonu ne upošteva troosnega napetostnega stanja v zoženem vratu preizkušanca pri velikih deformacijah, zaradi česar lahko določamo vrednost eksponenta utrjevanja  $n$  le do točke, v kateri nastopi maksimalna sila, pa je Schnadt uvedel korekcijski faktor  $m$ , tako da lahko točko na diagramu prava napetost – prava deformacija od točke  $F_m$  (maksimalna sila) do  $F_f$  (porušna sila) določamo z naslednjimi izrazi:

$$\sigma = m \cdot \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \quad (19)$$

$$\varepsilon = 2 \cdot \ln \frac{d_0}{d} \quad (20)$$

in je  $m$  korekcijski faktor, ki upošteva vpliv troosnega napetostnega stanja, podan z izrazom:

$$m = \frac{2}{3} + \frac{1}{3 + \delta^2 \left( \frac{8 + \delta}{1 + \delta} \right)} \quad (21)$$

$$\text{in je: } \delta = \varepsilon - \varepsilon_p \quad (22)$$

ter pomeni razliko pravega raztezka (logaritemski raztezek  $\varepsilon$ ) in pravega raztezka ( $\varepsilon_p$ ) ob začetku utrditve. Faktor  $m$  zavzema vrednosti od 1,0 pri  $\delta = 0$  do 2/3 pri  $\delta = \infty$  in je določen s predpostavljeno obliko troosnega napetostnega stanja v zoženem delu preizkušanca.

## 2.2. Lomna žilavost iz nateznega preskusa

Druga pomembna lastnost materiala, ki jo v nekaterih primerih lahko določimo pri nateznem preizkusu, pa je lomna žilavost  $K_{IC}$ . Lomna žilavost oziroma kritični napetostni intenzitetni faktor, kot se tudi imenuje, se v linearni mehaniki loma uporablja kot merilo za odpornost materiala s planarnimi diskontinuitetami proti krhkemu lomu. Težava, na katero včasih naletimo pri merjenju lomne žilavosti je metodološke narave. Lomna žilavost  $K_{IC}$  namreč postane lastnost materiala (pri znani hitrosti obremenjevanja ter znani temperaturi) šele tedaj, ko so pri merjenju doseženi pogoji ravninskega deformacijskega stanja, tj., ko debelina standardnega CT-preizkušanca za določevanje lomne žilavosti (Compact Tension Specimen) preseže neko minimalno vrednost, določeno z izrazom:

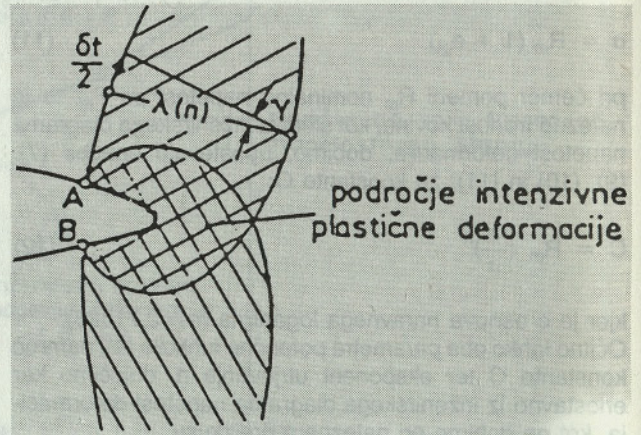
$$B \geq 2.5 (K_{IC}/R_p)^2 \quad (23)$$

pri čemer je  $B$  debelina CT-preizkušanca v mm,  $R_p$  je meja plastičnosti v  $\text{Nmm}^{-2}$ ,  $K_{IC}$  pa je, kot rečeno, lomna žilavost v  $\text{Nmm}^{-3/2}$ .

Faktor  $(K_{IC}/R_p)^2$  v izrazu (23) določa velikost plastične cone, razvite ob vrhu utrujenostne razpoke CT-preizkušanca. Ta cona mora biti zadosti majhna v primerjavi z dimenzijami preizkušanca, če naj ostane makroskopsko obnašanje preizkušanca pri obremenjevanju linearno elastično.

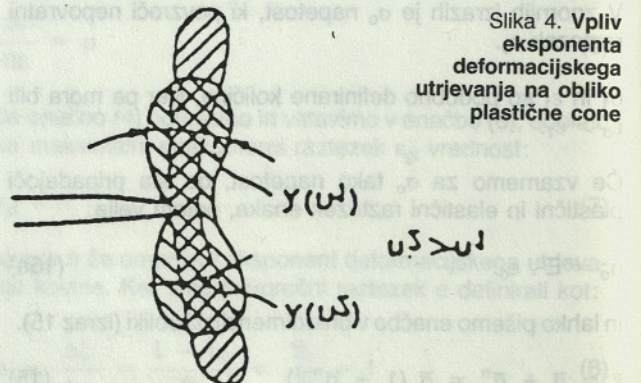
Pogosto pa se zgodi, da debeline strojnih delov ali delov konstrukcij bodisi niso zadostne, da bi iz njih izdelali veljavne CT preizkušance, pri katerih bi bil izpolnjen pogoj (23), bodisi nimamo na voljo ustreznih naprav za merjenje lomne žilavosti ali pa potrebujemo le okvirne vrednosti  $K_{IC}$  za prve grobe ocene dopustnih velikosti napak na konstrukcijah.

V nekaterih primerih lahko za določevanje lomne žilavosti uporabimo kar natezni preizkus, saj sta G. T. Hahn ter A. R. Rosenfield (lit. 8) prav na modelu nateznega preizkusa zasnovala svojo polempirično koncepcijo določevanja lomne žilavosti. Upoštevala sta, da so razmere v korenu obodne zareze na cilindričnem nateznem preizkušancu analogne razmeram pri gladkem cilindričnem nateznem preizkušancu z močno zoženim vratom (slika 3).



Slika 3. Model ravninske deformacijske plastične cone v korenu zareze obremenjenega preizkušanca

Ker je duktilna ločitev materiala deformacijsko kontroliran proces, morajo lokalne deformacije v korenu zareze oziroma na mestu zoženja doseči neko kritično vrednost. Odpiranje ustja zareze postane pomembno, kakor hitro ga lahko povežemo z lokalnimi deformacijami v korenu zareze oziroma na mestu zoženja. Širina cone intenzivne plastične deformacije pa ni konstantna, ker je v pogojih ravninskega stanja odvisna od eksponenta deformacijskega utrjevanja  $n$ . Gerberich (lit. 9) je opazil, da z naraščanjem eksponenta utrjevanja  $n$  narašča tudi  $\lambda(n)$ , intenziteta deformacij pa pada, kot je to prikazano na sl. 4.



Slika 4. Vpliv eksponenta deformacijskega utrjevanja na obliko plastične cone



Strižno deformacijo v korenu zarezne lahko zapišemo v obliki (lit. 10).

$$\gamma = \frac{\delta_t}{2} / \lambda(n) \quad (24)$$

Jedkanja plastične cone kažejo, da deformacija v tej coni ni enakomerna, zato lahko predpostavimo linearno porazdelitev deformacije, predpostavimo pa tudi, da je povprečna deformacija  $\bar{\epsilon}$  v področju intenzivne plastične deformacije enaka  $\gamma/2$ . Za maksimalno deformacijo pri razrezu zato dobimo:

$$\epsilon_{\max} = 2\bar{\epsilon} = \gamma = \frac{\delta_t}{2 \lambda(n)} \quad (25)$$

oziroma ob lomu:

$$\delta_t = \delta_{t, \text{crit}} \quad \epsilon_{\max} = \epsilon_f^* \quad \text{in} \quad \lambda(n) = \lambda(n)_{\text{crit}}$$

tako, da je:

$$\epsilon_f^* = \frac{\delta_{t, \text{crit}}}{2 \lambda(n)_{\text{crit}}} \quad (26)$$

Hahn in Rosenfield (lit. 8) sta pri jeklih našla odvisnost  $\lambda(n)_{\text{crit}} \approx 0,025 n^2$ , če sta širino plastične cone merila v metrih. Izkoristila sta še spoznanje Mc Clintocka (lit. 11), ki je izračunal kritično pravo deformacijo  $\epsilon_f^*$ , potrebno za koalescenco mikropraznin pri duktilnem tipu nukleacije mikrorazpok. Velja namreč:

$$\epsilon_f^* = \frac{\epsilon_f}{3} \quad (27)$$

pri čemer smo z  $\epsilon_f$  označili pravi lomni raztezek, ki smo ga na osnovi izraza (3) definirali kot:

$$\epsilon_f = \ln \frac{S_o}{S_u} \quad (28)$$

Upošteva zvezo med  $\lambda(n)_{\text{crit}}$  ter eksponentom deformacijskega utrjevanja  $n$ , dobimo iz enačbe (27) za  $\delta_{t, \text{crit}}$  izraz:

$$\delta_{t, \text{crit}} = \frac{0,05 \epsilon_f n^2}{3} \quad (29)$$

Eksperimenti Robinsona in Tetelmana (lit. 12) kažejo, da se v pogojih ravninskega deformacijskega stanja odvisnost med  $\delta_t$  in  $K_I$  približuje Dugdalovemu približku:

$$\delta_t = \frac{K_I^2 (1 - \nu^2)}{\alpha E R_p} \approx \frac{K_I^2}{E R_p} \quad (30)$$

S substitucijo izraza (29) za  $\delta_{t, \text{crit}}$ , ko postane  $K_I$  enak  $K_{IC}$ , dobimo iz enačbe (30) končno:

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{0,05 \epsilon_f n^2 E R_p}{3}} \quad (30)$$

### 3. EKSPERIMENTALNI DEL

#### 3.1. Določanje trdnostnih karakteristik jekla Niomol 490

Za eksperimentalno delo smo uporabili drobnozrnato mikrolegirano jeklo NIOMOL 490, debeline 12 mm, z mejo plastičnosti  $R_p = 490$  MPa. To jeklo spada med mikrolegirana jekla legirana z Mn, Mo in Nb s feritno-bainitno mikrostrukturo.

Mehanske lastnosti so podane v preglednicah I in II.

Preglednica I:  
Mehanske lastnosti pločevine Niomol 490

Pločevina Niomol 490 t = 12 mm	Mehanske lastnosti pločevine				smer preizkušanja
	R <sub>p</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa	A5 %	Z %	
Potrdilo o kvaliteti Železarne Jesenice št. 11759	488	614	26	–	prečno na smer valjanja
Podatki iz prospekta Železarne Jesenice	490	560– –740	19	–	

Smer valjanja	Žilavost ISO – V (J) nestarano stanje						Žilavost DVM (J) starano stanje				
	Temperatura preizkušanja										
	+20	0	–20	–40	–50	–60	+20	+5	–20	–40	–60
Vzdolžno	63	63	63	55	47	39	47	41	41	31	27
Prečno	55	55	47	39	34	31	35	31	31	27	–

Preglednica II:  
Žilavost pločevine Niomol 490



### 3.2. Inženirski diagram nateznega preizkusa, odvisnost prava napetost – prava deformacija, analitična obdelava rezultatov

Hitrost obremenjevanja pri trgalnih preizkusih nateznih preizkušancev minitrac je bila v elastičnem območju 10 MPa/sek, v plastičnem področju pa 1%/sek., za okrogle preizkušance  $\varnothing$  10 mm, ki so bili preizkušani na trgalnem stroju Amsler 100 kN, je bila hitrost obremenjevanja v elastičnem in plastičnem področju 0,033%/sek, za okrogle preizkušance  $\varnothing$  10 mm, ki so bili preizkušani na trgalnem stroju Instron, pa je bila hitrost obremenjevanja v elastičnem območju 0,02%/min, v plastičnem območju pa 5 mm/min. Temperatura preizkušanja je bila v vseh primerih ca + 20°C.

Primer inženirskega diagrama R – e, določenega na trgalnem stroju Instron, je prikazan na sliki 5.

$n_2 = \ln(1 + 0,130) = 0,122$  (preizkušanec z oznako 1.14 odzvet  $\perp$  na smer valjanja)

$n_3 = \ln(1 + 0,127) = 0,119$  (preizkušanec z oznako 2.15 odzvet // s smerjo valjanja)

$n_4 = \ln(1 + 0,142) = 0,132$  (preizkušanec z oznako 2.16 odzvet // s smerjo valjanja)

Srednja vrednost je torej približno 0,120, skoraj neodvisna od smeri valjanja.

Eksponent deformacijskega utrjevanja pa smo določali tudi z diskontinuiranim tlačnim preizkusom (sliki 6 in 7).

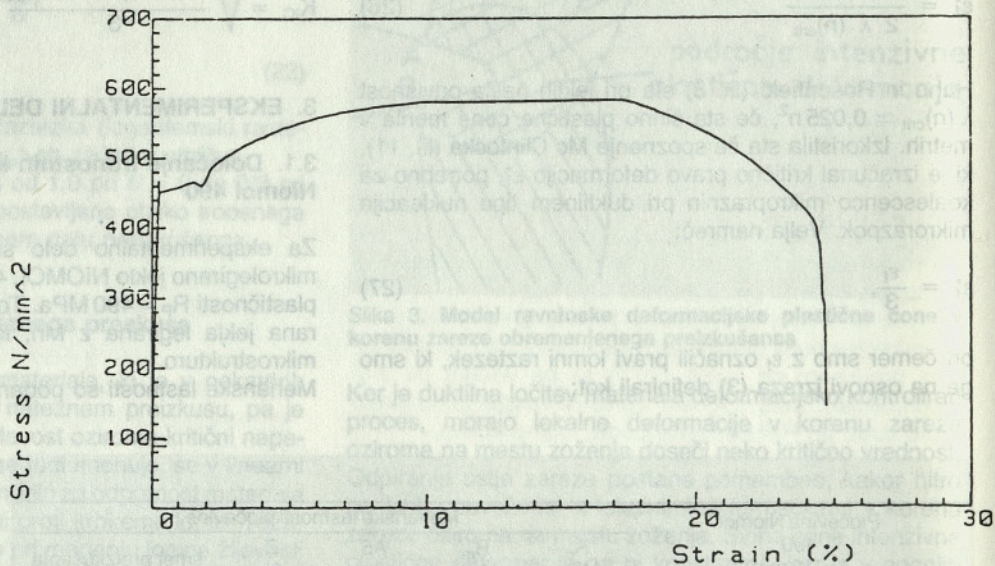
Eksponent deformacijskega utrjevanja n, določen iz nateznega diagrama minitrac preizkušancev  $\varnothing$  5 mm, pa znaša:

$n = 0,147$  (za preizkušanec 1.2  $\perp$  na smer valjanja pločevine)

$n = 0,139$  (za preizkušanec 2.3 // na smer valjanja pločevine)

PROOF STRESS TEST  
RE-CALC

Identifier	NIOMOL490
Batch number	1
Test number	13



Slika 5. Inženirski diagram R – e, določen na Instronu – 1343 za preizkušanca z oznako 1.13

Mehanske lastnosti jekla NIOMOL 490, določene na osnovi nateznih preizkusov, so zbrane v preglednici IV, kjer je:

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0}, \quad \text{odčitamo iz diagramov } F_{\max}$$

$$A_5 = \frac{l_u - l_0}{l_0}, \quad l_0 = 5 d_0$$

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0}$$

Izračunane vrednosti eksponenta utrjevanja n (po enačbi 9) so:

$n_1 = \ln(1 + 0,134) = 0,125$  (preizkušanec z oznako 1.13 odzvet  $\perp$  na smer valjanja)

## CENIK OGLASOV

1/1 barvna stran 1000 DEM v SLT protivrednosti

1/1 črno-bela stran 600 DEM v SLT protivrednosti

1/2 črno-bela stran 400 DEM v SLT protivrednosti

Za večkratno objavo so možni popusti.

Vse ostale informacije dobite pri Zvezi društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Erjavčeva 15, Ljubljana, telefon (061) 221-587.



**Diskontinuirni tlačni preizkus:**

Oznaka materiala: NIOMOL 490 (1)  
 Število preizkušancev: 3  
 Meja tečenja: 441,75 N/mm<sup>2</sup>  
 Vrsta maziva: teflon  
 Koeficient trenja: 0,024  
 Maksimalna deformacija: 1,2811007

**Krivulja plastičnosti:**

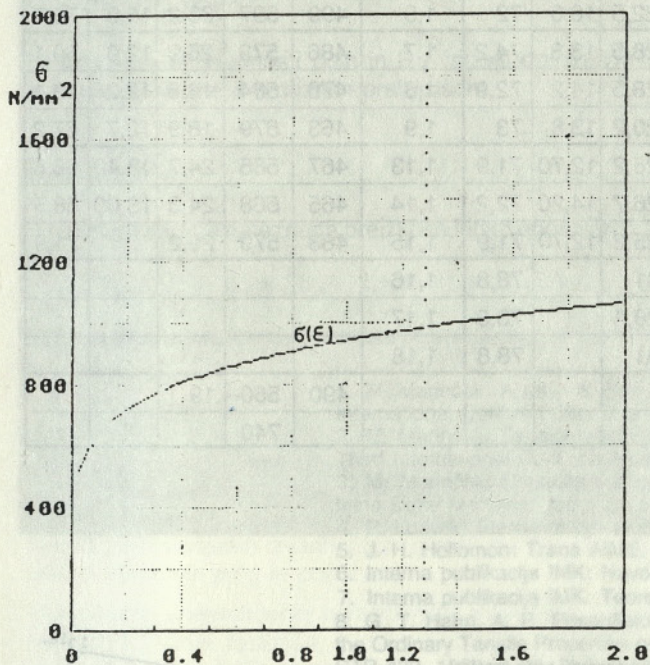
Konstanta materiala: C = 946,16364 N/mm<sup>2</sup>  
 Eksponent utrjevanja: n = 0,16846431  
 Koeficient korelacije: r = 0,99684511

**Diskontinuirni tlačni preizkus:**

Oznaka materiala: NIOMOL 490 (2)  
 Dobavitelj:  
 Število preizkušancev: 3  
 Meja tečenja: 441,5 N/mm<sup>2</sup>  
 Vrsta maziva: teflon  
 Koeficient trenja: 0,024  
 Maksimalna deformacija: 1,2640107

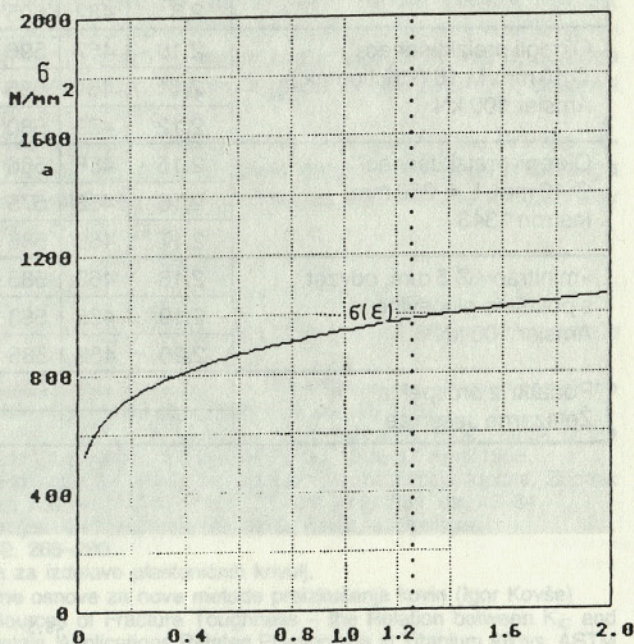
**Krivulja plastičnosti:**

Konstanta materiala: C = 948,51284 N/mm<sup>2</sup>  
 Eksponent utrjevanja: n = 0,16528187  
 Koeficient korelacije: r = 0,9979331



Primerjalna log deformacija  $\epsilon$

Slika 6. Diskontinuirani tlačni preizkus preizkušancev, odvzetih v smeri valjanja pločevnine



Primerjalna log deformacija  $\epsilon$

Slika 7. Diskontinuirani tlačni preizkus preizkušancev, odvzetih pravokotno na smer valjanja pločevnine



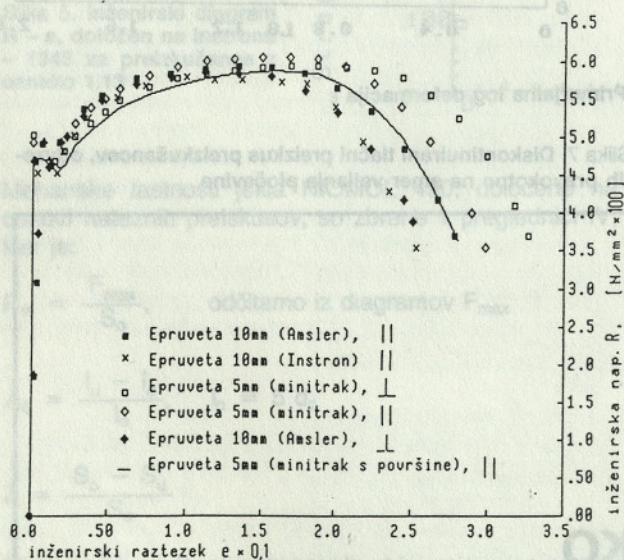
**ELEKTROKOVINAR LAŠKO**

Podjetje kovinskih izdelkov p.o.  
 63270 LAŠKO  
 CELJSKA CESTA 52

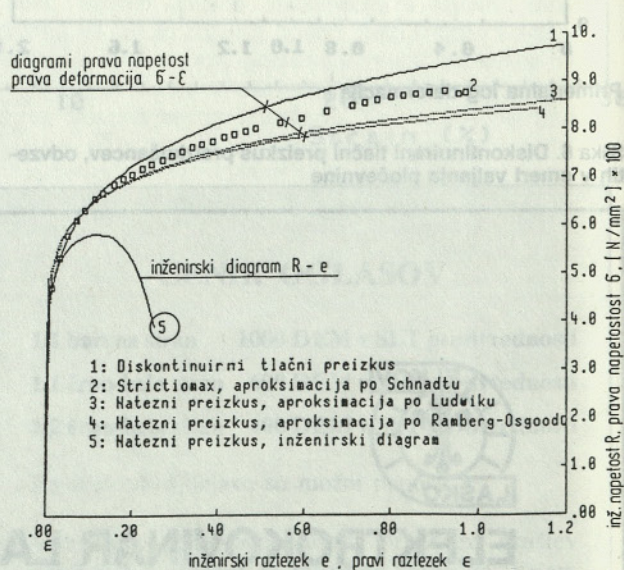


Preglednica IV: Mehanske lastnosti drobnozrnatega mikrolegiranega jekla Niomol 490 t = 12 mm

Vrsta preizkušanca in trgalni stroj	Oznaka eprovete	Odvzem preizkušanca vzdolž smeri valjanja pločevine					Oznaka eprovete	Odvzem preizkušanca pravokotno na smer valjanja pločevine				
		R <sub>p</sub>	R <sub>m</sub>	A <sub>5</sub>	e <sub>gt</sub>	Z		R <sub>p</sub>	R <sub>m</sub>	A <sub>5</sub>	e <sub>gt</sub>	Z
		Mpa		%				Mpa		%		
»minitrak« Ø 5 mm, Amsler 100 kN	2,1	482	600	22,3	16,07	72	1,1	499	611	34,6	17,6	67,5
	2,2	477	599	23,1	17,0	72,7	1,2	484	593	35,8	17,9	71,9
	2,3	482	605	22,5	16,6	72	1,3	499	597	33,2	16,8	70,8
Okrogli preizkušanec Ø 10 mm/M 16 (strictiomax.) Amsler 100 kN	2,10	467	596	28,5	13,8	74,2	1,7	486	579	25,9	12,0	69,1
	2,11	461	586	28,5	14,2	72,9	1,8	476	584	18,8	12,2	70,1
	2,12	429	580	20,2	13,8	73	1,9	463	579	18,9	12,7	67,2
Okrogli preizkušanec Ø 10 mm, L = 250 mm, Instron 1343	2,15	458	586	25,2	12,70	71,9	1,13	467	586	24,7	13,40	68,6
	2,16	453	575	26,7	14,20	72,2	1,14	465	588	24,3	13,00	68,5
	2,17	458	586	25,2	12,70	71,9	1,15	483	579	25,2		71,9
»minitrak« Ø 5 mm, odvzet s površine pločevine, Amsler 100 kN	2,18	462	585	31		78,8	1,16					
	2,19	465	583	28,4		73,9	1,17					
	2,20	462	585	31		78,8	1,18					
Podatki iz prospekta Železarne Jesenice								490	560	19		
								740				



Slika 8. Inženirski diagrami R-e za različne vrste preizkušancev, odvzetih v smeri valjanja pločevine in ⊥ na smer valjanja pločevine

Slika 9. Primerjava inženirskega diagrama R-e z diagrami prava napetost – prava deformacija  $\sigma - \epsilon$  za preizkušanec  $\Phi$  10 mm z oznako 1.8, odvzetem v smeri pravokotno na smer valjanja pločevine



Inženirski diagram R – e, določen z nateznim preizkusom minitrac preizkušancev  $\varnothing$  5 mm, je prikazan na sliki 8. Primerjava diagramov prava napetost – prava deformacija  $\sigma$  –  $\varepsilon$  z inženirskim diagramom R – e za preizkušane  $\varnothing$  10 mm (Amsler 100 kN) pa na sliki 9.

### 3.3. Izračun lomne žilavosti $K_{IC}$

Lomno žilavost  $K_{IC}$  izračunamo s pomočjo Hahn-Rosenfeldove korelacije (enačba 31):

$$K_{IC} = (0,05 \cdot 1,20 \cdot 0,149^2 \cdot 2,05 \cdot 10^5 \cdot 472/3)^{1/2}$$

$$K_{IC} = 207 \text{ MPa (m)}^{1/2}$$

Pri tem smo za vrednosti  $\varepsilon_f$ , n in  $R_p$  vstavili povprečne vrednosti, dobljene z nateznim preizkusom.

### 4.0 SKLEP

Na podlagi analize nateznega preizkusa lahko ugotovimo,

da lahko z nateznim preizkusom določimo tudi krivulje tečenja, pa tudi lomno žilavost jekla  $K_{IC}$ .

Iz rezultatov nateznega preizkusa sklepamo nadalje, da je dosedanja interpretacija nateznega preizkusa nepopolna, kar zlasti velja za raztezek A, ki označuje le povprečno vrednost raztezkov. Bolje bi bilo odčitati in izračunati  $R_p$  in njej pripadajoči  $A_p$ , začetek utrjevanja  $R_u$  in pripadajoči raztezek  $A_u$ , odčitati maksimalno silo  $F_{max}$  in pripadajoči raztezek  $A_{gt}$ , nato še porušno silo  $F_{por}$  in izmeriti porušni prerez (kontrakcijo), s katerim dobimo dejanski raztezek v točki porušitve okroglega preizkušanca.

Če primerjamo diagrame prava napetost-prava deformacija za jeklo NIOMOL 490, ki jih dobimo iz nateznega preizkusa, z diagramom diskontinuirnega tlačnega preizkusa, ugotovimo, da se temu najbolj približa krivulja, določena z aproksimacijo po Schnadtu ( $\varepsilon = 100\%$ ,  $\Delta \cong 8\%$ ), medtem ko variira eksponent utrjevanja n, določen z nateznim preizkusom glede na eksponent n, določen pri tlaku za 12–34%.

Enakomerni raztezek predstavlja pomembno lastnost jekla, saj je namreč enak eksponentu deformacijskega utrjevanja jekla, to količino pa potrebujemo za določitev krivulj tečenja.

### LITERATURA

1. M. Marinček: A rational limit Stated Design Philosophy for Metal Structures, Proceedings of the International Conf. on Steel and Aluminium Structures, Cardiff, 8 to 10 July 1987.
2. M. Marinček: Tension and Bend Testing of Aluminium has to be improved, Proceedings of the Third International Conf. on Aluminium Weldments, Munich, F. R. G., 15 to 17 April 1985.
3. M. Marinček: Čvrstoča i žilavost osnovnog metala, metala šava i zone uticaja toplote. Zbornik letne škole Mehanika loma zavarenih spojeva, Arandjelovac, 25.–29. junij 1984, str. 43–64.
4. P. Ludwik: Elemente der technologischen Mechanik, 32, 1909, Berlin, J. Springer.
5. J. H. Hollomon: Trans AIME, 162, 268–290.
6. Interna publikacija IMK: Navodila za izdelavo plastičnih krivulj.
7. Interna publikacija IMK: Teoretične osnove za nove metode preizkušanja kovin (Igor Kovše)
8. G. T. Hahn, A. R. Rosenfield: Sources of Fracture Toughness – the Relation between  $K_{IC}$  and the Ordinary Tensile Properties of Metals, Applications Related Phenomena in Titanium Alloys, ASTM STP 432, 1968, 5–32, Philadelphia.
9. W. W. Gerberich: Plastic Strains and Energy Density in Cracked Plates, Part I, Experimental Mechanics, Vol. 4, 1964, 335.
10. H. L. Ewalds, R. J. H. Wanhill: Fracture Mechanics, Edward Arnold Ltd. London 1984.
11. F. A. McClintock: A Criterion for Ductile Rupture, povzeto po viru (8).
12. J. N. Robinson, A. S. Tetelman: The Determination of  $K_{IC}$  Values from Measurements of the Critical Crack Tip Opening Displacement at Fracture Initiation, Paper II-421, Third International Conf. on Fracture, Munich 1973.
13. Dieter G. E. Mechanical Metallurgy, New York: Mc Graw – Hill, 1986.
14. Jelena Vojvodič-Gvardjančič: Lomne značilnosti drobnozrnatega mikrolegiranega jekla NIOMOL 490 (magistrska naloga 1990).



# NEPORUŠNE PREISKAVE NA PODROČJU KONTROLE ZVARJENIH SPOJEV NA NOSILNIH JEKLENIH KONSTRUKCIJAH

UDK 624.014.2:620.19:621.791

MARKO VONČINA, BOGDAN JAREC

## POVZETEK

V članku je obravnavana problematika kontrole zvarjenih spojev nosilnih jeklenih konstrukcij z uporabo metod preiskav brez porušitve kot dokaz za zahtevano kakovost v smislu veljavnih tehničnih predpisov in standardov.

NON DESTRUCTIVE TESTING IN THE FIELD OF WELDED JOINTS QUALITY CONTROL OF STEEL STRUCTURES

## SUMMARY

The article deals with welded joints quality control by means of non destructive testing in accordance with the requirements of codes and standards.

## 1.0. UVOD

Kontrola izdelave in montaže zvarjenih jeklenih konstrukcij je pomembna faza izgradnje objektov. Zagotoviti mora, da bo konstrukcija izdelana in montirana v skladu s projektom in z veljavnimi tehničnimi predpisi oziroma standardi in da bo lahko z zadostno varnostjo prevzela s projektom predvidene obtežbe. Poleg zakona o graditvi objektov obstajajo na obravnavanem področju specialni tehnični predpisi oziroma pravilniki, ki skupaj z ustreznimi standardi zagotavljajo doseganje potrebne kakovosti in varnosti pri projektiranju, izvedbi, montaži in uporabi jeklene konstrukcije.

Pomembna dejavnost v okviru kontrole izdelave in montaže so tudi neporušne (defektoskopske) preiskave zvarjenih spojev, s katerimi ugotavljamo vrsto, velikost in število

napak v zvarjenih spojih. Pojem kakovostne izvedbe zvarjenega spoja ni omejen le na ugotavljanje homogenosti zvara, temveč je potrebno s kontrolo spremljati izvajanje predpisanega tehnološkega postopka. Poleg tehničnih predpisov za nosilne jeklene konstrukcije obravnavajo uporabo defektoskopskih metod na področju kontrole zvarjenih spojev tudi standardi, ki definirajo delovne postopke. V nadaljevanju prispevka je prikazan pregled uporabe neporušnih preiskav na področju zagotavljanja kakovosti zvarjenih spojev nosilnih jeklenih konstrukcij.

## 2.0. KAKOVOSTNI RAZREDI ZVARJENIH SPOJEV IN OBSEG KONTROLE BREZ PORUŠITVE

Tehnični predpis za kakovost zvarjenih spojev pri nosilnih jeklenih konstrukcijah razvršča nosilne zware po njihovi zahtevnosti v tri kakovostne razrede. Pri tem določa med drugim tudi obseg potrebne defektoskopske kontrole.

**Specialna kakovost (oznaka S).** Izvršena mora biti 100%-na vizualna in notranja kontrola z uporabo ene od

Avtor:  
Marko Vončina, dipl. gradb. inž., IMK, Ljubljana  
Bogdan Jarec, dipl. inž.



zanesljivih metod preizkušanja brez porušitve. V nadaljevanju omenja izključno le radiografsko presevanje. Izdelani radiogrami morajo biti najboljše kakovosti (prvi kakovostni razred).

**Kakovost I (oznaka I).** Izvršena mora biti vizualna kontrola po celotni dolžini, po potrebi tudi kontrola površine s penetranti ali magnetofluksom. Notranja kontrola mora biti izvršena v obsegu 10–50 % z razširivjivo obsega, če so ugotovljene za to kakovost nedopustne napake. Priporoča se ultrazvočni pregled celotne dolžine zvarov, radiografsko presevanje pa na mestih ugotovljenih napak, vendar najmanj 10 % dolžine vseh zvarov (predvsem vsa eventualna križna mesta). Za radiograme zadošča drugi kakovostni razred.

**Kakovost II (oznaka II).** Predvideva se samo vizualna kontrola pred varjenjem, med in po varjenju po celotni dolžini zvarov. Defektoskopska kontrola se izvrši le na posebno zahtevo nadzornega organa, na podlagi suma, da so prisotne v zvaru napake, večje od tistih, ki se tolerirajo pri kakovosti I.

Paradokso pri navajanju potrebnega obsega defektoskopskega pregleda zvarov v navedenem pravilniku je dejstvo, da je pri zvarih kakovosti I priporočana pravzaprav tudi 100 %-na defektoskopska kontrola zvara, kljub dejstvu, da naj bi bile tu zahteve v primerjavi s S kakovostjo milejše.

Načelna razvrstitev zvarov v posamezne kakovostne razrede, ki je funkcija širše presoje nosilnosti, je za statično in dinamično obremenjene konstrukcije v predpisu podana. Konkretno se kakovost S zahteva pri natezno, dinamično obremenjenih zvarih (npr. glavni mostni nosilci, nosilci žerjavnih prog in podobno).

Pri statično obremenjenih konstrukcijah je zahteva po S kakovosti zvarov redkejša, le pri tehnološko neugodnih primerih, na debelejših elementih z izkoriščenimi napetostmi. Najčešče se za zware pri jeklenih nosilnih konstrukcijah zahteva kakovost I (npr. natezno obremenjeni zvari strešnih nosilcev, glavni pasovi daljnovidnih stebrov in podobno), redkeje II. kakovosti (npr. manj obremenjeni zvari na stojinah upogibnih nosilcev, deloma natezno obremenjeni zvari pasnic stebrov, zvari na strešnih legah in podobno).

V natančno izdelanih projektih je kakovostna razporeditev zvarov na načrtih označena (npr. »zvari so I. kakovosti«, obseg kontrole »RK 50 %). S tem je podan obseg kontrole, seveda, če je zares ugotovljena navedena kakovost. V nasprotnem primeru je potrebno obseg kontrole povečati (včasih tudi do 100 %-nega pregleda) ter izvršiti ustrezna popravila zvarov. Nesprejemljivo je mnenje, ki ga včasih zasledimo, da je z izvedbo popravil negativno ocenjenih zvarov ob nespremenjenem obsegu kontrole že zadoščeno kakovostni zahtevi.

Pri manjših konstrukcijah, ali kjer v projektu ni navedena zahteva po kakovosti zvarov, naj bo za določitev obsega in mesta kontrole zvarov odločilna ocena nadzornega organa, ki pa mora temeljiti na statični in tehnološki presoji.

### 3.0. RADIOGRAFSKA KONTROLA – IZBIRA IZVORA IN NAČINA PRESEVANJA

Na področju nosilnih jeklenih konstrukcij se največkrat srečamo z debelinami elementov od 6 do 30 mm. Kot izvor sevanja uporabljamo rentgenske aparate 200 do 300 kV napetosti ali radioaktivni izotop Ir 192 ustrezne aktivnosti. Pri večjih debelinah presevanja uporabimo tudi izotop Co 60 z večjo energijo sevanja. Možnosti zaznavanja napak v zvarih pri uporabi navedenih izvorov sevanja so različne. Izražamo jih z »zaznavnostjo radiogramov«, ki je definirana z debelino na radiogramu še vidnega najtanjšega dela indikatorja kakovosti posnetka. Tovrstni podatki obstajajo v literaturi. Po standardu DIN 54109 jih povzemamo na diagramu št. 1.

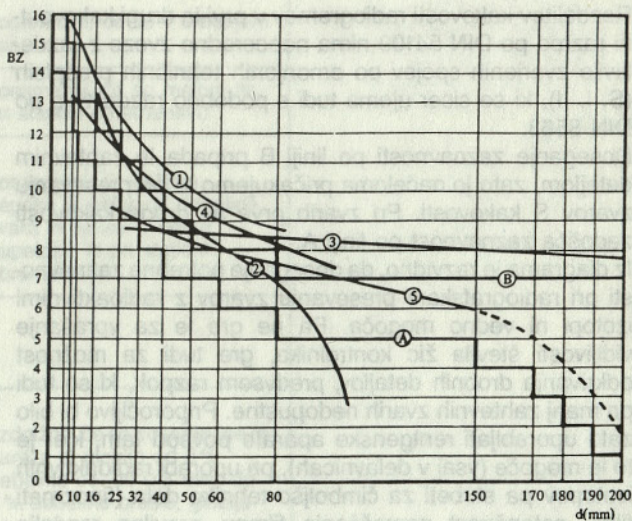


DIAGRAM 1: Minimalna možna zaznavnost pri različnih radiografskih tehnikah

- d – debelina materiala  
 BZ – zaporedna številka najtanjša žice kontrolnika vidne na radiogramu  
 1 – rentgen U = 300 kV, Pb folije, finožrnati film  
 2 – rentgen u = 300 kV, visoko ojačilne solne folije, grobožrnati film  
 3 – Betatron, Pb folije, finožrnati film  
 4 – Ir 192, Pb folije, finožrnati film  
 5 – Co 60, Pb folije, finožrnati film  
 A – minimalna vrednost BZ za radiogram kakovosti I  
 B – minimalna vrednost BZ za radiogram kakovosti II

Na abscisni osi so debeline presevanja od 0 do 200 mm, na ordinati pa številka žičnega kontrolnika (indikatorja kakovosti posnetka) 1–16.

V diagramu je z debelimi črtami vrisana pri različnih debelinah presevanja zahtevana zaznavnost radiogramov po DIN 54109 (podana je številka potrebne še vidne žice kontrolnika zaznavnosti), in to za prvi (B) in drugi (A) kakovostni razred diagramov. Poleg tega so vnešene krivulje, ki predstavljajo možne dosegoče zaznavnosti



pri uporabi različnih vrst izvorov sevanja (zanimive so krivulje 1, 4, 5).

Iz diagrama je razvidno, da je zahtevano prvorazredno kakovost radiogramov po DIN 54109 mogoče doseči le z izvori X žarkov, pri uporabi radioaktivnih izotopov Ir 192 pa le pri večjih debelinah presevanja (nad 25 mm). Zadovoljitev kakovosti v drugem kakovostnem razredu je po tem standardu možna tudi z uporabo radioaktivnega izotopa Ir 192, vendar ne pri debelinah, manjših od 6 mm. Izotop Co 60 zadošča v drugi kakovosti šele pri debelini, večji od 30 mm, na meji prve kakovosti pa je pri debelinah med 50 in 100 mm. Pri tem je potrebno upoštevati, da so podatki pogojeni z uporabo fino zrnatih filmov in Pb folij. Zelo verjetno je pri slabši tehniki presevanja doseganje zaznavnosti z izotopi pri manjših debelinah celo v II. kakovostnem razredu dvomljivo.

Razdelitev kakovosti radiogramov v prvi in drugi kakovostni razred po DIN 54109 nima neposredne zveze z razdelitvijo zvarjenih spojev po omenjenih tehničnih predpisih (S, I, II), ki se sicer ujema tudi s podobno razdelitvijo po DIN 8563.

Doseganje zaznavnosti po liniji B pripada le zahtevnim detajlom, zato jo načeloma pričakujemo le pri presevanju zvarov S kakovosti. Pri zvarih prve ali druge kakovosti zadošča zaznavnost po liniji A.

Iz diagrama je razvidno, da doseganje potrebne zaznavnosti pri radiografskem presevanju zvarov z radioaktivnimi izotopi ni vedno mogoča. Pa ne gre le za vprašanje vidljivosti števila žic kontrolnika, gre tudi za možnost odkrivanja drobnih detajlov, predvsem razpok, ki so tudi pri manj zahtevnih zvarih nedopustne. Priporočljivo bi bilo zato uporabljati rentgenske aparate povsod tam, kjer je to le mogoče (vsaj v delavnicah), pri uporabi radioaktivnih izotopov pa skrbeti za čimboljšo tehniko dela (fino zrnati filmi, natančnost nameščanja filmov, pravilna razdalja izvor-film in eksponaža, natančnost razvijanja filmov itd.). Pri konstrukcijah sestavljamo najčehše nosilne elemente iz valjanih profilov (L, U, I profili) ali zvarjenih nosilcev. Presevanje zvarov naj bi bilo izvršeno še pred sestavo posameznih profilov v nosilni element. V primeru, da to ni mogoče (npr. pri montažnih zvarih sestavljenih nosilcev ali pri valjanih profilih), pa je potrebno položiti film na zunanji strani nosilca. Često se namreč radiografski film namešča na notranji strani pasnice in istočasno preseva zvara na obeh straneh pasnice.

Tak način presevanja pomeni prihranek časa, preprečuje pa vpogled v homogenost zvara na mestu med stojino in pasnico.

Površinske poškodbe in obrizgi od elektrod naj bi se pred radiografsko kontrolo odstranili, minimizirani zvari pa naj se zaradi omejene vidljivosti detajlov ne preseavajo.

#### 4.0. ČITANJE IN OCENA RADIOGRAMOV

Na tehnično zadovoljivo izdelanih radiogramih evidentiramo prisotne nehomogenosti v zvaru. Glede na vrsto, velikost in pogostost napak, radiograme enoveljavno klasificiramo in ocenimo. Temu sledi presoja sprejemljivosti evidentiranih napak v zvaru.

Za enoveljavno razvrstitev radiogramov obstajajo pripomočki, kot je npr. kartoteka vzorčnih radiogramov z napakami, ki jo je izdal mednarodni inštitut za varjenje IIV/IIS. Vzorčni radiogrami so razvrščeni na podlagi vrste, velikosti in pogostosti napak v pet stopenj, označenih z barvami (črna – najboljše, rdeča – najslabše). V praksi barve nadomestimo s številčnimi ocenami od 1 do 5. Vrste napak na vzorčnih radiogramih so označene s črkami od A do F. Izdelane radiograme klasificiramo na podlagi primerjave z omenjenimi radiogrami.

V tehničnih predpisih za zvarjene spoje nosilnih jeklenih konstrukcij so vrste napak v zvarih podobno definirane. Veljavni predpisi za zvarjene jeklene nosilne konstrukcije pa imajo poleg oznake za skupino, podskupino, označeno s številkami npr. A (pore) od 1 do 3, B (vključki žilindre) od 1 do 5, C (nespojena mesta), D (korenske napake) od 1 do 6, F (površinske napake) od 1 do 11 ter E (razpoke) od 1 do 4. Še bolj natančno pa z drugim načinom definira napake JUS C.3.020.

Navajamo primer:

Po IIV/IIS pomeni oznaka Ea vzdolžno razpoko. JUS C.3.020 za vzdolžno razpoko (skupina 101) definira štiri podskupine:

- 1011 vzdolžna razpoka v zvaru,
- 1012 vzdolžna razpoka v prehodni coni,
- 1013 vzdolžna razpoka v toplotno vplivani coni,
- 1014 vzdolžna razpoka v osnovnem materialu.

Podobno so označene tudi druge vrste napak.

Ocena sprejemljivosti napak je kompleksen problem, odvisen od raznih dejavnosti, ki narekujejo presojo dopustnih napak v posameznih primerih.

Načeloma je presoja pri natezno obremenjenih zvarih strožja kot pri tlačno obremenjenih, pri dinamično obremenjenih strožja, kot pri statično obremenjenih. Tudi linijska (ploskovna) oblika napake je zaradi večje koncentracije napetosti manj ugodna kot okrogla (volumenska).

Kaj o sprejemljivosti napak določa predpis o kakovosti zvarjenih spojev pri nosilnih jeklenih konstrukcijah? V predpisu so napake najprej definirane po velikosti in pogostosti, potem pa je podana njihova dopustnost v zvarih pri različno zahtevnih konstrukcijah.

Napake so po velikosti razvrščene v kategorije:

- drobne: velikost ne presega 5% debeline zvara, vendar ne večje od 3 mm;
- majhne: velikost 5 do 15% debeline zvara, vendar ne večje od 6 mm;
- srednje: velikost od 15 do 30% debeline zvara, vendar ne večje od 9 mm;
- velike: večje od srednjih.



Vrsta napake	Kakovost S	Kakovost I	Kakovost II
A – pore A1 do A4	A1 (okrogle): – posamezne, če so manjše  A2 (črvičaste): – v nizu NE – skupine NE – posamezne, če so krajše od 30 % debeline zvara, oz. tanjše od 10 % debeline zvara  A + B – posamezne, če so male	A1 (okrogle): – posamezne – v skupinah, če vsota A + B na odsekih petkratne debeline zvara ne presega 5 % površine zvara  A2 (črvičaste): – posamezne, če so krajše od 30 % debeline zvara oz. tanjše od 20 % debeline zvara – v nizu, če vsota A + B na odsekih petkratne debeline zvara ne presega 5 % površine zvara – v skupinah (enako, kot v nizu)	Glede homogenosti so lahko napake nekaj večje kot pri zvaru I. kakovosti  Defektoskopska (notranja) kontrola ni predvidena, izvaja se le na posebno zahtevo
B – vključki B1 do B5	B1: – posamezni, če so manjši – v nizu NE	B1: – posamezni, če so v srednjem pasu	
C – nespojeno mesto	NE	– posamezni, če so majhni (le pri statični obremenitvi)	
D – neprevarjen koren D1 do D6	NE	NE – posamezni, če dolžina napake ni večja od debeline zvara in če leži v smeri napetosti, le pri statični obremenitvi	
E – razpoke E1 do E4	NE	NE	
F – napake na površini F1 do F11	F1 – NE – vzdolžne, če so, navariti oz. brusiti pri globini do 3 % debeline – prečne, le do 5 % debeline globlje brusiti, le pri statični obremenitvi  F2: – navariti  F3: – brusiti (pri dinamični obremenitvi le do 3 % debeline)  F9: NE	F1: – vzdolžne, če so posamezne in zareza ni globlja od 3 % debeline oz. do 0,5 mm, do 5 % debeline brusiti, globlje navariti – prečne, če zareza ni globlja od 10 % zvara in če so v smeri napetosti, sicer brusiti  F2: – le do 5 % debeline zvara  F3: – do 15 % debeline zvara oz. do 3 mm	

PREGLEDNICA 1:  
Kriterij sprejemljivosti napak v zvarih

Po pogostosti so napake posamične, pogostejše in skupinske (gnezda). Za napake tipa A in B (pore in vključki žilindre) velja, da so posamične, če je njih medsebojna razdalja večja od 20-kratne velikosti največje posamične napake. Pogostejše so takrat, kadar je njihova medsebojna razdalja 8 do 20-kratna velikost največje posamične napake, skupinske pa, če je njihova medsebojna razdalja manjša od 8-kratne velikosti največje posamične napake. Za ostale vrste napak (razen za razpoke) se šteje, da so posamične, če njihova skupna dolžina ne presega 5 %

dolžine filma oziroma zvara na filmu, pogostejše so, če znaša ta dolžina 5 do 10 % dolžine filma, in skupinske, če je dolžina od 10 do 25 % dolžine filma.

V preglednici št. 1 so podani kriteriji za sprejemljivosti napak v zvarih S, I. in II. kakovosti.

Razvidno je, da napake v vezavi (C), neprevarjeni koren (D) in razpoke (E) v zvarjenih spojih pri nosilnih jeklenih konstrukcijah niso dopustne oziroma nekatere od njih, pri prvi oziroma drugi kakovosti, samo pogojno dopuščene. Tudi pri ostalih vrstah napak je sprejemljivost omejena glede na velikost in pogostost napak.



## 5.0. RADIOGRAFSKI IZVID

Potrdilo o radiografskem presevanju zvarov je del obvezne dokumentacije za tehnični prevzem, ki mora poleg datuma in kraja izvršenih preiskav vsebovati še:

- podatke o uporabljeni tehniki presevanja (izvor sevanja, vrsta filma in folije, kontrolnikov),
- obseg presevanja in dispozicijsko skico presevanih zvarov,
- pregled negativno ocenjenih zvarov in popravil,
- podatke o ponovni radiografski kontroli popravljenih zvarov.

## 6.0. ULTRAZVOČNA KONTROLA ZVAROV

V tehničnih normativih za izdelavo nosilnih jeklenih konstrukcij je ultrazvočna metoda preizkušanja brez porušitve omenjena kot alternativa radiografskemu presevanju zvarov. Kljub naraščajoči uporabi ultrazvoka pa v praksi pri kontroli zvarov na konstrukcijah radiografija še prevladuje. Razlogov za to je več, med drugim npr. kratke dolžine soležnih zvarov elementov in majhne debeline, ki se spreminjajo, povzročajo pogosto menjavanje parametrov in s tem pogojev preizkušanja. Zvari na pogosto uporabljenih valjanih profilih, manjših dimenzij, z geometrijsko neugodno izoblikovano nogo profila in s spreminjajočo se debelino pasov so za ultrazvok nerodni. Površine zvarov so večinoma neenakomerne, često koordinirana površina ob zvarih pa zahteva brušenje zaradi neenakomernega vodenja glave. Dokumenta o preiskavi, podobnemu radiogramu, tovrstna metoda vsaj pri rutinskem delu ne nudi. Tudi osebe, ki zvare ultrazvočno kontrolira, mora biti tako glede strokovnosti kot tudi odgovornosti in zaupljivosti skrbno izbrano.

Navedene težave sicer ne onemogočajo uporabe ultrazvoka pri kontroli zvarov na nosilnih jeklenih konstrukcijah, le prednosti tega načina so na konstrukcijskih elementih manj izrazite kot tam, kjer obstajajo zvari večjih dolžin in konstantne debeline.

Kljub izraženim pomislekom pa je uporaba ultrazvoka tudi na tem področju v določenih primerih ne le aktualna, temveč celo priporočljiva. Na primer pri zvarih še nesestavljenih pasnic ali stojnih nosilcev v delavnici, posebno pri elementih srednjih ali celo večjih debelin in upoštevanju lastnosti ultrazvoka za zanesljivo ugotavljanje ploskovnih napak. Tudi v primeru razširjanja defektoskopske kontrole zvarov, na katerih je bil izvršen le delni pregled, je prednost ultrazvoka očitna. Ni zanikati tudi praktično izključne uporabnosti ultrazvoka pri pogostih kontrolah dvoplastnosti in slojivosti pločevin kot tudi velikokrat uporabljane kontrole stvarnih debelin elementov konstrukcije.

Glede na specifičnost ultrazvočnega preizkušanja naj bi izvid vseboval vse podatke o izvršenem delu. Ustrezni standardi za tovrstna preizkušanja so redki in le splošni. Obstajajo pa podrobnejše smernice za uporabnost ultrazvoka, konkretno npr. za preizkušanje zvarov, kjer so opisani postopki od justiranja aparata do načinov ocenjevanja vrst in velikosti napak v zvarih.

V izvidih naj bodo zato navedeni podatki o sredstvih preizkušanja (aparati, vrsta in tip preizkuševalne glave, kontaktni medij, stanje površine itd.), o načinu justiranja in občutljivosti preizkušanja (justirni reflektor, registrirana meja v dB, občutljivost preizkušanja in korekture zaradi stanja površine in eventualnega dušenja), o smeri preizkušanja (iz ene ali obeh strani zvara, iz zgornje-temenske ali spodnje-korenske strani, vzdolžno ali v prečni smeri zvara), o definiranju napak v zvarih po dolžini, vrsti in velikosti (primerjalna metoda, AVG metoda, dolžina in lega napake, ploskovna ali volumenska napaka itd.). Navedeni podatki predstavljajo dokument o izvršeni ultrazvočni kontroli homogenosti zvarov in omogočajo tudi obnovitev enakih pogojev preizkušanja pri morebitni kasnejši ponovitvi preiskave.

## 7.0. PROBLEMATIKA KOTNIH ZVAROV

Problematika kotnih zvarov bi zahtevala tako glede vprašanja nosilnosti kot ugotavljanja kakovosti posebno pozornost. Dejstvo je, da se pri nosilnih jeklenih konstrukcijah pogosto srečujemo s kotnimi zvari, ker omogočajo enostavno konstrukcijsko izvedbo, največkrat brez obdelave zvarnih žlebov pri priključevanju posameznih nosilnih elementov.

Od pravilnega konstituiranja je odvisna pametna razvrstitev kotnih zvarov glede obremenitve (pretežno strig, le delno kombinacija z upogibom). Dopustne napetosti pri izračunu so zmanjšane. V primeru večjih obremenitev se obliki kotnega zvara brez preventive izognemo z izvedbo K zvara, ki je glede nosilnosti dosti ugodnejši.

Defektoskopske preiskave kotnih zvarov se redko opravljajo. Tako zaradi dejstva običajno manj zahtevnih obremenitev kot tudi omejenih možnosti zaznavanja napak. Radiografsko presevanje je sicer v odvisnosti od položaja zvara (pristopnost) mogoče, zato ga včasih uporabimo. Pregled z ultrazvokom je načeloma mogoč, vendar zaradi majhnih debelin zvarov, kar je najbolj pogosto, obstajajo pri preiskavi lahko nekatere težave. Še najpogosteje uporabljamo poleg vizualne še enostavno kontrolo z magnetofluksumom ali penetranti. Tako se prepričamo, ali se niso na površini zvara ali pri prehodu v osnovni material pojavile kake razpoke.

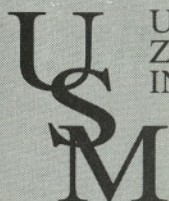
## 8.0. SKLEP

Upamo, da smo v prispevku uspeli prikazati pomembnost neporušnih preiskav na področju zagotavljanja kakovosti izvedbe zvarjenih spojev. Tudi na tem področju je Inštitut za metalne konstrukcije sodeloval pri izgradnji, vzdrževanju in sanaciji številnih pomembnih objektov v Sloveniji in zunaj nje. Z opremo za izvajanje najpomembnejših defektoskopskih preiskav, z bogatimi izkušnjami ne samo sodelavcev defektoskopskega oddelka, temveč Inštituta kot celote, bomo lahko tudi v prihodnje uspešno sodelovali pri razvoju tehnoloških postopkov varjenja in s kontrolami zagotavljali kakovostno izvedbo varjenih nosilnih konstrukcij.



## LITERATURA

1. Tehnični predpisi za nosilne jeklene konstrukcije in ustrežni standardi
2. DIN 54109



URAD REPUBLIKE SLOVENIJE  
ZA STANDARDIZACIJO  
IN MEROSLOVJE

STANDARDS AND METROLOGY  
INSTITUTION  
OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA

REPUBLIKA SLOVENIJA  
**MINISTRSTVO ZA ZNANOST IN TEHNOLOGIJO**  
**Urad za standardizacijo in meroslovje**

Slovenska 50 (Titova 32)  
61000 Ljubljana

Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje je začel izdajati mesečni bilten

## **SPOROČILA,**

ki je informativno-strokovni časopis, namenjen prenosu informacij med vsemi zainteresiranimi na področju standardizacije, meroslovja, preskušanja in pooblaščenja laboratorijev ter izobraževanja na tem področju pri nas in v tujini. Da bi z mesečnikom SPOROČILA pravočasno prispeli pravi podatki in informacije na pravo mesto in bi se zaradi tega olajšal pretok blaga in storitev ter zmanjšala tveganja gospodarskih subjektov pri nastopanju na vedno bolj zahtevnih trgih, je potrebno vsestransko sodelovanje med vsemi zainteresiranimi na področju delovanja USM.

Zaradi tega si želimo, da bi našli krog odzivnih naročnikov, ki SPOROČIL ne bodo le bežno prelistali, ampak poiskali v njih tisto ali tista sporočila, ki so zanje neposredno zanimiva in jim bodo lahko pomagala pri delu.

Prva številka SPOROČIL je izšla ob izteku leta 1991. Odločili smo se, da jo izdamo brezplačno in razpošljemo na naslove, na katerih smo pričakovali odziv. Če slučajno ni našla poti do vas, nas pokličite in radi vam bomo postregli z vsemi informacijami. Konec januarja 1992 bomo izdali prvo letošnjo številko mesečnika SPOROČILA in jo razposlali naročnikom.

### **Naročila sprejemamo na naslov:**

Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje  
Slovenska cesta 50 (Titova 32), 61000 Ljubljana  
tel. 111 107, fax 302 947



# ZAMENJAVA NH<sub>3</sub> KONVERTERJA

UDK 621.642.3

IVAN GAŠPAROVIČ, IVAN BRAČKO

## POVZETEK

Izdelava tehnoloških postopkov za montažo novih jeklenih konstrukcij in opreme pred začetkom gradnje objekta je za strokovnjake rutinski posel pa čeprav je potrebno razrešiti še tako zahtevne probleme. S pravilno opredelitvijo posameznih faz gradnje in uporabo primernih delovnih pripomočkov je namreč mogoče celotno gradnjo izpeljati optimalno. Povsem drugačna situacija nastopi takrat, kadar je potrebno v že zgrajenem objektu obnoviti le en njegov del ali pa v kompleksnem postrojenju zamenjati samo en element. Pričujoči članek prikazuje specifičnost takega problema, ko smo morali na zgrajenem objektu v celotnem postrojenju ob težkih delovnih pogojih zamenjati samo en del – 2500 kN težek konverter.

## EXCHANGE OF NH<sub>3</sub> CONVERTER

## SUMMARY

Preparation of erection procedure for erection of new steel structures and equipment before the beginning of plant construction is a routine job for the experts although it is necessary to resolve most critical items. With proper application of each individual construction phase and adequate construction equipment is possible to perform complete construction with optimal effect. Totally different conditions appear in the case of reconstruction of only one single part or in the case of exchange of such a part in an existing plant. Present article shows specific problematics when we had to exchange only one single part – 2500 kN converter – on existing plant in heavy work conditions.

## 1.0. UVOD

V tovarni za proizvodnjo amonijaka v bližini libijskega mesta Marsa el Brega je prišlo na konverterju za proizvodnjo NH<sub>3</sub> do tako velike okvare, da njegovo popravilo ni bilo več smotno. Zato se je naročnik odločil za nakup novega, ki ga je dobavilo priznано zahodnoevropsko podjetje. Tehnično zelo zahtevno delo – demontažo poškodovanega in montažo novega konverterja – pa sta dobavitelj in naročnik predala EM Hidromontaži iz Maribora.

Sama tehnologija demontaže starega konverterja, težkega 2500 kN in visokega ca. 19,0 m ter montaže novega,

težkega tudi 2500 kN in visokega ca. 15,0 m, ne bi bila tako zahtevna, če bi imeli na razpolago dve primerno visoki in dovolj močni avtodvigali. Glede na težo in dimenzijo starega in novega konverterja bi potrebovali eno dvigalo nosilnosti 7000 kN in eno dvigalo nosilnosti 1800 kN. V tem primeru bi morali zaradi pristopa dvigal in njunega obratovalnega prostora začasno demontirati tudi precej okoliške opreme. Na gradbišču smo imeli v tistem času na razpolago samo lastno avtodvigalo nosilnosti 1800 kN. Transport velikega avtodvigala nosilnosti 7000 kN v Libijo ekonomsko ni bil upravičen, najemnina zanj v Libiji pa bi bila izjemno visoka. Zaradi vseh navedenih okolištin smo morali v najkrajšem možnem času poiskati drugačno rešitev, ki bi ustrezala tehnično, rokovno in cenovno.

Po vsestranskih analizah v matičnih hiši v Mariboru smo našli primerno nadomestilo za dvigalo nosilnosti 7000 kN. Le-to smo nadomestili z dvema sistemoma:

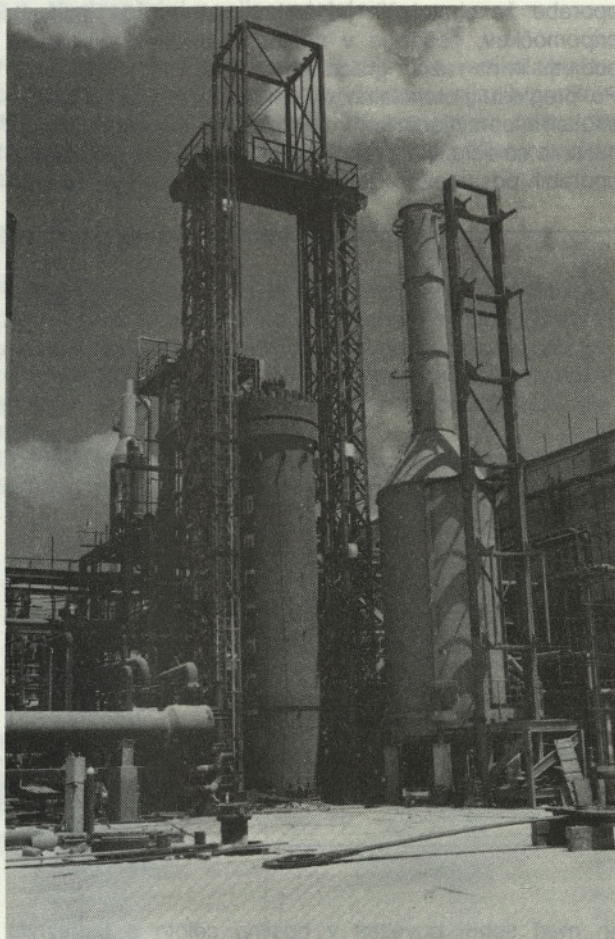
– z jekleno portalno konstrukcijo s prigradenimi 8 hidravličnimi »oprijemnimi plezalkami« (Bygging Hydraulische Kletterheber) vsaka z nosilnostjo 420 kN in s pripadajočo pogonsko opremo za dviganje in spuščanje (slika 1);

### Avtorja:

Ivan Gašparovič, dipl. ing. gradbeništva  
Vodja skupine za jeklene konstrukcije,  
EM HIDROMONTAŽA Maribor,  
62000 Maribor, Gosposvetska 84

Ivan Bračko, dipl. ing. strojništva  
Direktor sektorja Projektivni biro,  
EM HIDROMONTAŽA Maribor,  
Sektor projektivni biro,  
62000 Maribor, Gosposvetska 84



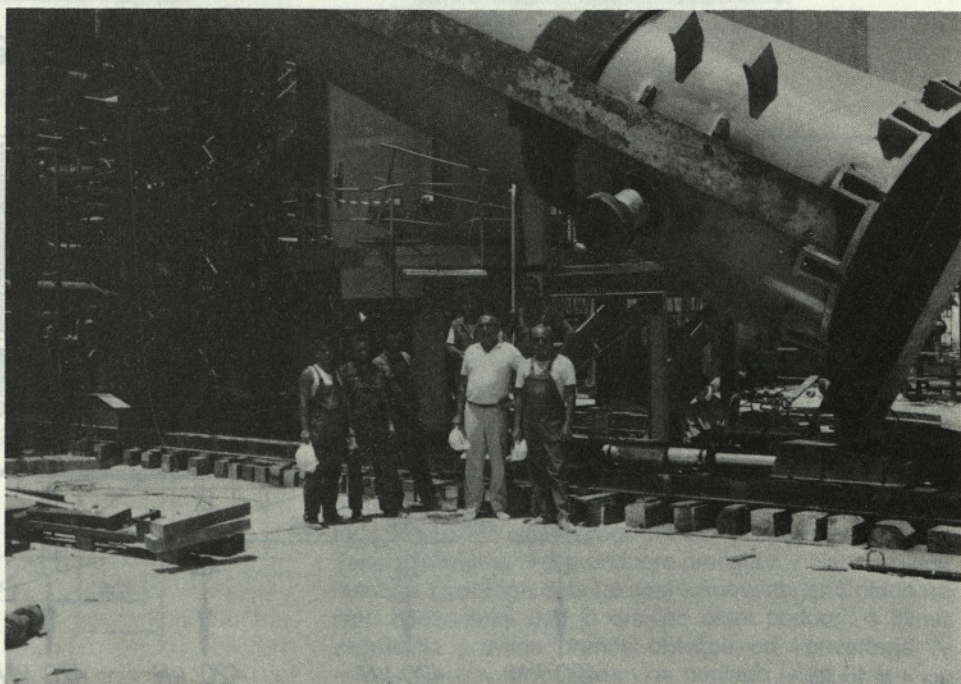


Slika 1

– z drsno podporo in progo, na katero sta bili pritrjeni dve hidravlični tlačilki »Lucas« s pripadajočo pogonsko opremo (slika 2).

Celoten tehnološki postopek demontaže starega in montaže novega konverterja, projekte za jekleno portalno konstrukcijo in drsno podporo oziroma progo ter ostale pomožne konstrukcije je izdelala EM Hidromontaža Maribor.

**ELEKTROKOVINAR LAŠKO**  
 Podjetje kovinskih izdelkov p.o.  
 63270 LAŠKO  
 CELJSKA CESTA 52



Slika 2



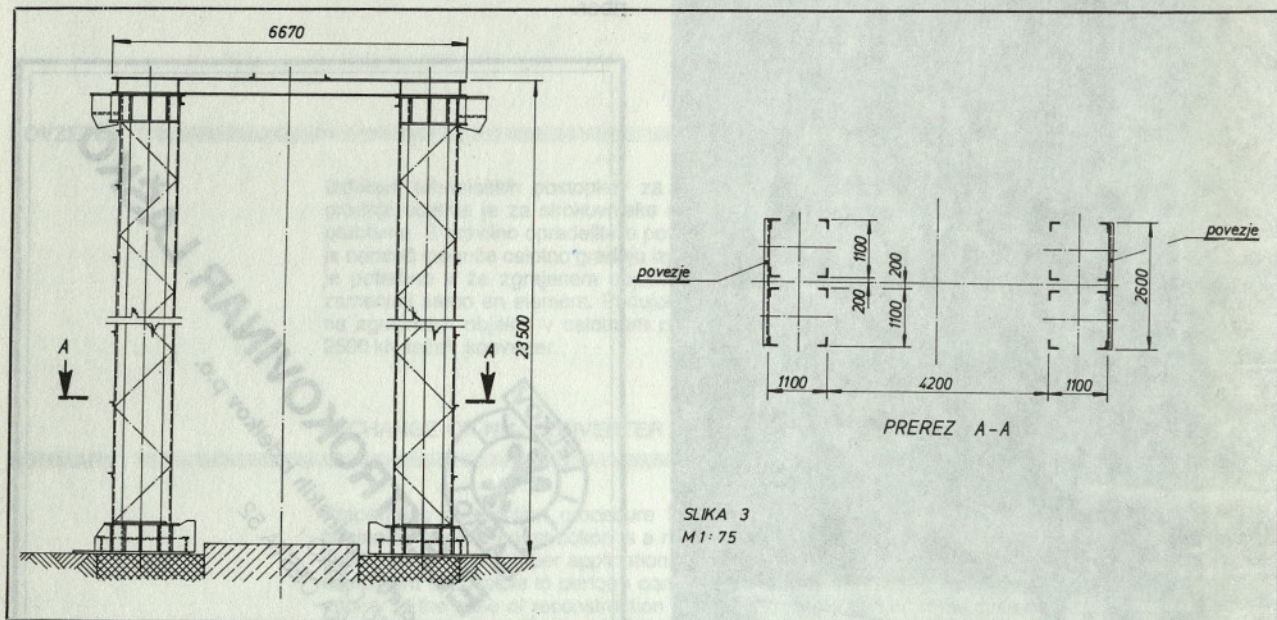
## 2.0. JEKLENA PORTALNA KONSTRUKCIJA

### 2.1. Tehnični podatki

Višina:	H = 23,50 m
Tlorisne dimenzije:	axb = 6,67 m × 2,50 m
Dopustna nosilnost:	Q = 3360 kN

uporabe že obstoječih jeklenih konstrukcij in delovnih pripomočkov, česar je v naših skladiščih v matičnem podjetju in na raznih gradbiščih precej.

Po pregledu potencialno najprimernejših tovrstnih konstrukcij in opravljenih kontrolnih statično-trdnostnih izračunih smo se odločili za »pravo« rešitev. Za dva stebra smo uporabili posamezne dele naših montažnih igel, ki smo

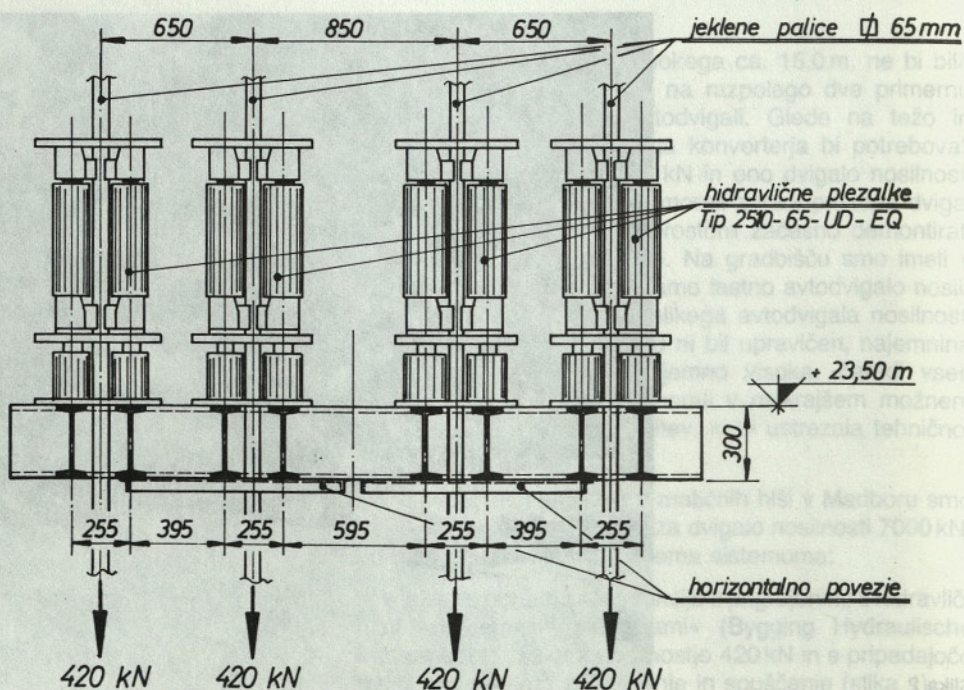


SLIKA 3  
M 1 : 75

### 2.2. Stebri

Zaradi velikih stroškov nabave novega materiala in izdelave stebrov smo že v osnovnih izhodiščih iskali optimalnejšo rešitev. Tako smo analizirali možnost čim večje

jih med seboj povezali v nosilno celoto z ustreznim povezjem iz novega materiala. Prihranek v času in stroških je bil več kot očiten.



Slika 4 M 1 : 25



### 2.3. Horizontalni nosilec portala

Horizontalni nosilec portala povezuje oba vertikalna stebra. Sestavljen je iz 8 novih standardnih valjanih profilov INP 30 (jeklo č. 0361). Profili so razporejeni tako, da omogočajo namestitvev po 4 hidravličnih »oprijemnih plezalk« ob vsakem stebri (slika 4).

### 2.4. Temeljenje portalne konstrukcije

Portalno konstrukcijo s sorazmerno veliko nosilnostjo (3360 kN) je bilo potrebno ob vsakem stebri sidrati v ustrezne temelje. Izhajajoč iz osnovnega cilja, da morajo biti vse vzporedne aktivnosti čim enostavnejše in cenejše ter rokovno čim krajše, smo tudi za to poiskali ustrezno rešitev.

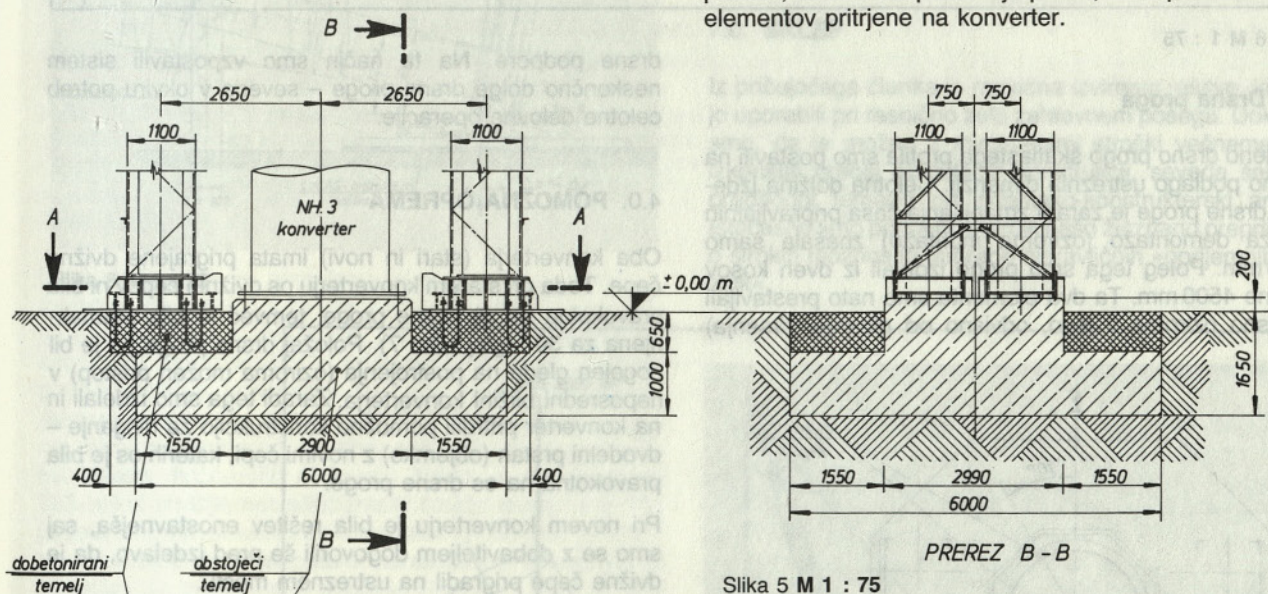
Tlorisne dimenzije jeklene portalne konstrukcije smo določili tako, da potrebno sidranje v čim večji meri prevzame

obstoječi temelj, istočasno pa ostane med stebri portalne konstrukcije potreben prostor za manipulacijo s konverterjem.

Za sidranje oziroma temeljenje portalne konstrukcije smo torej izkoristili v celoti obstoječe armirane betonske temelje starega in istočasno tudi novega konverterja, ki smo jih zaradi zagotovitve ustrezne nosilnosti minimalno razširili-dobetonirali in armirali (slika 5).

### 2.5. Dvižne palice

Sistem delovanja hidravličnih »oprijemnih plezalk« je povsem enostaven. Kakor pri zobniškem pogonu fiksno gonilno zobato kolo poganja pomično zobato letev, tako omenjene »plezalk« poganjajo – pomikajo navzgor ali navzdol dvižne palice. Ime »plezalk« moramo v danem primeru razumeti pogojno: ker so »plezalk« fiksno pritrjene na jekleno konstrukcijo, le-te ne plezajo po dvižnih palicah, temveč se premikajo palice, ki so prek ustreznih elementov pritrjene na konverter.



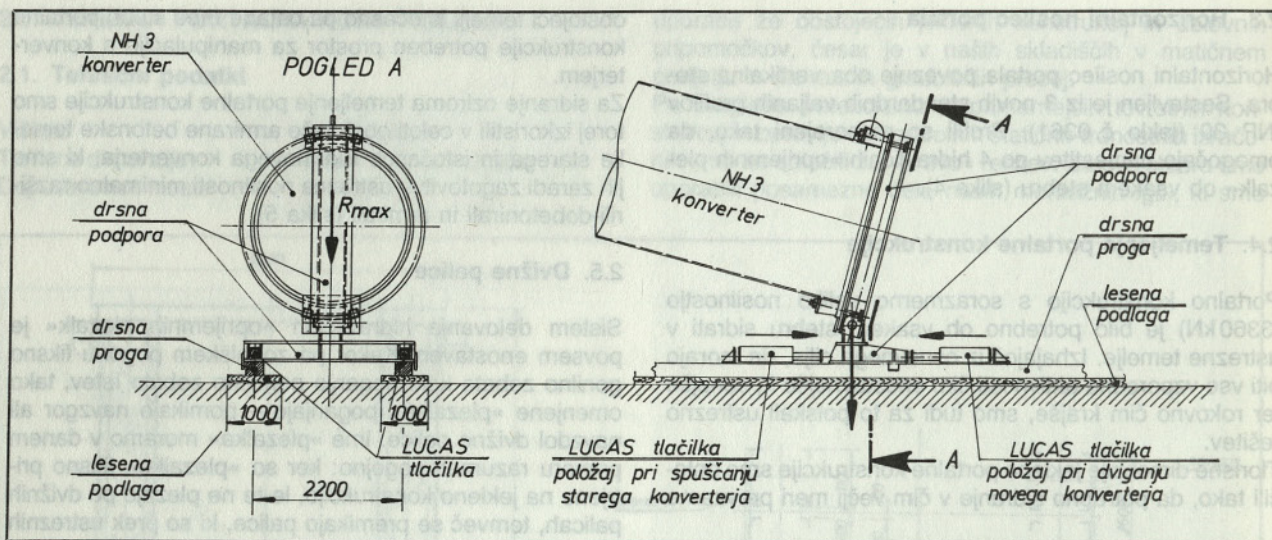
Slika 5 M 1 : 75

### 3.0. DRсна PODPORA IN DRсна PROGA

#### 3.1. Drсна podpora

Drсна podpora je sestavljena iz dveh medsebojno členkasto spojenih delov. En del je v fazi demontaže starega konverterja in v fazi montaže novega konverterja z vijaki pritrjen na spodnji del konverterja. Delitev izvrtin za vijake na tem delu drsne podpore je prilagojena delitvi izvrtin za vijake na konverterju, s katerimi se le-ta sidra v temelj. Drugi del drsne podpore je element, ki nadzorovano drsi po drsni progi. Prek tega elementa se obtežba od konverterja prenaša na drsno progno in prek nje dalje na podlago. Tako zasnovana drsna podpora omogoča v členku zasuk njenega zgornjega dela (skupaj s konverterjem) glede na njen horizontalni del, ki drsi po drsni podpori, s čimer zagotavlja pravilen prenos obtežbe od konverterja (v vsakem njegovem položaju) na podlago (slika 6).

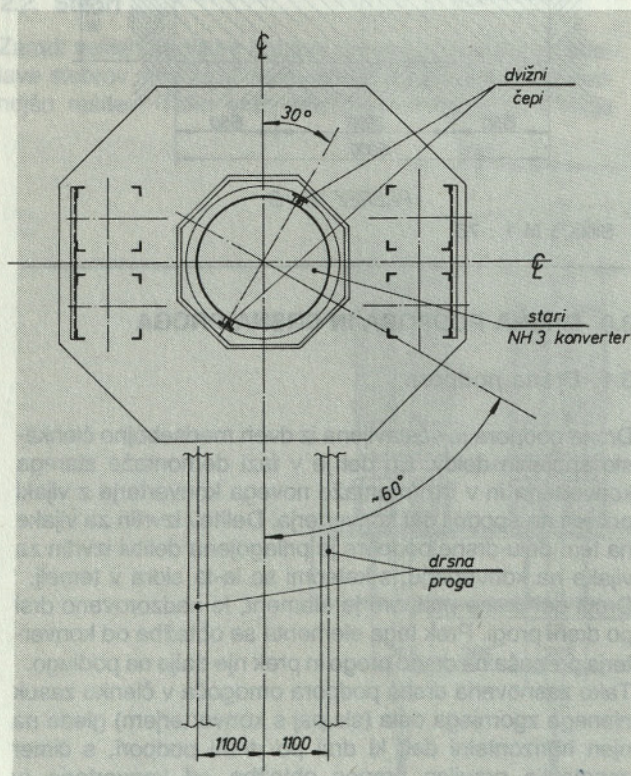




Slika 6 M 1 : 75

### 3.2. Drсна proga

Zvarjeno drsno progo škatlastega profila smo postavili na leseno podlago ustreznih dimenzij. Celotna dolžina izdelane drsne proge je zaradi zmanjšanja časa pripravljajnih del za demontažo (oziroma montažo) znašala samo 9000 mm. Poleg tega smo progo izdelali iz dveh kosov dolžine 4500 mm. Ta dva elementa smo nato prestavljali v desno oziroma v levo, odvisno od gibanja (drsenja)



Slika 7 M 1 : 75

drsne podpore. Na ta način smo vzpostavili sistem neskončno dolge drsne proge – seveda v okviru potreb celotne delovne operacije.

### 4.0. POMOŽNA OPREMA

Oba konverterja (stari in novi) imata prigradjene dvižne čepe. Toda pri starem konverterju os dvižnih čepov ni bila pravokotna na os drsne proge, temveč je bila premaknjena za 30° (glej sliko 7). Položaj drsne proge pa je bil pogojen glede na postrojenja (oziroma možen pristop) v neposredni bližini konverterja. Zaradi tega smo izdelali in na konverter pritrdili pomožno konstrukcijo za dviganje – dvodelni prstan (objemko) z novimi čepi, katerih os je bila pravokotna na os drsne proge.

Pri novem konverterju je bila rešitev enostavnejša, saj smo se z dobaviteljem dogovorili še pred izdelavo, da je dvižne čepe prigradil na ustreznem mestu.

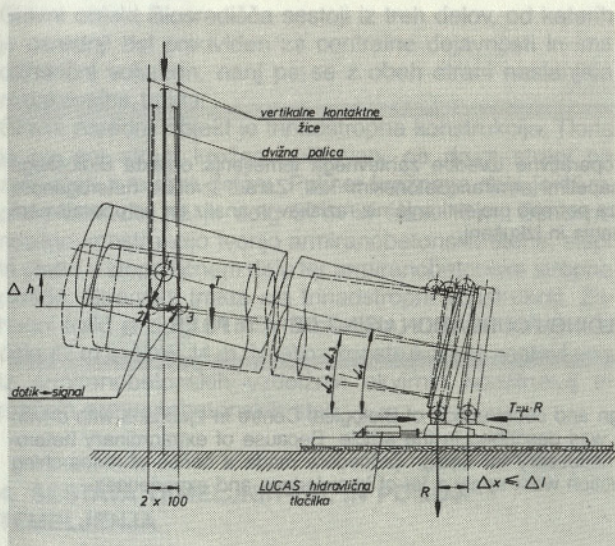
### 5.0. NAPRAVA ZA KONTROLO VERTIKALNOSTI

Portalna konstrukcija je bila dimenzionirana predvsem na vertikalno obtežbo. V horizontalni smeri smo upoštevali samo vpliv vetra in minimalno horizontalno silo zaradi poševnega dviganja ali spuščanja konverterja. Da ta horizontalna sila ne bi prekoračila računsko upoštewane vrednosti, smo predvideli napravo za kontrolo vertikalnosti gibanja dvižnih palic.

Naprava je bila izredno enostavna. Ob vsakem stebru jeklene konstrukcije smo pritrdili dve napeti vertikalni jekleni žici, oddaljeni po 100 mm levo in desno od osi dvižnih čepov oziroma osi konverterja. V osi dvižnih čepov pa smo na konverter navarili jekleni letvi, ki sta se pri (pre)poševnem dviganju ali spuščanju dotaknili ene izmed jeklenih žic ter vklopili vizualno (signalna svetilka) in zvočno (zvonec) alarmno napravo. Pri prevelikem odstopanju od vertikalnosti smo tako dobili opozorilo, da je



potrebno dviganje oziroma spuščanje s hidravličnimi »oprijemnimi plezalkami« prekiniti. Sledilo je pomikanje spodnjega dela konverterja na drsni podpori s hidravličnimi tlačilkami »Lucas« za vrednost  $\Delta X$  v levo ali desno – v odvisnosti od dviganja ali spuščanja, dokler dvižne palice niso prišle v vertikalni položaj oziroma dokler naprava za kontrolo vertikalnosti ni signalizirala nasprotnega mejnega položaja (slika 8).



Slika 8 M 1 : 75

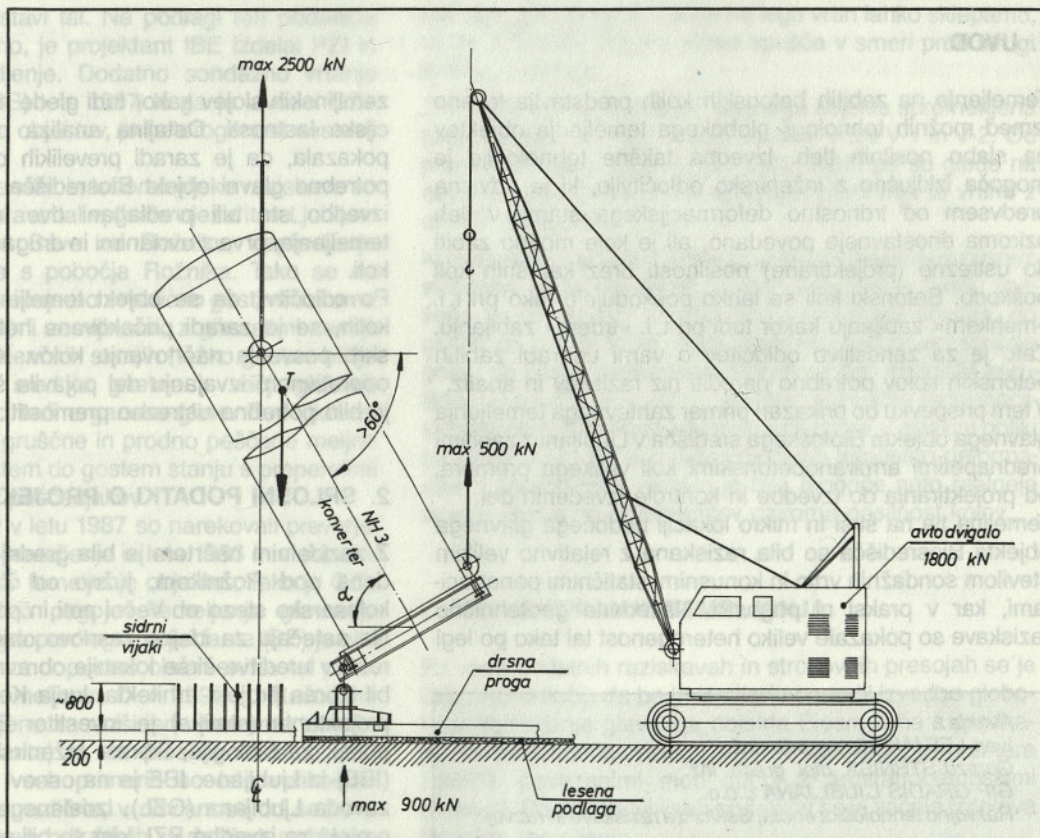
Pri manjših kotih  $\alpha$  je konverter z drsno podporo drsel po drsni progi sam od sebe zaradi manjše vertikalne reakcije  $R$  in manjše horizontalne sile trenja  $T = \mu \cdot R$ , sicer pa so bile v funkciji hidravlične tlačilke »Lucas«.

6.0. KRATEK OPIS CELOTNEGA POSTOPKA

Dviganje novega in spuščanje starega konverterja je potekalo v dveh fazah. Iz horizontalnega položaja do kota  $60^\circ$  (oziroma obratno) je konverter drsel z drsno podporo po drsni progi. Od kota  $60^\circ$  do vertikalnega položaja konverterja (oziroma obratno) pa je njegovo delno obtežbo na spodnjem delu prevzelo pomožno dvižno sredstvo – avtodvigalo nosilnosti 1800 kN. To je bilo potrebno iz dveh vzrokov: zaradi tega, ker sta bili drsna podpora in drsna proga dimenzionirani na maks. obremenitev 900 kN ter zato, da smo lahko konverter v vertikalnem položaju dvignili nad iz temeljev štrleče sidrne vijake (slika 9).

7.0. SKLEP

Iz pričujočega članka je razvidna izvirnost rešitve, ki smo jo uporabili pri resnično zelo zahtevnem posegu. Dokazali smo, da je možno z minimalnimi stroški večnamensko izkoristiti precej obstoječih konstrukcij, seveda šele po predhodni temeljiti projektantsko-konstrukterski analizi. Istočasno smo ponovno potrdili našo že znano prepričanje o širokih možnostih uporabe hidravličnih »oprijemnih plezalk«.



Slika 9 M 1 : 75



# PRIMER ZAHTEVNEGA TEMELJENJA OBJEKTA NA ZABITIH BETONSKIH KOLIH

UDK 624.155

IVAN LESJAK, GORAZD STRNIŠA

## POVZETEK

Članek opisuje primer projektne in operativne izvedbe zahtevnega temeljenja objekta Biološkega središča v Ljubljani z zabitimi prednapetimi armiranobetonskimi koli. Zaradi izredne heterogenosti temeljnih tal je bilo potrebno narediti za potrebe projektiranja niz raziskav in analiz ter pri operativnem izvajanju del uporabiti veliko mero znanja in izkušenj.

## AN EXAMPLE OF A DELICATE BUILDING FOUNDATION USING DRIVEN PILES

### SUMMARY

Example of exacting foundation design and construction of Biological Centre in Ljubljana with driven prestressed reinforced concrete piles was described in the article. Because of extraordinary heterogeneity of foundation ground it was necessary for design procedure made a series of researching work and few analysis and in construction work apply a lot of knowledges and experiences.

### 1. UVOD

Temeljenje na zabitih betonskih kolih predstavlja le eno izmed možnih tehnologij globokega temeljenja objektov na slabo nosilnih tleh. Izvedba takšne tehnologije je mogoča izključno z inženirsko odločitvijo, ki je odvisna predvsem od trdnostno deformacijskega stanja v tleh oziroma enostavneje povedano, ali je kole možno zabiti do ustrezne (projektirane) nosilnosti brez kakršnih koli poškodb. Betonski koli se lahko poškodujejo tako pri t. i. »mehkem« zabijanju kakor tudi pri t. i. »trdem« zabijanju. Zato je za zanesljivo odločitev o varni uporabi zabitih betonskih kolov potrebno narediti niz raziskav in analiz. V tem prispevku bo prikazan primer zahtevnega temeljenja glavnega objekta Biološkega središča v Ljubljani z zabitimi prednapetimi armiranobetonskimi koli velikega premera, od projektiranja do izvedbe in kontrole izvedenih del. Temeljna tla na širši in mikro lokaciji bodočega glavnega objekta Biosredišča so bila raziskana z relativno velikim številom sondažnih vrtin in konusnimi statičnimi penetracijami, kar v praksi ni pogosto. Navedene geotehnične raziskave so pokazale veliko heterogenost tal tako po legi

zemljskih slojev kakor tudi glede na trdnostno-deformacijske lastnosti. Detajlna analiza posedanja objekta je pokazala, da je zaradi prevelikih diferenčnih posejdkov potrebno glavni objekt Biosredišča temeljiti na kolih. Za izvedbo sta bili predlagani dve tehnologiji globokega temeljenja, prva z uvrtnimi in druga z zabitimi betonskimi koli.

Po odločitvi, da se objekt temelji na zabitih betonskih kolih, se je zaradi pričakovane heterogenosti tal velika skrb posvetila načrtovanju kolov. Kljub temu so se pri operativnem izvajanju del pojavile številne težave, ki jih je bilo potrebno ustrezno premostiti.

### 2. SPLOŠNI PODATKI O PROJEKTU

Z zazidalnim načrtom je bila gradnja Biosredišča predvidena pod Rožnikom, južno od Živalskega vrta, med kolesarsko stezo ob Večni poti in potokom Glinščica.

Na natečaju za idejno zasnovo objekta in arhitektonsko rešitev ureditve širše lokacije obravnavanega prostora je bil izbran projekt arhitekta Jurija Kobeta s sodelavci. Za projektanta (statika) je investitor Biotehnična fakulteta, odsek za biologijo, izbrala Inženirski biro Elektroprojekt (IBE) iz Ljubljane. IBE je na osnovi poročila Geološkega zavoda Ljubljana (GZL), izdelanega v letu 1986, izdelal projekt za izvedbo PZI, kjer so bili projektantu na voljo le

Avtorja:  
Ivan LESJAK, dipl. gradb. inž.,  
Gorazd STRNIŠA, dipl. gradb. inž.  
GIP GRADIS LJUBLJANA d.o.o.,  
Razvojno tehnološka enota, Sektor za raziskave in razvoj



podatki iz ene sondažne vrtnice (globine 12 m). Projektant je na podlagi teh podatkov izbral sistem plitvega temeljenja na pasovnih in ploskovnih temeljih na izboljšanih tleh s prodno peščeno blazino.

### 3. OSNOVNI PODATKI O KONSTRUKCIJSKI ZASNOVI

Glavni objekt Biosredišča sestoji iz treh delov, od katerih je osrednji del predviden za centralne dejavnosti in ima cilindrični volumen, nanj pa se z obeh strani naslanjata raziskovalna trakta.

Glavni osrednji objekt je trinadstropna konstrukcija. Tloris je na eni strani krožno oblikovan, na drugi strani pa zaključen z ravnim delom. Polmer krožnega dela je 15 m, pravokotni del pa je dolg 37 m in širok 13 m. Osnovno nosilno konstrukcijo tvorijo armiranobetonske stene, slopi in stebri v stopniščnem delu ter armiranobetonske stropne plošče. Stranska trakta sta trinadstropni konstrukciji. Zahodni trakt je dolg 64 m in širok 14 m, vzhodni trakt pa je dolg 47 m in širok 14 m. Nosilna konstrukcija je sestavljena iz armiranobetonskih vzdolžnih okvirnih konstrukcij in prečnih armiranobetonskih sten.

### 4. SESTAVA TEMELJNIH TAL IN POGOJI TEMELJENJA

Na širšem območju omenjene lokacije so bile izvršene geotehnične raziskave že leta 1981 in leta 1986. Pokazale so heterogenost v sestavi tal. Na podlagi teh podatkov, kot je bilo že omenjeno, je projektant IBE izdelal PZI in predvidel plitvo temeljenje. Dodatno sondažno vrtnje (šest vrtin z oznako BS) leta 1987, ki ga je izvedel GZL na predvidenem tlorisu objektov, je heterogenost sestave tal potrdilo.

Sondažna vrtnja, terenske in laboratorijske raziskave so pokazale, da je na sestavo tal vplivala ojezeritev Ljubljanskega barja, tok reke Save ob Rožniku, naplavljanje Glinščice in preperine s pobočja Rožnika. Tako se na raziskavem področju srečujemo z različno gostimi oziroma rahlimi prodno peščenimi zemljinami, z glinastimi zemljinami v različnih konsistenčnih stanjih (težko gnetne bližje površja in lahko do srednje gnetne v večji globini). Mestoma se pojavljajo tudi organske gline. Pod globino okrog 12 m nastopajo gruščne in prodno peščene meljne zemljine v srednje gostem do gostem stanju s preperelimi kosi permokarbonskih peščenjakov.

Izidi dodatnih raziskav v letu 1987 so narekovali preverjanje privzetih osnov za temeljenje iz leta 1986 in vrednotenje več variant za varno temeljenje objektov. Tako je GZL izvedel detajlno analizo pogojev temeljenja glavnega objekta. Po I. varianti (po predlogu projektanta IBE) je bilo analizirano temeljenje za dopustno obremenitev tal  $p_d = 120$  kPa in globino temeljenja  $D = 1,90$  m. Računske analize so bile ponovljene za razširjene pasovne temelje obeh traktov (II. varianta) in za ploskovno temeljenje celotnega objekta. V vseh primerih so bile velikostne stopnje posedekov zelo različne, v odvisnosti od sestave tal po posameznih vrtinah, odločilnih za del tlorisa objekta.

Diferencialni poseмки v posameznih oseh so bili od 3 do 6 cm. Na podlagi vseh izračunov so bili izdelovalci geotehničnega poročila (4) mnenja, da zaradi heterogenosti temeljnih tal ni primerno plitvo temeljenje glavnega objekta Biosredišča, ker so diferencialni poseмки preveliki in ogrožajo funkcionalnost ter videz objekta.

Zaradi navedenih razlogov je GZL predlagal, da se temeljenje glavnega objekta Biosredišča izvede na uvrtnih kolih. Noge kolov naj bi segale 16 m pod površjem terena, vpete 2,6 do 4,0 m v prodno in gruščno peščene meljne zemljine srednje do goste sestave. Dopustna obremenitev tal pod nogo kola je  $q = 1880$  kN/m<sup>2</sup>, nosilnost kolov premera 100 cm je 1475 kN in kolov premera 125 cm 2300 kN. Ocenjeni poseмки kolov naj bi bili velikostne stopnje 3 cm.

### 5. DODATNE RAZISKAVE TAL

V fazi ponujanja za izvedbo pilotiranja je GRADIS naročil izvedbo treh dodatnih sondažnih vrtin. Namen dodatnih raziskovalnih del je bil, da se ugotovi lega hribinske osnove in nato določi nosilnost do hribinske osnove zabityh kolov, ki jih je GRADIS nameraval ponuditi kot rešitev za globoko temeljenje. Raziskovalna dela je izvedel ZRMK v novembru 1988. Na podlagi teh nazadnje izvedenih vrtin je bila ugotovljena trdna hribinska osnova (permokarbonski skrilavec in kremenovi peščenjaki) le v vrtini V-2 na globini 18,5 m pod površjem. V vrtinah V-1 in V-3, ki sta bili izvrtani do globine 22 oziroma 27 m, pa trdne podlage niso dosegli. Glede na lego vrtin lahko sklepamo, da se hribinska osnova strmo spušča v smeri proti strugi potoka Glinščice.

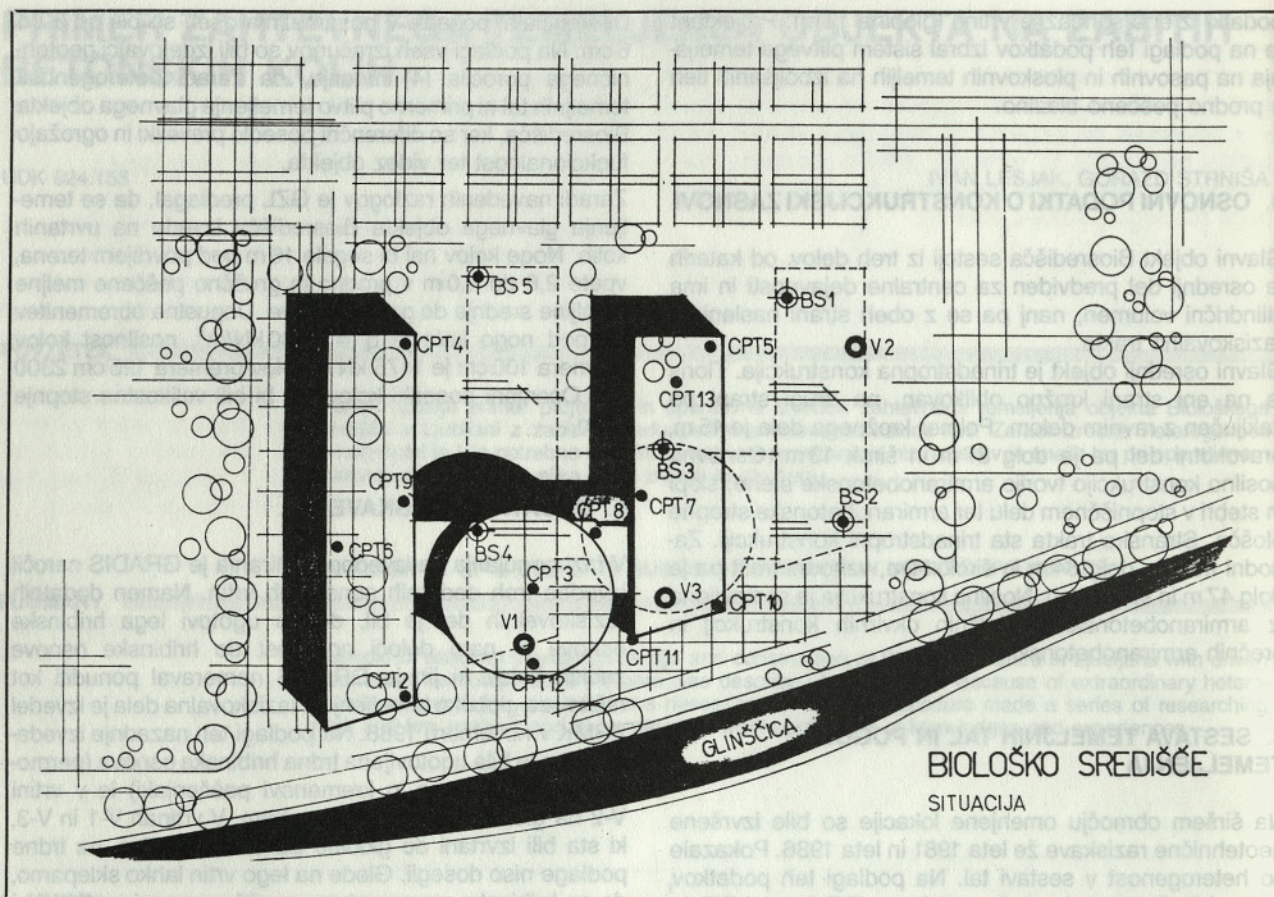
Žal je bila kasneje lokacija glavnega objekta spremenjena tako, da sta v samem tlorisu ostali le vrtini V-1 in V-2. Od prvotno izvrtanih šestih vrtin (GZL 1987) pa so glede na novo lokacijo ostale zunaj območja pilotiranja tri vrtine z oznako BS1, BS2 in BS5.

Kot dopolnilo so zato koristno rabile preiskave s konusnim statičnim penetrometrom (Cone Penetration Test), izvršene na 12 mestih znotraj tlorisa glavnega objekta, do globin od 12 do 26 m. V teh globinah nastopajo srednje goste do goste nevezljive peščeno prodno meljaste zemljine (GFs-GFc, SFs, SFc), različnih trdnostno deformacijskih karakteristik, ki so nazorno prikazane v grafični obliki na slikah 2a in 2b. Iz in-situ določenih trdnostno-deformacijskih karakteristik zemljin je bilo mogoče nato realneje oceniti dopustno obremenitev oziroma nosilnost kolov.

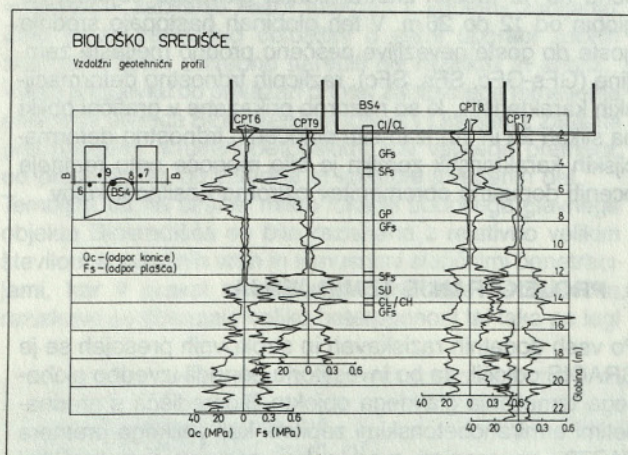
### 6. PROJEKTIRANJE TEMELJENJA

Po vseh dodatnih raziskavah in strokovnih presojah se je GRADIS odločil, da bo investitorju ponudil izvedbo globokega temeljenja glavnega objekta Biosredišča s prednapetimi armiranobetonskimi zabitymi koli velikega premera PAB70, povezanimi med seboj z armiranobetonskimi gredami. Po pridobitvi vseh podatkov se je začela izdelava Projekta temeljenja.

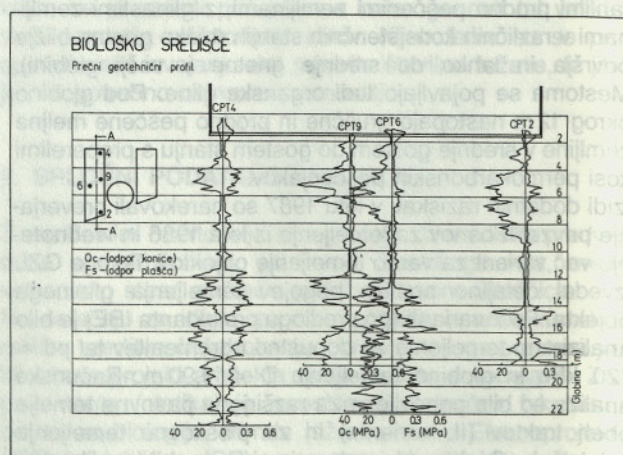




Slika 1. Tloris glavnega objekta Biosredišča z označenimi pozicijami sondažnih vrtin (BS in V) in konusnih stacionarnih penetracij (CPT)



Slika 2a. Karakteristični vzdolžni geotehnični profil temeljnih tal pod glavnim objektom Biosredišča



Slika 2b. Karakteristični prečni geotehnični profil temeljnih tal pod glavnim objektom Biosredišča



Prvi del projekta je vseboval analizo ocene vertikalne osne nosilnosti zabutih PAB70 kolov, izbor zabijala in zabijalnega sistema ter določitev osnih napetosti v prečnem betonskem prerezu kola med zabijanjem, drugi del pa projekt kola in dispozicijo kolov v podpornih točkah temeljne grede.

### 6.1. Ocena nosilnosti zabutih kolov

Po prvotni oceni GRADIS-a, Sektorja za raziskave in razvoj, naj bi bila dovoljena statična vertikalna nosilnost posameznega kola 1450 kN oziroma za skupino dveh kolov okrog 2700 kN. Izračun je bil izveden na podlagi Meyerhofovih obrazcev (1961) za povprečno sestavo temeljnih tal, navedeno v spodnji preglednici 1:

ustrezne nosilnosti pri izbranih podatkih o kolu, zemljini, zabijalu in zabijalnemu sistemu (lastnosti dušilnega materiala) ter kolikšna je statična nosilnost kola pri opazovanju pogrezkov kola (število udarcev zabijala za določeno penetracijo kola) med zabijanjem.

Privzeti so bili naslednji osnovni tehnični podatki o karakteristikah betonskega kola PAB70:

dolžina kola:	18,5 m
prečni betonski prerez:	2910 cm <sup>2</sup>
elastični modul betona:	35 000 MPa
predvidena prednapetost v kolu:	1400 kN
projektirana marka betona:	MB 40

### PREGLEDNICA 1:

Povprečni geotehnični parametri tal na lokaciji temeljenja glavnega objekta Biosredišča na osnovi sondažnega vrtnja, laboratorijskih preiskav in raziskav s konusnim statičnim penetrometrom

Opomba:	Sloj	Debelina sloja (m)	Geotehnične karakteristike sloja		Oznaka zemljine
Posamezne oznake v zgornji preglednici pomenijo:	1	0,4	–	$\gamma = 8 \text{ kN/m}^3$	humus
c... kohezija tal iz vrednotena iz SPT oziroma enoosne tlačne trdnosti	2	0,5	$c = 50 \text{ kPa}$ ,	$\gamma = 9 \text{ kN/m}^3$	CL, CI-CL
	3	7,5	$\phi = 25^\circ$ ,	$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$	GFs, SFs
$\phi$ ... strižni kot zemljine	4	2,0	$c = 20 \text{ kPa}$ ,	$\gamma = 9 \text{ kN/m}^3$	CI-MI, CH-MH
$\gamma$ ... potopljena prostorninska teža tal	5	5,6	$\phi = 31^\circ$ ,	$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$	GFs, GFc
	6	4,4	$\phi = 34^\circ$ ,	$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$	GFs, GFc

Kasneje se je na podlagi dodatnih sondažnih vrtnj ugotovilo, da je lahko dopustna vertikalna obtežba 18,5 m dolgega kola PAB70, zabitega do hribinske osnove oziroma 4 do 4,5 m globoko v spodnje (pod 14 m od površja) goste prodno peščene sloje, ca. 2200 kN. Pri tem je bil z uporabo diagramov Poulosa in Davisa (1968) na grobo ocenjen vertikalni pomik glave kola pod obtežbo 2300 kN na 1 cm.

Na podlagi priporočil v priročniku za uporabo WEAP programa in naših izkušenj v podobnih tleh so bile privzete naslednje dinamične karakteristike zemljine:

elastičnostna deformacija ob plašču kola:	3 mm
elastičnostna deformacija na konici kola:	8 mm
dušenje (Smith) ob plašču kola:	0,5 s/m
dušenje (Smith) na konici kola:	0,5 s/m

### 6.2. Izbor zabijala in zabijalnega sistema

Pred izdelavo projekta kola je bilo potrebno z valovno analizo preveriti, ali je mogoče kole varno zabiti do

V analizi je bilo privzeto delovanje eksplozijskega dieselskega zabijala firme DELMAG D46-13 s težo udarnega

### PREGLEDNICA 2:

Vrednosti maksimalnih nateznih in tlačnih napetosti v kolu PAB70 pri penetraciji kola 7,5 m (1) in 18,5 m (2) v zemljini ter pri različnih stopnjah delovanja zabijala in doseženi mejni nosilnosti

Stopnja delovanja zabijala	Mejna nosilnost (kN)	Maks. tlačna napetost (MPa)	Maks. natezna napetost (MPa)	Pogrezek kola (mm/ud)
(1)				
1	470	17,34	-8,35	48,7
2	470	16,33	-7,88	45,0
3	470	14,46	-6,93	39,4
(2)				
1	2900	21,71	-1,54	4,7
2	2900	20,27	-1,57	4,1
3	2900	18,61	-2,06	3,2



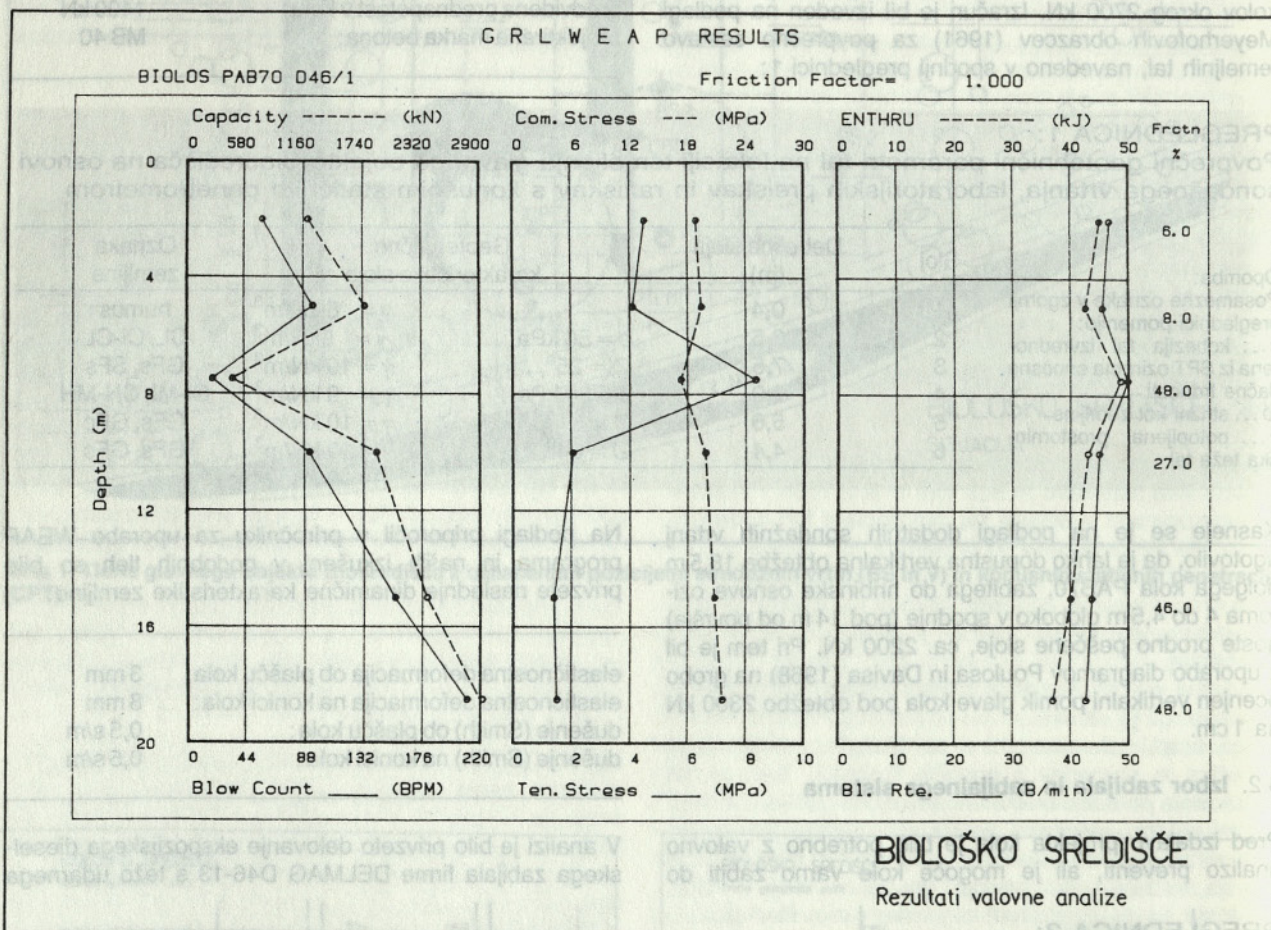
bata 45,12 kN, s težo kape 20 kN, s togostjo dušilnega materiala zabijala 5400 kN/mm in z maksimalno tovarniško deklarirano energijo pri enem udarcu bata 130 kNm.

Dušilni material kola (med glavo kola in kapo zabijala) je bil predviden kot sendvič (vezana plošča, mehek les, vezana plošča) v skupni debelini 100 mm s togostjo 1600 kN/mm do 2300 kN/mm.

Valovna analiza je bila izvedena za nekaj značilnih leg (penetracij) kola v zemljini, ki se bodo pojavile med operativnim zabijanjem. Tako je bilo analizirano obnaša-

nje kola in zabijala pri penetracijah kola 2 m, 5 m, 7,5 m (na globini 7,5 m nastopi prehod konice kola v mehkejšo plast, kjer se bodo pojavile velike natezne napetosti), 10 m, 15 m, in 18,5 m (na globini 18,5 m se zabijanje konča in zanima nas doseganje projektirane nosilnosti). Upoštewane so bile tudi tri različne stopnje moči delovanja izbranega zabijanja D46-13, 1. stopnja kot najmočnejša, ter 2. in 3. stopnja kot šibkejši.

V preglednici 2 so prikazani rezultati valovne analize samo za penetracijo kola 7,5 m in 18,5 m, ki sta najzanimivejši oziroma najneugodnejši za projektiranje.



Slika 3. Rezultati valovne analize po globini v grafični obliki za zabijanje kola PAB70 dolžine 18,5 m z zabijalom DELMAG D46-13 v 1. (najmočnejši) stopnji delovanja

S primerjavo dobljenih rezultatov izvedene valovne analize zabijanja in dopustnih napetosti med zabijanjem (po priporočilih AASHTO 1983) za prednapete armirano-betonske kole, ki so za naš primer zabijanja kola PAB70, v tlaku ca. 30 MPa in za nateg ca. 7 MPa, je bilo ugotovljeno naslednje:

#### 1. ugotovitev

Dovoljene natezne napetosti so prekoračene le pri penetraciji kola 7,5 m od površja terena (prehod iz t. i. »trdega« zabijanja v »mehko« zabijanje) ob 1. in 2. stopnji delovanja

zabijala. Pri takšnem zabijanju je možnost nastanka poškodb betonskega prereza kola velika.

#### 2. ugotovitev

Da ne bi prišlo do poškodb betonskega prereza kola, bo potrebno kole pri prehodu iz trdega v mehkejšo zabijanje zabijati ali v 3. stopnji ali 2. stopnji ob povečani togosti (debelini) dušilnega materiala kola.

#### 3. ugotovitev

Dovoljene tlačne napetosti med zabijanjem kola so v vseh



primerih izbranih kombinacij delovanja zabijala in ob izbranih penetracijah kola v zemljini pod dopustno mejo. Največja absolutna tlačna napetost ca. 21,7 MPa se pojavi ob koncu zabijanja pri penetraciji kola 18,5 m.

#### 4. ugotovitev

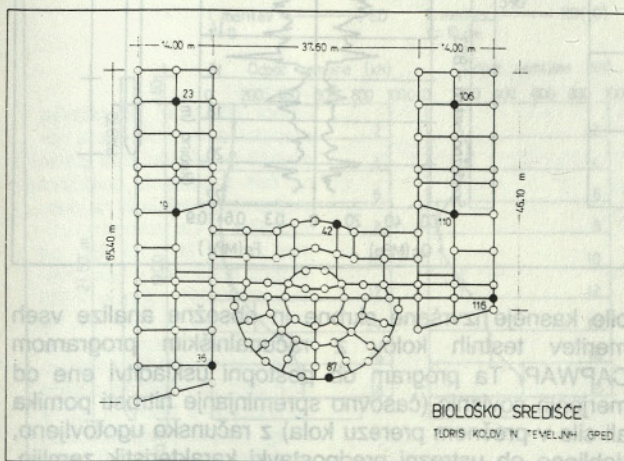
Ta doseganje mejne nosilnosti ca. 2900 do 3000 kN bo potrebno na projektirani koti, tj. 18,5 m pod površjem terena, doseči pogrezek kola med 4 do 5 mm pri 2. oziroma 1. stopnji delovanja zabijala. To pomeni približno 43 do 45 udarcev zabijala D46-13 v minuti.

Pri vseh računalniških izračunih velja seveda pravilo, da je natančnost rezultatov odvisna od pravilnosti vhodnih podatkov. Ker je rešitev valovne analize odvisna od domnev oziroma ocen (posebej to velja za učinek zabijala in parametre temeljnih tal), je potrebno za potrditev rezultata naknadno pridobiti povratno informacijo ali zagotoviti osnovo za spremembo vhodnih podatkov. Te povratne informacije so bile kasneje pridobljene z dinamičnim obremenilnim testom (PDA) dveh poizkusnih kolov, kjer je bilo poleg določanja nosilnosti in zveznosti izvedeno tudi merjenje učinkovitosti zabijala (dejanska prenesena energija iz zabijala v kol) in obnašanje kola med zabijanjem (napetosti, pogrezki itd.).

Potrebno je tudi omeniti, da dobimo dokaj zanesljive »in-situ«  
podatke o parametrih temeljnih tal iz rezultatov raziskav s konusnim statičnim penetrometrom, kar nam daje realnejše rezultate valovne analize.

### 6.3. Projekt kola

Projekt kola je na podlagi navedenih strokovnih mnenj izdelal GRADIS, Büro za projektiranje, Maribor. Izveden je bil statični račun kola za vse faze manipulacije (dvig iz opaža, nakladanje in razkladanje ter dvig na vodilo zabijalne naprave G34) in preverjanje števila prednapetih kablov na podlagi rezultatov valovne analize, tj. osnih napetosti v prečnem betonskem prerezu kola med zabijanjem.



Slika 4. Tloris dispozicije zabitih kolov PAB70 (označeni so testni koli) in armiranobetonskih temeljnih gred

Za podpiranje temeljne grede so bile privzete iste podporne točke, kot jih je v projektu temeljev in pilotov definirala IBE. Po projektu je bilo potrebno zabiti skupno 124 kolov PAB70 z dolžino 18,5 m.

### 7. ZABIJANJE KOLOV IN KONTROLNE MERITVE

Investitor se je na podlagi predloženih ponudb odločil, da izvedbo temeljnega glavnega objekta Biosredišča zaupa podjetju GRADIS, Gradbeno podjetje Ljubljana.

Pred pričetkom del je izvajalec pilotiranja pripravil program dinamičnih obremenilnih testov z opisom potrebe opreme in metodo meritev ter analize. Program je določil tudi potrebno število začetnih meritev, ki naj bi rabile preverjanju vertikalnih nosilnosti kolov, ugotavljanju optimalnega načina zabijanja glede na zmožnosti zabijala in dopustne napetosti v kolu ter določitvi kriterijev zabijanja.

Zaradi izrazito heterogenih temeljnih tal je investitor v tenderju zahteval izvedbo preizkusnega kola. Ponudnik in kasneje tudi izvajalec pilotiranja se je hotel izogniti visokim stroškom in zamudnemu delu tako, da je uporabil več dinamičnih obremenilnih testov namesto enega zamudnega in dragega statičnega obremenilnega testa. Za ilustracijo naj navedemo, da je danes strošek izvedbe statičnega obremenilnega testa zabitega kola (nosilna konstrukcija in balast iz betonskih kock teže ca. 4000 kN) v razponu od 50.000 do 80.000 DEM, kar je odvisno od lokacije izvedbe, medtem ko znaša strošek izvedbe dinamičnega obremenilnega testa zabitega kola ca. 2.500 do 3.000 DEM, z možnostjo izvedbe najmanj petih testiranj kolov v enem delovnem dnevu.

#### 7.1. Dinamični obremenilni testi

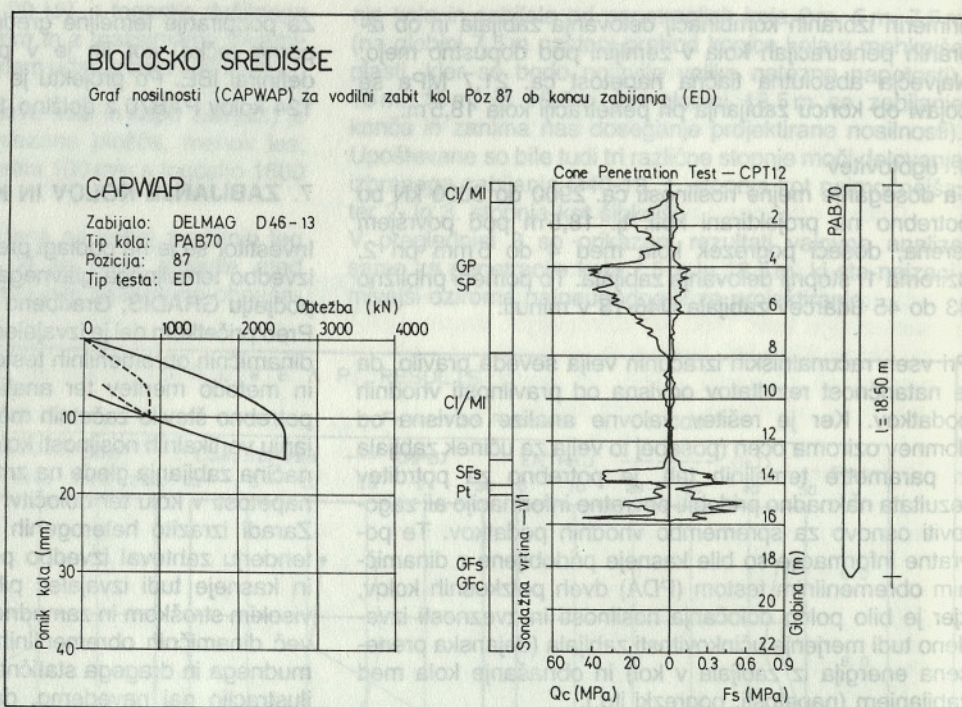
Po programu sta bila oba vodilna kola zabita konec januarja 1989 in spremljana z analizatorjem zabijanja (Pile Driving Analyzer) od začetka do konca zabijanja. Lokaciji vodilnih kolov sta bili izbrani na podlagi rezultatov sondažnega vrtnja in konusnih statičnih penetracij.

Vodilni kol na poziciji št. 87 (zabit ob neposredni bližini sondažne vrtine V-1 in konusne statične penetracije CPT12) je ob koncu zabijanja izkazoval mejno nosilnost 2587 kN pri posedku 6,3 mm na udarec zabijala, medtem ko je drugi vodilni kol na poziciji št. 110 (zabit v neposredni bližini sondažne vrtine BS3) izkazal precej manjšo mejno nosilnost 1700 kN pri posedku 10 mm na udarec zabijala. Vzrok za takšno razliko, pri enakih pogojih zabijanja in dolžini kola, je v slabši kakovosti sestave tal (trdnostno-deformacijske lastnosti), ki so bile naknadno ugotovljene z raziskavo tal s konusnim statičnim penetrometrom na lokaciji z oznako CPT7 v neposredni bližini drugega vodilnega kola. Navedene rezultate lepo ilustrirata sliki 5a in 5b.

Testiranje obeh vodilnih kolov je bilo osnova za izdelavo Protokola zabijanja kolov, v katerem je bil predpisan način zabijanja z zabijalom firme DELMAG D46-13 (s tem zabijalom smo tudi izvajali testno zabijanje) in zabijalni kriterij, tj. potrebna globina zabitja in posedek kola na 1 udarec zabijala v dveh zaporednih serijah (10 udarcev v

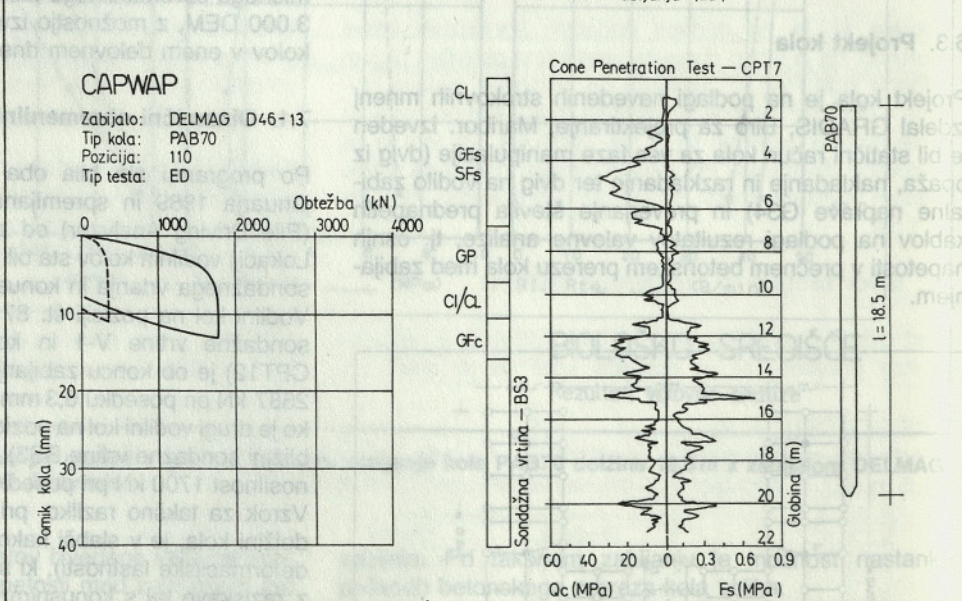


Slika 5a. Graf nosilnosti za vodilni zabiti kol št. 87 ob koncu zabijanja (ED) s posnetkom najbližje konusne statične penetracije CPT12 in sondažne vrtine V1



**BIOLOŠKO SREDIŠČE**

Graf nosilnosti (CAPWAP) za vodilni zabiti kol Poz 110 ob koncu zabijanja (ED)



Slika 5b. Graf nosilnosti za vodilni zabiti kol št. 110 ob koncu zabijanja (ED) s posnetkom najbližje konusne statične penetracije CPT7 in sondažne vrtine BS3

posamezni seriji) med 6 in 10 mm. Navedeni so bili tudi ukrepi v primeru »tršega« zabijanja in ukrepi v primeru nedoseganja predpisanega zabijalnega kriterija ali morebitne zamenjave zabijala.

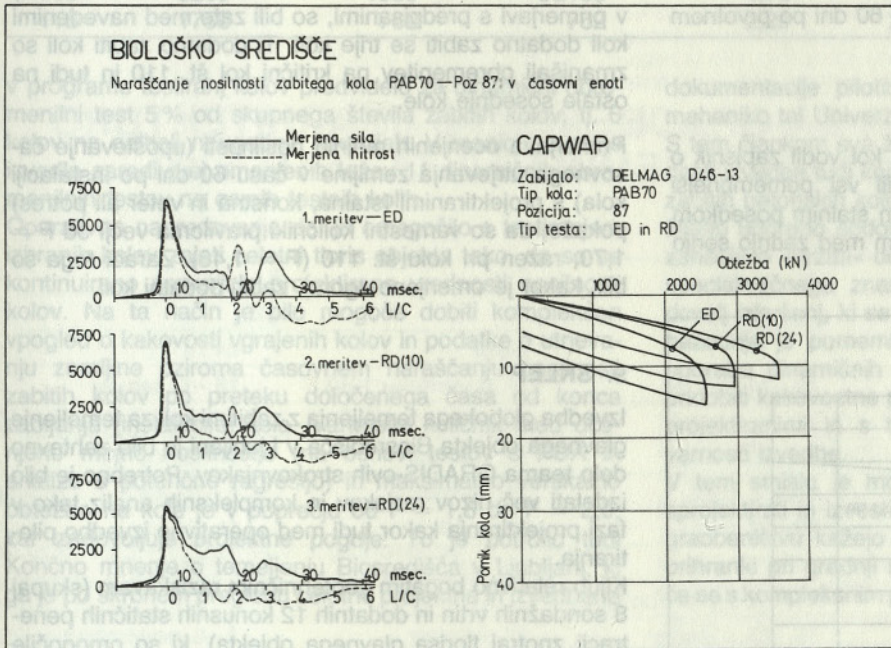
V času operativnega zabijanja je bilo v skladu s programom preiskav kolov s PDA premerjeno še šest kolov. Poleg približne ocene nosilnosti kola ob koncu zabijanja, ki nam jo takoj pri merjenju samem omogoča PDA, so

bile kasneje izvršene skrbne in obsežne analize vseh meritev testnih kolov z računalniškim programom CAPWAP. Ta program ob postopni uskladitvi ene od merjenih sovisnic (časovno spreminjanje hitrosti pomika ali sile v prečnem prerezu kola) z računsko ugotovljeno, dobljeno ob ustrezni predpostavki karakteristik zemljin, računskega modela tal in kola, določa med drugim tudi mejno osno nosilnost v trenutku testiranja (merjenja) kola.

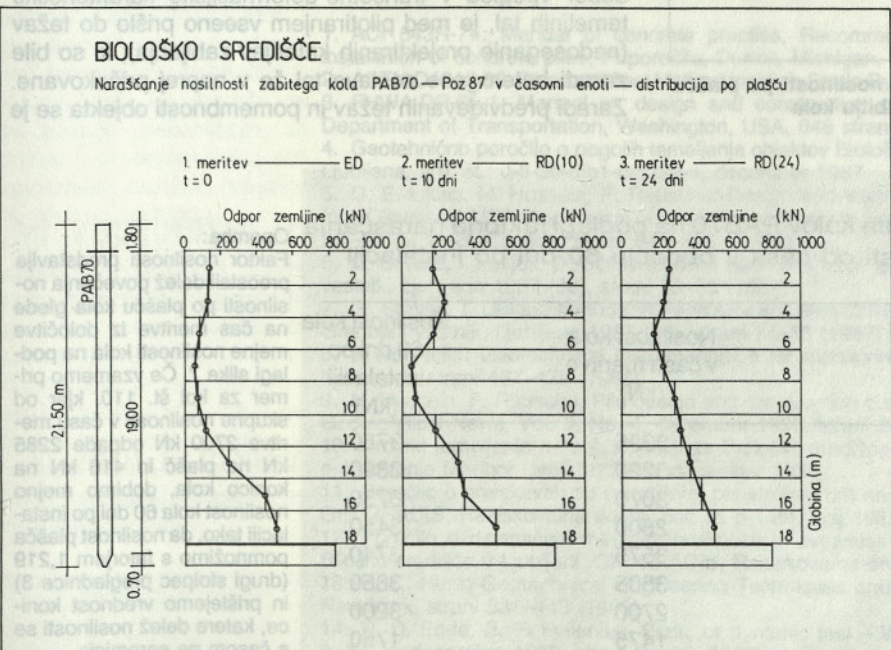


Če razpolagamo z meritvijo, izvršeno po preteku določenega časa po prvotnem zabitju istega kola (angl. redriving) ali celo z več zaporednimi meritvami istega kola v različnih časovnih obdobjih po prvotnem zabitju, lahko ocenimo zakonitost časovnega spreminjanja mejne nosilnosti zabitega kola. Na tak način je bil trikrat premerjen testni kol št. 87 (poleg merjenja ob koncu zabitja še po preteku 10 in 24 dni), kar je omogočilo postavitvev potenčne sovisnosti med časom (po začetni instalaciji kola) in mejno nosilnostjo kola. Na podlagi teh treh meritev je bilo mogoče sklepati, da je naraščanje nosilnosti po zabitju kolov zelo izrazito.

Na sliki 6a in 6b je prikazano naraščanje nosilnosti kola oziroma t. i. utrjevanje zemljine (angl. set-up) za trikrat premerjeni testni kol št. 87. Prva slika prikazuje rezultate dinamičnih obremenilnih testov v obliki časovnih sovisnic sile in hitrosti ter rezultate CAPWAP analize na grafu nosilnosti (obtežba-pomik). Naraščanje nosilnosti po plašču kola (na diagramih odpor zemljine-globina) v časovni enoti  $t = 24$  dni (zadnja meritev) od zabitja kola pa prikazuje druga slika 6b. V tem primeru se je končna izmerjena nosilnost glede na prvotno izmerjeno povečala po plašču za ca. 60 % (glej sliko 6b). Nosilnost konice kola je pri vseh treh meritvah ostala približno enaka.



Slika 6a. Rezultati treh dinamičnih obremenilnih testov za zabiti vodilni kol št. 87 v času  $t = 0$  (ED),  $t = 10$  (RD10) in  $t = 24$  dni (RD24)



Slika 6b. Naraščanje nosilnosti (odpora zemljine po plašču kola) zabitega vodilnega kola št. 87 v časovni enoti od  $t = 0$  do  $t = 24$  dni



## 8. ANALIZA MEJNE NOSILNOSTI

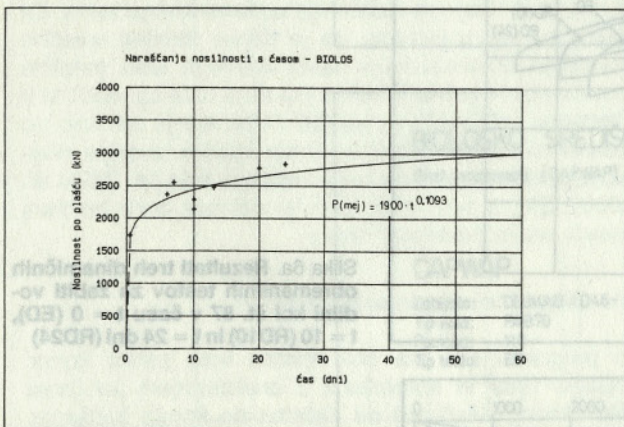
Kot je bilo že omenjeno, je mogoče na podlagi več meritev v različnih časovnih obdobjih postaviti potenčne sovisnosti med časom (po začetni instalaciji kola) in mejno nosilnostjo kola. Tako so v spodnji preglednici 3 navedene mejne, s CAPWAP analizo ugotovljene vertikalne nosilnosti posameznih testnih kolov v času meritev in ocenjena mejna vertikalna nosilnost ob upoštevanju, da se nosilnost s časom povečuje po potenčni zakonitosti

$$P_{\text{mej}}(t) = 1900 \cdot t^{0,1093} \quad (t \neq 0)$$

s privzetim časovnim obdobjem  $t = 60$  dni po prvotnem zabitju kola.

### 8.1. Varnostni količniki

Izvajalec zabijanja je za vsak zabiti kol vodil zapisnik o zabijanju kolov, kjer so se beležili vsi pomembnejši podatki o kolu, vključno s poprečnim stalnim posedkom kola na 1 udarec zabijala, izmerjenim med zadnjo serijo (10 udarcev v seriji) zabijanja kola.



Slika 7. Potenčna regresija naraščanja nosilnosti po plašču kola v časovnem obdobju 60 dni po zabitju kola

Pri pregledu doseženih zabijalnih kriterijev posedanja je bilo ugotovljeno, da je le-ta neizpolnjen pri 19 zabutih kolih (pogrezek večji ali enak 11 mm/udarec) v primerjavi s predpisanim v Protokolu zabijanja kolov (6 do 10 mm/udarec). Ker bo pretežna večina kolov, ki presegajo prvotno določen zabijalni kriterij pogrezka, relativno malo obremenjena, to ne predstavlja nikakršnega problema.

Edini resni problem je predstavljal kol št. 110, za katerega je bilo tudi po ponovnem zabijanju ugotovljeno, da je mejna nosilnost glede na zahtevano (projektirano) obremenitev kola premajhna. Glede na to, da so bili tudi doseženi pogrezki kolov (št. 107, 108, 109 in 111) v bližini kritičnega kola št. 110 relativno veliki (9 in 10 mm/udarec) v primerjavi s predpisanimi, so bili zato med navedenimi koli dodatno zabiti še trije koli. Ti dodatno zabiti koli so zmanjšali obremenitev na kritični kol št. 110 in tudi na ostale sosednje kole.

Primerjava ocenjenih mejnih nosilnosti (upoštevanje časovnega utrjevanja zemljine v času 60 dni po instalaciji kola) s projektiranimi (stalna, koristna in veter ali potres) pokaže, da so varnostni količniki praviloma večji od  $F = 1,70$ , razen pri kolu št. 110 ( $F = 1,48$ ). Zaradi tega so bili, kakor je omenjeno zgoraj, zabiti dodatni koli.

## 9. SKLEP

Izvedba globokega temeljenja z zabitimi koli za temeljenje glavnega objekta Biosredišča v Ljubljani je bilo zahtevno delo teama GRADIS-ovih strokovnjakov. Potrebno je bilo izdelati več nizov raziskav in kompleksnih analiz tako v fazi projektiranja kakor tudi med operativno izvedbo pilotiranja.

Kljub relativno bogatim geotehničnim raziskavam (skupaj 8 sondažnih vrtin in dodatnih 12 konusnih statičnih penetracij znotraj tlorisa glavnega objekta), ki so omogočile dober vpogled v trdnostno-deformacijske karakteristike temeljnih tal, je med pilotiranjem vseeno prišlo do težav (nedoseganje projektiranih kriterijev zabijanja), ki so bile zaradi heterogene sestave tal že v naprej pričakovane. Zaradi predvidevanih težav in pomembnosti objekta se je

### PREGLEDNICA 3:

Ocenjena mejna nosilnost zabutih kolov PAB70 na podlagi faktorja naraščanja nosilnosti po plašču v odvisnosti od časa v obdobju 60 dni po instalaciji kola

Oznaka kola	Faktor nosilnosti po plašču v trenutku meritve	Nosilnost kola v času meritve (kN)	Nosilnost kola 60 dni po instalaciji (kN)
19	1,185 (t = 13 dni)	3295	3750
23	1,265 (t = 7 dni)	3220	3890
36	1,287 (t = 6 dni)	3070	3750
42	1,265 (t = 7 dni)	2800	3450
87	1,667 (t = 0 dni)	3575	3740
106	1,132 (t = 20 dni)	3505	3850
110	1,219 (t = 10 dni)	2700	3200
116	1,219 (t = 10 dni)	1475	1750

#### Opomba:

Faktor nosilnosti predstavlja preostali delež povečanja nosilnosti po plašču kola glede na čas meritve iz določite mejne nosilnosti kola na podlagi slike 7. Če vzamemo primer za kol št. 110, kjer od skupne nosilnosti v času meritve 2700 kN odpade 2285 kN na plašč in 416 kN na konico kola, dobimo mejno nosilnost kola 60 dni po instalaciji tako, da nosilnost plašča pomnožimo s faktorjem 1,219 (drugi stolpec preglednice 3) in prištejemo vrednost konice, katere delež nosilnosti se s časom ne spreminja.



## PREGLEDNICA 4:

Vrednosti varnostnih količnikov med mejno nosilnostjo zabitih kolov in obtežbo na kole

Oznaka kola	Mejna nosilnost (kN)	Obtežba (1) na kol (kN)	Obtežba (2) na kol (kN)	Varnost (1)	Varnost (2)
19	3750	1885	2165	1,99	1,73
23	3890	1885	2098	2,06	1,85
36	3750	983	978	3,81	3,83
42	3450	1950	1980	1,77	1,74
87	3740	1095	1150	3,41	3,25
106	3850	1885	2098	2,04	1,83
110	3200	1885	2165	1,70	1,48
116	1750	762	762	2,29	2,29

Opomba:  
Mejna nosilnost kola (drugi stolpec) je določena 60 dni po instalaciji posameznega kola. Obtežba (1) je stalna in koristna obtežba + veter, obtežba (2) pa stalna in koristna + potres.

v programu testiranj kolov predvidelo za dinamični obremenilni test 5% od skupnega števila zabitih kolov, tj. 6 kolov na najbolj neugodnih lokacijah. V resnici pa se je izvedlo zaradi prej omenjenih težav 11 dinamičnih obremenilnih testov na osmih testnih kolih.

Operativno napredovanje del je omogočilo s testiranjem izbranih kolov zajeti celotni tloris objekta tako, da so se kontinuirano preverjale projektirane vrednosti nosilnosti kolov. Na ta način je bilo mogoče dobiti kompleksen vpogled o kakovosti vgrajenih kolov in podatke o utrjevanju zemljine oziroma časovnem naraščanju nosilnosti zabitih kolov po preteku določenega časa od konca zabijanja (instalacije) kola. Varnostni količnik med ocenjeno mejno nosilnostjo (na osnovi testov s PDA in analize s potenčno regresijo) in maksimalno vertikalno obtežbo na kole je v poprečju od  $F = 1,8$  do  $F = 2,0$ , kar zadovoljuje projektne pogoje. To je potrdilo tudi Končno mnenje o temeljenju Biosredišča v Ljubljani, ki ga je po skrbnem pregledu celotne projektne in izvedbene

dokumentacije pilotiranja izdelal IMFM, Laboratorij za mehaniko tal Univerze v Ljubljani.

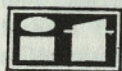
S tem člankom sva želela avtorja prikazati poleg zahtevnosti izvedbe tudi kompleksnost globokega temeljenja na zabitih betonskih kolih in dejstvo, da je mogoče s premišljeno uporabo sodobne merilne in računalniške tehnike zanesljivo »držati« dogajanje v rokah. Poleg določenega specialističnega znanja je seveda potrebno imeti tudi dovolj izkušenj, ki se jih pridobi iz izvedenimi projekti. Ne nazadnje je pomembno tudi dejstvo, da je mogoče z uporabo dinamičnih obremenilnih testov relativno hitro pridobiti kakovostne povratne informacije za primerjavo s projektiranimi in s tem sproti med pilotiranjem slediti varnosti izvedbe.

V tem smislu je mogoče temeljenje bodočih objektov sprojektirati in izvesti še bolj ekonomično, saj izkušnje v gradbeništvu kažejo na dejstvo, da so mogoči največji prihranki pri gradnji novih objektov ravno pri temeljenju, če se s kompleksnim pristopom poiščejo najboljše rešitve.

## LITERATURA

1. ACI 543R-74: Manual of concrete practise, Recommendations for design, manufacture, and installation of concrete piles, Priporočila, Detroit, Michigan, USA, 40 strani (1986)
2. ASTM D4945-89, Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles, 6 strani (1989)
3. FHWA-DP-66-1: Manual on design and construction of driven pile foundation, Priručnik, U.S. Department of Transportation, Washington, USA, 648 strani (1985)
4. Geotehnično poročilo o pogojih temeljenja objektov Biološkega središča v Ljubljani, Geološki zavod Ljubljana, arh. št.: J-II-30-d/b1-6/3399-e, december 1987
5. G. E. Likins, M. Hussein, F. Rausche: Design and testing of pile foundations, GRL & Associates, Inc., Cleveland, USA, Application of stress-wave theory to piles, Third International Conference, Ottawa 25.-27. 5. 1988, Canada, strani 644-658 (1988)
6. G. Strniša, I. Lesjak, Določitev statične nosilnosti kolov z analizatorjem zabijanja - PDA, Gradbeni vestnik, Ljubljana 1987 (36), strani 55-58 (1987)
7. G. Strniša, I. Lesjak, Metoda »CAPWAP« kot alternativa klasični statični obremenilni preizkušnji, Gradbeni vestnik, Ljubljana 1987 (36), strani 64-68 (1987)
8. J. Duncic: Geotechnical instrumentation for monitoring field performance, John Wiley & Sons, New York, strani 467-479 (1988)
9. M. Hussein, F. Rausche, Pile design and construction control by dynamic methods - Case history, Geotechnical News, Vol. 8, No. 4, december 1990, strani 24-28 (1990)
10. Projekt temeljenja na zabitih kolih za Biološko središče v Ljubljani, GIP GRADIS, TOZD Biro za projektiranje Maribor, proj. št. 2516, december 1988
11. Poročilo o preiskavah tal s statičnim penetrometrom na območju Biološkega središča v Ljubljani, GIP GRADIS, Raziskovalna enota, por. št. 5-1/89, maj 1989
12. Poročilo o dinamičnih meritvah nosilnosti in zveznosti zabitih kolov PAB70 na lokaciji objekta Biološko središče v Ljubljani, GIP GRADIS, Raziskovalna enota, por. št. 123-4/89, marec 1989
13. R. E. Hunt: Geotechnical Engineering Techniques and Practices, McGraw-Hill Book Company, New York, strani 331-443 (1986)
14. R. D. Edde, B. F. Fellenius, Static or dynamic test - Which to trust?, Geotechnical News, Vol. 8, No. 4, december 1990, strani 28-32 (1990)





**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.		B.	
		seminar	pisni	ustni	izpit
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.



# ZAŠČITA VODA V SLOVENIJI

UDK 628.19

GÜNTHER BOLZ

Gospod Günther BOLZ, dipl. inž., je izrazil prijateljsko gesto ob začetku delovanja našega Društva za zaščito voda Slovenije in je ob tej priložnosti podal nekaj svojih napotkov v želji za naše čim uspešnejše delo. Glede na bogate strokovne dolgoletne izkušnje na Bavarskem, glede na njegovo članstvo v delovni skupnosti Alpe-Jadran ter ne nazadnje zaradi njegovih velikih simpatij do slovenskega okolja, nam je gospod Bolz pripravljen tudi konkretno pomagati. Nekateri svoje poglede na obravnavano problematiko odpadnih voda je že podal v okviru dosedanjih predavanj v Sloveniji. Pričujoče gradivo o potrebah, nalogah in ciljih našega Društva izpostavlja tudi pomen sodelovanja z našimi sosedmi in predstavlja problematiko, katere zaenkrat še nismo obravnavali, a se ji v bodočnosti ne bomo mogli izogniti.

V gradivu je vidno poudarjena nujnost bolj kritične obravnave tujih dosežkov ob njihovem prenosu v naše razmere.

Za sugestije in navodila pri nadaljnjem delu Društva se najlepše zahvaljujemo.

Evgen Petrešin, dipl. inž.  
predsednik upravnega odbora  
društva za zaščito voda Slovenije

## POTREBE – NALOGE – CILJI

### UVOD

V vseh obdobjih človeške zgodovine se je človeštvo zavedalo škodljivosti odpadkov, ki jih povzročajo.

Vsem živim bitjem je od narave dan občutek za snago (čistočo) in higieno.

Znane in odkopane so več kot 12.000 let stare izkopanine-ostanki gradbenih objektov, kot so deli kanalskega omrežja, čistilnih bazenov, deponij odpadkov; najdeni so bili tudi rokopisi raznih tehničnih ukrepov in zakonskih odredb. V tistih časih, ko niso bila upoštevana znanja, pomembna za zdravje prebivalstva, ali v časih številnih vojn, na primer v srednjem veku, smo pričala poročilom o številnih epidemijah različnih nalezljivih bolezni, kot so kuga, kole-  
ra, tifus in podobno.

Tudi dandanes, v teh dneh doživljamo veliko epidemijo kolere v Peruju, ki je izbruhnila zaradi manjkajoče kanalizacije in slabe higijene. Tisoče ljudi umira zaradi tega, ker se v reke in ostale zaloge pitne vode izlivajo vsi ostanki človeškega bivanja in jih okužujejo.

Znano nam je tudi, kakšne strahotne posledice povzročajo uvažanje odpadnih vod v naša jezera, reke, v morja in v podzemne vode. Kakšne škode v bivalnem okolju so nastale zaradi docela nepremišljenega poseljevanja našega prostora, širjenja moderne industrije in ropanja naravnih bogastev.

Avtor:  
Güther Bolz, dipl. inž.

Škode, ki življenjsko ogrožajo vode, tla, zrak. Naše bivalno okolje. Škode, ki jih nekaterih ne bo možno nikoli več popraviti.

Kritičen pogled na tako rekoč nesluten razvoj zadnjih nekaj desetletij bi moral obsegati tudi **posledice** velikanskega naraščanja števila prebivalstva na Zemlji, ki vsakodnevno izpolnjuje vse svoje želje in potrebe, ne glede na to, da bi ta razvoj moral potekati omejeno in upošteva tudi količine pri tem nastajajočih odpadkov.

Danes so nam že znani vzroki, katerih posledica je poslabšanje vseh življenjskih okolij.

Na našem planetu – Zemlji živi že okrog 6 (šest) milijard ljudi. Od teh je tako imenovanih »bogatih« oziroma »sith« le nekaj več kot ena tretjina, in to so industrijski narodi. Tisti del človeštva, ki zavestno teži le po bogastvu in uspehu, nima več nobenega spoštovanja ne do narave, ne do živali in rastlin, ne do vode, tal in zraka, niti se ne zaveda, da je človeštvo, enako kot ostala živa bitja, le gost na tem planetu.

In nikakor ni samo po sebi nujno, da bi naš planet lahko brez resnih posledic prenesel »monokulturo človek«, to je bivanje vseh teh ljudi in njihovo vsakodnevno prehranjevanje.

Iz tega sledi, da so izključno le ljudje odgovorni za možnost nadaljnjega bivanja. To pomeni, da je odgovornost na vladajoči plasti v industrijskih in turističnih državah in da bi že enkrat morali pričeti zmanjševati porabo energije, da bi se že morali začeti obnašati drugače, ne tako energetske potratno, kot je to sedaj. Saj bo le na ta način možno ohraniti naravo in s tem omogočiti obstoj človeštva tudi v naprej.

Max von Pettekofer je izjavil že pred več kot 100 leti naslednje:



»Onesnaževanju vode v naravi sledi smrtna kazen«.

In to je doletelo že mnoga jezera, reke, morja, to grozi podzemnim vodam in rezervam pitne vode, to ogroža nadaljnji obstoj živali in rastlin, to se odraža v onesnaževanju tal z mnogimi nevarnimi in škodljivimi snovmi, to pomeni tudi kopičenje odpadnih snovi in izcejanje strupenih izcednih vod iz deponij nekontrolirano odloženih najrazličnejših ostankov strupov, to se dogaja tudi že z zrakom.

Preprečevati te posledice v našem okolju kot tudi okolju ostalih živih bitij pa pomeni izvajati številne aktivnosti in strategije na vseh področjih zaščite voda in varovanja okolja nasploh.

Izdelati te strategije in koordinirano izvajati vse številne naloge, ki izhajajo iz omenjenega, pa je napor, ki zahteva veliko volje in moči vseh tistih, ki se resnično zavedajo nujne ohraniti naše naravne pogoje za življenje.

Za ta namen potrebne iniciative so tako raznovrstne in mnogoplastne, da bi pri tem morali sodelovati in pomagati prav vsi osveščeni ljudje.

Koordinirati navedene potrebne aktivnosti pa so predvsem dolžni znanstveniki s področja naravoslovnih ved, inženirji, politiki in strokovnjaki v državni upravi, pa tudi vsi sodržavljeni.

Saj je možno le z resnim skupnim delom ohraniti naravo. Za ta namen poskušamo v javnosti čim bolj razširiti potrebnost tega početja in ustrezno razumevanje.

Razumevanje, da je že zelo nujno potrebno zmanjševati nevarnosti, ki nas ogrožajo, jih premagovati in končno sproti preprečiti vsako tovrstno škodljivo protinaravno dejanje in delovanje.

Vse navedeno spada tudi med naloge društev za zaščito voda v Sloveniji in Hrvaški. Ti društvi bi bili lahko tudi iniciator in izvrševalec vseh potrebnih aktivnosti.

## NALOGE

Zakonodaja – državna uprava

Društva za zaščito voda bi lahko izredno veliko pomagala politikom pri delu na zakonih, smernicah in pooblastilih. Pri tem bi se pokazalo vse dragoceno znanje in vse izkušnje, ki jih imajo posamezni strokovnjaki. NA TA NAČIN BI BILO MOŽNO PREPREČITI PONAVLJANJE ŽE NAREJENIH NAPAK (podčrtala prev.).

Zaščita voda in varstvo okolja pa so le okvirni pojmi, ki obsegajo mnogoštevilne in med seboj povezane problemske sklope, kot so:

vodno pravo

pravo za področje odpadnih snovi,

pravo za varstvo tal in podobno.

Nobene potencialne nevarnosti ne bi smeli obravnavati ločeno, posebej, pač pa vse skupaj in v danih okvirih iskati skupne rešitve.

Vedno pa bomo imeli opraviti s spojinami, celo z verigami spojin.

Številni in mnogostranski vplivi posameznih dejavnikov pa zahtevajo koordinacijo med posameznimi strokovnimi panogami.

Politiki morajo v svoji vlogi zakonodajalcev ustvariti potreben instrumentarij, s pomočjo katerega se bodo lahko

izvajala za vse sprejemljiva, pa tudi pravno in strokovno utemeljena določila.

Praktična izvedba zakonskih določil s področja varstva okolja pa zahteva za posamezna področja stvarnega in prava po posameznih področjih, za komunalne dejavnosti in vse udeležene strokovnjake razumljive izvedbene akte, pojasnila in smernice.

Naloga društva za zaščito voda Slovenije pa naj bi bila tudi nuditi strokovno pomoč na vseh področjih. Društvo bi moralo biti partner zakonodajalcem s področja varstva okolja, državni upravi, občinam.

In to takšen partner, katerega znanje bo pripomoglo, da bodo vsi zakoni pripravljeni stvarno in strokovno domišljeno, da bo zakone možno izvajati tako s tehnične kot tudi ekonomske plati.

## Strokovnjaki s področja naravoslovja-inženirji – drugi strokovnjaki

Pravilne politične odločitve lahko pričakujemo le, če bodo osnovane na vseh, v danih pogojih, tehničnih in znanstvenih dosežkih.

To pomeni tehnično in drugo strokovno znanje vseh najvidnejših specialistov za posamezna strokovna področja.

Bilo bi popolnoma napačno prepuščati politične odločitve le specialistom za posamezna strokovna področja, pač pa lahko ti specialisti veliko pripomorejo skupno s politiki in pravniki pri izoblikovanju zakonskih osnov.

Le-ti se lahko zanašajo na strokovne sposobnosti sodržavljanov, posebno še na tiste, ki imajo tehnične in znanstvene izkušnje.

Inženirji in znanstveniki morajo pri tem sodelovati na vseh nivojih. Le tako bi lahko prišli na podlagi vsega razpoložljivega znanja do pravih (političnih op. prev.) odločitev, upoštevaje vse medsebojne odvisnosti, vplive in posledice.

Odgovornost v celoti pa se lahko prevzame le, če so izpolnjeni vsi pogoji. To velja tako za posameznega strokovnjaka kot tudi za skupine strokovnjakov za različna področja.

Ti pogoji pa so:

**Zbuditi zanimanje in zaposliti posamezne najvidnejše strokovnjake.** Motivirati jih, da bi se angažirali ne le izključno na svojem ozkem strokovnem področju, to je na področju varstva okolja in zaščite voda.

**Povezave med posameznimi strokovnjaki za različna tehnična in netehnična področja ne bi smele trpeti zaradi obstoječega strokovnega izrazoslovja – tu ne bi smelo biti jezikovnih ovir.** Vsi bi se morali potruditi in se izražati jasno in vsem razumljivo. Le tako bi se bilo možno med seboj pogovarjati.

**Vsekakor je treba najti možnosti odločanja, s pomočjo katerih in na podlagi katerih se bo kasneje dalo izdelati modele odločanja – izvedbene strategije.** Pri tem naj bi po možnosti sodelovalo večje število strokovnjakov, pa tudi prizadetih.

Le na ta način bo možno izbirati med najboljšimi strategijami in izmed njih na podlagi tehničnih in drugih možnosti izbrati tisto optimalno, ki bo zadovoljila vse sodržavljane



kot tudi družbo.

Naloga društva za zaščito voda Slovenije bi morala biti tudi optimalno uporabiti znanje, ki je na voljo v mnogih industrijskih državah Srednje Evrope, ga poglobljati in ga posredovati vsem zainteresiranim. Pri tem bi se ne smeli omejevati s pojmom »splošno veljavnih tehničnih pravil«.

### Potrebno je veliko več

Zaradi vedno večjega obsega industrije naraščajo v vseh modernih industrijskih družbah tudi obremenitve okolja. Zaradi tega postaja zelo nujno sproti prilagajati znanje vseh »sedanjemu nivoju tehnike«, tako na področju zaščite voda, pa tudi na področju odstranjevanja odpadkov. Le tako bodo imeli tako inženirji kot tudi znanstveniki možnost rezultate svojega strokovnega in znanstvenega dela sproti uvajati v prakso in tudi v razvoj okolju prijaznih tehnologij in pri tem razvoju dejansko sodelovati.

Istočasno pa je potrebno, da vsi aktivni strokovni delavci svoje nakopičeno znanje obvezno posredujejo bodočim generacijam. Predvsem je to potrebno pri posredovanju najnovejših in najboljših tehničnih in znanstvenih dosežkov.

Omenjene naloge bi morali izpolnjevati po svojih močeh vsi, tako v državni upravi, občinah, industriji in v končni fazi vsi prebivalci.

### CILJI

Hiter razvoj modernih industrijskih držav, naraščanje števila prebivalstva in vedno večje potrebe na vseh področjih so poleg naših življenjskih pogojev – vode, tal in zraka – ogrozili tudi prostor »revnih« in »lačnih«.

Zaradi tega je treba aktivno delovati povsod, tako v vsakdanjem življenju kot tudi medsebojnem skupnem bivanju.

To pa pomeni tudi izredno pomembno javno delovanje društva za zaščito voda Slovenije.

Zavest o potrebi po varovanju okolja, zaščititi vode bi morali vzbuditi pri vseh in na vseh nivojih, v državni upravi, šolah, univerzah, pri posameznih specialistih, industriji, kot tudi pri sodržavljanih. Poleg sodelovanja pri izdelavi predlogov zakonskih določil in izvedbenih aktov je potrebna svetovalna dejavnost, pa tudi trajno in sprotno izobraževanje in izpopolnjevanje.

To je možno doseči z rednim obiskovanjem strokovnih seminarjev in sestankov vseh zainteresiranih tehničnih profilov strokovnjakov. Tako imajo vsi možnost spoznati vse, kar je najnovejšega na področju zaščite voda in tehnike za okolje.

Društva za zaščito voda in varstvo okolja morajo za ta namen organizirati redne strokovne seminarje in posvetovanja.

Strokovne teme posameznega seminarja ali posveta morajo biti izbrane kot vedno najbolj aktualne in pereče.

Udeleženci seminarjev in posvetovanj, pa čeprav iz različnih strokovnih področij, »morajo nekaj pridobiti – se jim mora splačati«.

Na teh seminarjih naj bi bilo poleg tem s področja zaščite voda in tehnike za okolje na programu tudi poglobljanje

znanja kot tudi seznanjanje z najnovejšimi znanstvenimi dosežki.

Na posvetovanjih in seminarjih si udeleženci lahko med seboj izmenjajo izkušanje, se pogovarjajo o rešitvah številnih težav, na katere naletijo pri svojem vsakdanjem delu.

**Ena izmed nalog je tudi organizacija in izvedba strokovnih ekskurzij z ogledom modernih naprav za varstvo okolja in naprav ter objektov za zaščito voda. Na primer gradnja posameznih delov kanalskega sistema, prečrpališča, zadrževalnikov, prelivnih objektov, opremo za krmiljenje, čistilnih naprav, naprav za obdelavo blata in kompostirnic, vodovodov itn.**

**Velik pomen ima tudi izobraževanje strokovnega osebja na posameznih področjih komunalnih dejavnosti, vzdrževalcev čistilnih naprav kot tudi vzdrževalcev vodovodnega omrežja.**

**To je strokovnega osebja, ki upravlja in vzdržuje najdražje, pa tudi tehnično najzahtevnejše objekte, ki jih je investirala občina ali pa posamezno podjetje.**

Intenzivno sodelovanje inženirjev iz prakse z univerzami pa ima za cilj čim boljše izobraževanje bodoče generacije diplomantov in jim posredovati vse sedanje znanje.

Naprave na področju zaščite voda in varstva okolja zahtevajo velikanska investicijska sredstva. To pa zahteva zelo odgovorno in interdisciplinarno delo vseh strokovnjakov z različnih strokovnih področij.

Država in družba morata dobiti za te ogromne vložene investicije kar najbolj kakovostne, funkcionalne in učinkovite naprave.

Pričakovani cilj, vidno izboljšanje vode – podzemne vode – in rešitve posameznih problemov okolja, lahko dosežemo le, če vsi odgovorni projektanti izdelajo projektno tehnično dokumentacijo na podlagi »sedanjega nivoja tehnike« kot tudi »splošno veljavnih tehničnih pravil«. In seveda pod njihovim ustreznim vodenjem projekta in iz tega izhajajoče osebne odgovornosti.

Opisano strokovno znanje je podlaga za sprejem strokovne odločitve in pripravljenost nositi zanjo tudi polno odgovornost. Inženir – projektant, ki mu je občina ali podjetje naročilo izdelavo, je tu najodgovornejši pooblaščenec. On upravlja z državnim denarjem (če gre za sofinanciranje) in z denarjem davkoplačevalcev. Z varčnim in gospodarnim ravnanjem s finančnimi sredstvi mora biti na vseh področjih dosežen optimalen in modernemu nivoju znanja ustrezen uspeh.

Ta pa se prične že pri pravilnem planiranju, poteku vseh del in opravi in traja do kasnejšega vzdrževanja naprav posameznih občin ali podjetij.

Cilj vseh društev za zaščito voda in za varstvo okolja je tudi uporabiti znanje drugih narodov, tako tehnološko kot tudi organizacijsko.

Na poti v združeno, moderno Evropo je tako delovanje bistvenega pomena. Uresničimo pa ga lahko le s skupnim prizadevanjem in resnim delom.

Brezskrbno čakanje, da bi »drugi« nekaj naredili, ni opravičljivo, saj smo se že v preteklosti kot tudi sedaj pretirano vdajali potrošništvu in tako popolnoma ignorirali tako sedanost kot tudi bodočnost naših narodov in našega planeta.



Je pa tudi samo po sebi razumljivo, da bi bile vse našete naloge in cilji društva za zaščito voda Slovenije – bolje društva za zaščito voda ALPE-JADRAN uresničeni le, če bi vsi člani delali za dobro skupnosti. Zato nagovarjamo vse, od študentov do znanstvenikov in inženirjev, od politikov, državnih uradnikov in občinskih uradnikov. Biti član društva za zaščito voda Slovenije in Hrvatske ne bi smelo biti nekaj samo po sebi umevnega,

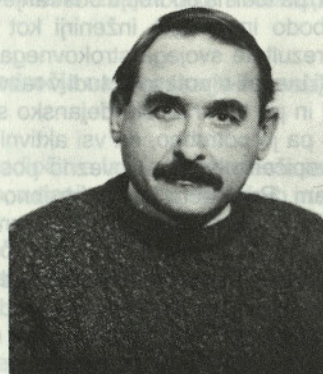
pač pa čast za vsakogar, da deluje pri ohranjanju našega okolja, jezer, rek, morja, podzemne vode. Vsakogar, ki želi sodelovati pri ohranjanju osnov življenja sedanjih in bodočih generacij.

Ljubljana, 7. 9. 1991

Iz nemščine prevedla Breda GAJŠEK

## IN MEMORIAM

### **BOGDANU GRABNARJU** *diplomiranemu gradbenemu inženirju*



*Kruta nesreča je nepričakovano pretrgala življenjsko pot Bogdana Grabnarja, diplomiranega gradbenega inženirja, priznanega strokovnjaka in raziskovalca. Od njega smo se poslovili 5. februarja 1992. Njegova nenadna smrt nas je vse, ki smo z njim sodelovali in delali, globoko pretresla. Ironija usode je, da je nesreča, v kateri je izgubil življenje, nastala zaradi vzrokov, s katerimi se je tudi sam poklicno ukvarjal in jih pri svojem strokovnem delu poskušal preprečevati.*

*Bogdan Grabnar se je rodil 6. 6. 1940 v Brežicah, kjer je obiskoval osnovno šolo in gimnazijo. Po končani maturi je prišel v Ljubljano in pričel študij na Gradbeni fakulteti, kjer je diplomiral leta 1965. Istega leta se je zaposlil na Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij, ki mu je ostal zvest vseh 27 let do prezgodnje smrti. Ves čas je delal na področju kovinskih konstrukcij, kjer se je z bogatimi praktičnimi izkušnjami uveljavil kot priznan strokovnjak – jeklar. V Inštitutu za konstrukcije, gradbeno fiziko in sanacije je bil vodja razvoja kovinskih konstrukcij, dolga leta pa je bil tudi vodja laboratorija za preiskavo konstrukcij.*

*Delal je na področju zagotavljanja kakovosti, varnosti in funkcionalnosti kovinskih konstrukcij v gradbeništvu in strojništvu. Z dolgoletnim vestnim in sistematičnim delom si je nabral ogromno izkušenj pri preizkušanju statično in dinamično obremenjenih konstrukcij. Ni bil ozko usmerjen strokovnjak, temveč je delal na širokem področju projektiranja, izgradnje, preizkušanja in sanacije konstrukcij, konstrukcijskih elementov in detajlov.*

*Nedvomno je največ dosegel na področju razvoja nosilnih izolacijskih sendvič elementov s polnilom iz mineralne volne, ki se uporabljajo v gradbeništvu kot nosilne kritine, medetažne plošče in fasadne obloge ter v proizvodnji kontejnerjev, v hladilni tehniki in brodogradnji. Vrsto let je za številne naročnike sistematično preizkušal nosilnost teh konstrukcijskih elementov. Dolgoletno strokovno delo na tem področju je zaokrožil z več raziskovalnimi projekti. Brez pretiravanja lahko rečemo, da je bil Bogdan Grabnar eden vodilnih slovenskih strokovnjakov za nosilne izolacijske sendvič elemente.*

*Bogdan je imel veliko fizično in duhovno energijo. Pri delu je bil temeljit in vztrajen; strokovnim problemom se ni izogibal in je odpiral vedno nova in nova vprašanja. Bil je poln zamisli, toda marsikatera njegova ideja bo ostala neuresničena. Pomagal je mlajšim sodelavcem ter z njimi sodeloval pri reševanju različnih strokovnih problemov, znal pa je prisluhniti tudi osebnim težavam. Njegovi prijatelji, znanci in sodelavci se ga bomo vedno radi spominjali kot dobrega strokovnjaka in človeka.*

Boris Pukl



## Strokovna knjižnica Bineta LOČIČNIKA je prišla v prave roke



Decembra 1986 leta je v Trstu umrl priznani gradbeni strokovnjak-statik in naš veliki rodoljub Bine Ločičnik, dipl. gradb. inž. Ob letošnjem praznovanju Univerze v Mariboru se je izpolnila ena izmed njegovih zadnjih želja. Bogato strokovno knjižno zbirko (okrog 250 enot), ki jo je Bine Ločičnik vseskozi vestno zbiral s področja matematike, fizike, mehanike in gradbenih konstrukcij, je vdova gospa Eugeniya Ločičnik podarila Univerzi v Mariboru. Nabavna komisija Univerzitetne knjižnice v Mariboru je v svoj fond uvrstila 117 knjig, ostale so na razpolago. Za to izjemno darilo se je rektor UM prof. dr. Alojz Križman javno zahvalil in rojakinji iz Trsta gospe Eugeniji Ločičnik svečano izročil zahvalno listino na Dan univerze, dne 18. 9. 1991.

Inženir Bine Ločičnik se je rodil v Trstu leta 1919. Starši (oče Štajerec, mati Primorka) so se z enoletnim otrokom preselili v Maribor, kjer je obiskoval osnovno šolo in maturiral na realni gimnaziji. Po maturi se je vpisal na tehniško fakulteto v Ljubljani in diplomiral na oddelku za gradbeništvo.

Vojna vihra mu ni prizanesla. Sprva se je zatekel v Senožče na dom svoje matere. Nato se je preselil v Ajdovščino, kjer so ga Italijani zaprli. Pozneje so ga odpeljali v koncentracijsko taborišče v Montecarlo – Savona v Italiji. Od tam so ga Nemci po kapitulaciji Italije leta 1943 odvedli v taborišče v Mantovo. Iz taborišča je pobegnil, se vrnil v Ajdovščino in se tam poročil z domačinko Eugenijo Stibil. Po končani vojni leta 1945 sta se z ženo preselila v njegov rodni Trst. Takrat je bil Trst pod angloameriško upravo. Bine Ločičnik je takoj dobil službo kot glavni inženir pri Anas-u, kjer je ostal do priključitve Trsta Italiji leta 1954. Takrat je izgubilo službo mnogo ljudi.

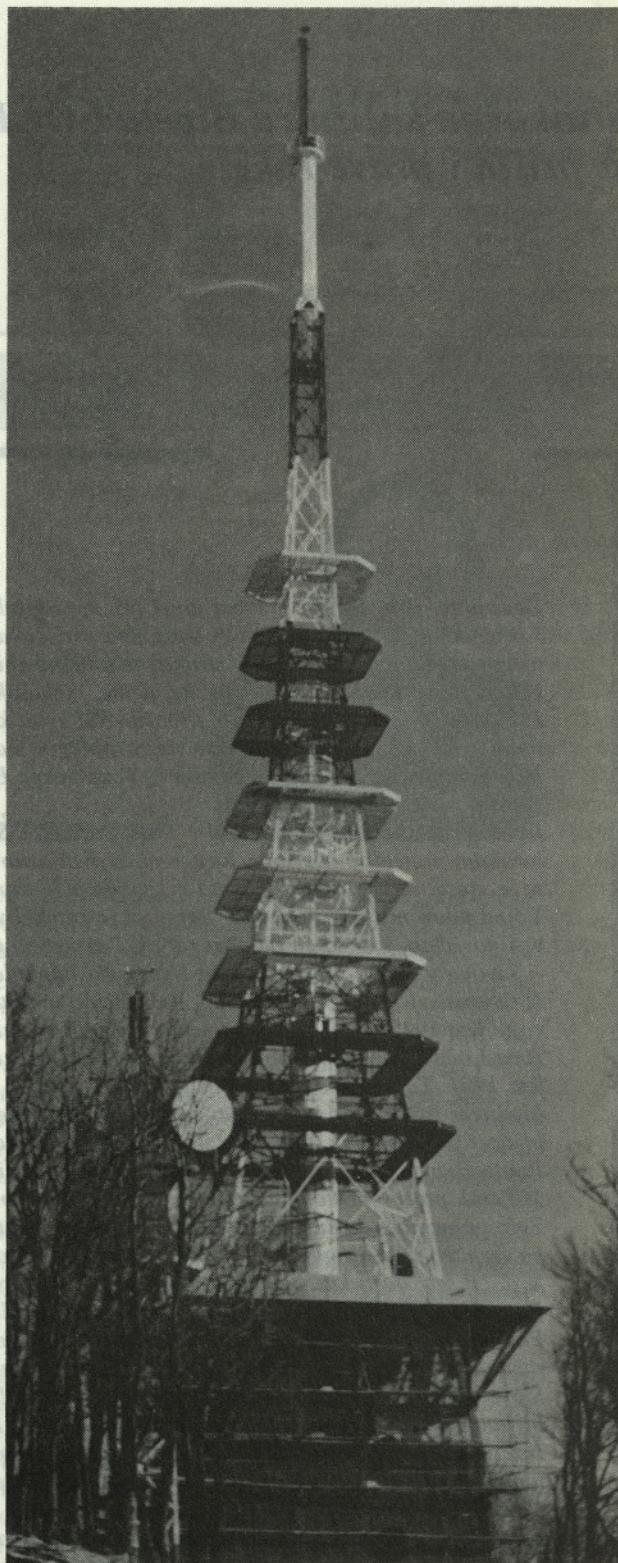
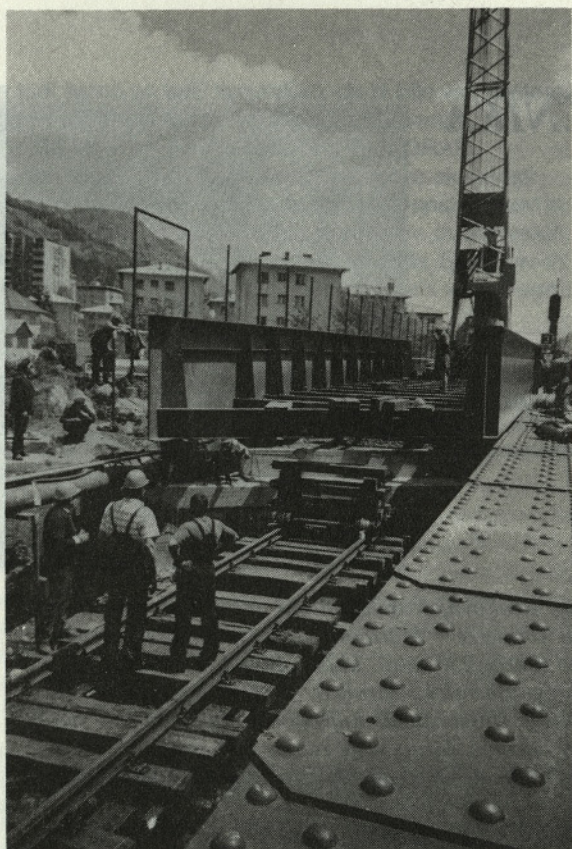
Med tem časom je do leta 1946 že izgotovil statične račune za CRDA (Cantieri Riuniti Del Adriatico), in sicer za most prek Save pri Litiji. V samem Trstu pa je izdelal statične račune za dva glavna mostova: Ponte Bianco in Ponte Verde (prometni in železniški most). Našteli bi lahko še most, ki veže Trst z Miljami, potem mostova v Dolini in Gabrovci in konstrukcijo železnega mosta čez Vipavo pri Ranzianu. Zelo pomemben je tudi njegov delež pri gradnji Autostrade del sole na odseku v bližini Rima. Na žalost pa vseh teh in še drugih del inž. Ločičnik ni mogel podpisati, ker ni bil italijanski državljan. Državljanstvo je dobil šele dosti kasneje.

Po prihodu Italije je Bine Ločičnik odprl svoje gradbeno podjetje skupaj z družabnikom inž. Carlinijem. Podjetje je gradilo številne stanovanjske objekte. Veliko podjetij je angažiralo inž. Ločičnika za statične račune pri njihovih betonskih konstrukcijah. Med temi je bil sila pomemben Ločičnikov delež pri gradnji Slovenskega kulturnega doma v Trstu, ki so ga odprli leta 1964. Ker takrat inž. Ločičnik še vedno ni bil italijanski državljan, je delo podpisal inž. Cambi. Dokumentacija o njegovem delu je v rokah vdove.

Inženir Ločičnik si je v Trstu pridobil ugled in spoštovanje stanovskih kolegov, med katerimi je bilo tudi mnogo Italijanov. Bine Ločičnik je bil Slovenec, ki bi se lahko – tako kot mnogi drugi strokovnjaki – zgubil v večinskem narodu, pa se to ni zgodilo. Ni bil samo zvest svojemu narodu, bil je do kraja prepričan demokrat in brez strahu povsod zagovarjal svobodomiselne ideje. Kot takega so ga cenili povsod, kamor je prišel. Bil je priljubljen tako med svojimi prijatelji kot med kolegi. Zaradi odprtega značaja in pripravljenosti pomagati, kjer je le mogel, je s prezgodnjo smrtjo zapustil za sabo veliko vrzel in hudo praznino. Njegova želja, da bi počival v svoji ljubljeni štajerski zemlji, se je uresničila. Pokopan je v Mariboru. Njegova bogata zbirka knjig pa je prišla v prave roke: študentom, mladim raziskovalcem in vsem stanovskim kolegom širom po Sloveniji.

Prof. dr. Ludvik Trauner



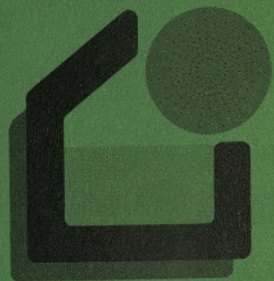


# IMK

INŠTITUT ZA METALNE KONSTRUKCIJE LJUBLJANA

Foto: DRAGAN ARRIGLER





# CENTER ZA GRADITELJSTVO GRADBENI CENTER

61000 Ljubljana, · Dimičeva 9, tel. 342 671, telefaks 218 380

## PRIPOROČILA 1

---

### 1. POMEN GRADBENEGA CENTRA

---

**GRADBENI CENTER** bo imel kot osrednji slovenski informacijski, svetovalni in izobraževalni center enak pomen za prebivalce, gospodarstvo in državo, kot ga imajo podobni centri v Evropi, po katerih vzorcu nastaja in s katerimi bo tudi programsko povezan.

**GRADBENI CENTER** Slovenije bo predstavljal nepogrešljivo stalno povezavo med potrebami prebivalcev, možnostmi gospodarstva in državno oblastjo, ki je temeljni pogoj za vodenje ustrezne politike na posameznih nacionalno pomembnih področjih, kot so stanovanjska izgradnja, racionalna raba energije v zgradbah in gospodinjstvih, varstvo okolja ter tehnična kakovost in učinkovitost, vse da bi dosegli evropske kriterije in norme.

**GRADBENI CENTER** bo informiral, izobraževal in ščitil prebivalce, ki bodo dobili verificirane odgovore na vprašanja iz upravnih, finančnih in tehničnih področij, s katerimi se srečujejo pred gradnjo in med samo gradnjo oziroma pri vzdrževanju in obnovi stanovanj in stanovanjskih hiš, ter ustrezne nasvete v zvezi s smotrno rabo energije v zgradbah in gospodinjstvih ter zaščito oziroma kulturo bivalnega okolja.

Projektantom, razvojnim in raziskovalnim strokovnjakom bo **GRADBENI CENTER** nudil dragocen servis raznovrstnih strokovnih informacij, ob katerih bo njihovo delo lažje in kakovostnejše.

Za proizvajalce bo **GRADBENI CENTER** pomenil verifikacijo kakovosti njihovih izdelkov ter direktno soočanje s podobnimi domačimi in tujimi izdelki. Omogočal bo uveljavitev kakovostnih rešitev in spodbujal tiste, ki še niso dosegli ustrezne tehnične ravni za tržno soočanje z Evropo.

**GRADBENI CENTER** bo pomenil evropsko križišče med proizvajalci in uporabniki na področju stanovanjske gradnje s posebnim poudarkom na energetske učinkovitih proizvodih in ekološko neoporečnih tehnologijah. Poseben pomen **GRADBENEGA CENTRA** bo njegova usposobljenost za ugotavljanje in podeljevanje znakov kakovosti s področja tehnične in funkcionalne kakovosti, energetske učinkovitosti, ekološke primernosti in oblikovanja.

**GRADBENI CENTER** bo prispeval h kakovostnemu prestrukturiranju in večji konkurenčnosti tistega dela obrti, industrije in gradbenišva, ki je tako ali drugače povezano z izgradnjo in opremo, obnovo, vzdrževanjem ali bivanjem v stanovanjih oziroma stanovanjskih hišah, to pa je prek 50 % vsega gospodarstva.

Skratka, ustanovitev **GRADBENEGA CENTRA** kot osrednjega slovenskega informacijskega, svetovalnega in izobraževalnega centra za področje graditve in uporabe gradbenih objektov je nedvomno nacionalnega pomena za državo Slovenijo.



## 2. PROGRAMSKA ZASNOVA GRADBENEGA CENTRA

### 2. Dejavnosti

**GRADBENI CENTER** bo programsko deljen po dejavnostih in po strokovnih ravneh obdelave in prezentacije. Tehnična področja bodo pokrivala naslednje dejavnosti:

– **INFORMACIJSKO-DOKUMENTACIJSKA DEJAVNOST**, v okviru katere bodo na voljo:

- domači in tuji, predvsem novi evropski tehnični predpisi, standardi in direktive prek baze podatkov s področja graditeljstva (CITIS DC-ROM, PERINORM itd.)
- terminalske povezave s knjižnicama ZRMK in CTK ter pomembnimi evropskimi gradbenimi oziroma informacijskimi centri
- domača in tuja strokovna literatura ter revije s področij graditve objektov, racionalne rabe energije v zgradbah in gospodinjstvih ter kulture bivalnega okolja
- splošne in posebne informacije o konkretnih domačih in tujih proizvodih in storitvah.

– **STALNA STROKOVNA RAZSTAVA**, ki bo na ca. 1300 m<sup>2</sup> predstavljala tehnike in tehnologije grajenja, vzdrževanja in obnove stanovanjskih in tudi drugih objektov, sisteme zaščite ter ogrevanja zgradb, vse s poudarkom na racionalni rabi energije ter ekološko neoporečnih tehnologijah. Strokovna razstava bo na ravni, primerni za širše množice, ter na strokovno bolj zahtevni ravni, namenjeni zahtevnejšim obiskovalcem. Na zemljiškem kompleksu je predvideno osem parcel za postavitev vzorčnih montažnih objektov, ki bodo, popolnoma opremljeni, na ogled obiskovalcem.

– **SVETOVALNA DEJAVNOST**, v sklopu katere bo v Ljubljani in večjih krajih po Sloveniji organizirano:

- **stanovanjsko svetovanje**: možne lokacije za gradnjo stanovanjskih hiš, nakup ali prodaja novih in rabljenih stanovanj in stanovanjskih hiš, stanovanjski krediti, upravni postopki itd.;
- **gradbeno-tehnično svetovanje**: načrtovanje, gradnja, vzdrževanje ter obnova stanovanj in stanovanjskih hiš s posebnim poudarkom na ekološko prijaznih rešitvah;
- **energetsko svetovanje**: energetska varčna gradnja in racionalna raba energije v zgradbah in gospodinjstvih.

– **IZOBRAŽEVALNA DEJAVNOST** poklicnega usposabljanja in dopolnilnega izobraževanja kadrov za gradbeništvo in druge potrebne stroke v graditeljstvu IV. do VII. stopnje poklicev. Organizirane bodo strokovne prireditve, kot so predavanja, seminarji, okrogle mize, delavnice in podobno s pomočjo najsodobnejše audio in vizualne tehnike.

V okviru te dejavnosti bodo potekali tudi strokovni izpiti po zakonu o graditvi objektov, ki jih sedaj izvaja ZRMK po pogodbi s Ministrstvom za industrijo in gradbeništvo. Center bo izdajal tudi strokovne publikacije, kot so razna navodila, priporočila, priložniki ter knjižnice za promocijo novih znanj s področja gradbeništva, oziroma širše graditeljstva, varčne rabe energije v zgradbah ter ekologije.

**GRADBENI CENTER** bo svoje prispevke redno objavljati v strokovni reviji Gradbeni vestnik, dve dvojni številki, predvidoma spomladi in jeseni, pa bosta v celoti namenjeni problematiki graditve, vzdrževanja ter obnove stanovanj in stanovanjskih hiš. Občasno bo **GRADBENI CENTER** objavljati ustrezne strokovne nasvete oziroma priporočila tudi v drugih revijah, kot so Gospodarski vestnik, Revija za razvoj, VIP, Naš dom, itd.

### – VREDNOTENJE KAKOVOSTI PROIZVODOV IN STORITEV

Skrb za kakovost proizvodov in storitev bo ena od najpomembnejših in stalnih aktivnosti **GRADBENEGA CENTRA**. Industrija, podjetja oziroma posamezniki, ki bodo želeli sodelovati v **GRADBENEM CENTRU**, bodo morali izkazati doseganje kakovosti svojih proizvodov ali storitev v skladu s sodobnimi evropskimi standardi in



normativi. **GRADBENI CENTER** se bo v povezavi z vlado R Slovenije in Gospodarsko zbornico Slovenije tudi usposobil za organizacijo podeljevanja znakov kakovosti za naslednja področja:

ZNAK ZA TEHNIČNO KAKOVOST,  
ZNAK ZA UPORABNO KAKOVOST,  
ZNAK ZA ENERGETSKO UČINKOVITOST  
ZNAK ZA EKOLOŠKO PRIMERNOST  
ZNAK ZA DOBRO OBLIKOVANJE.

Podeljeni znak ne bo imel trajne vrednosti, ampak bo vsako leto verificiran s kakovostjo izdelkov in z noveliranimi standardi na tem področju v Evropi.

**GRADBENI CENTER** bo deloval v stalni strokovni povezavi z ZRMK kot osrednjo raziskovalno organizacijo za področje gradbeništva v R Sloveniji, ki bo pokrival področje preizkušanja za dokazovanje kakovosti in s svojimi strokovnjaki opravljal svetovalno, izobraževalno in razvojno-raziskovalno dejavnost na področju graditve, obnove ter vzdrževanja objektov s poudarkom na pocenitvi gradnje, znižanju stroškov vzdrževanja, izboljšanju bivalnih pogojev ter zmanjšanju porabe energije in onesnaževanja okolja. **GRADBENI CENTER** pa bo pri izvajanju svojih dejavnosti tudi projektno povezoval najvidnejše strokovnjake slovenskih fakultet (FS, FAGG, VTŠ, FER...), inštitutov (IJS, EIMV, IKM...) podjetij in agencij.



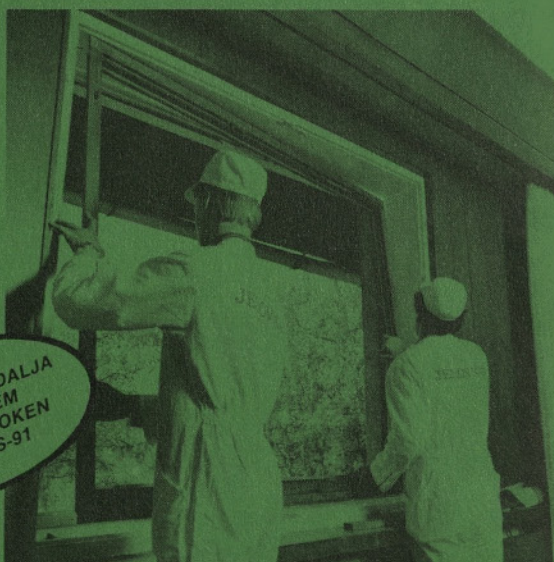
# PRENOVA OKEN

Zaradi večjega povpraševanja po zamenjavi oken smo v Jelovici pričeli izdelovati in montirati okna za renoviranje starih. Prednost tega načina je, da se izognemo neljubim zidarskim delom v že vseljenih prostorih.



Oblika profila okvirja je namensko prilagojena za obnovo in se spreminja glede na okna, ki jih želimo zamenjati. Pred vsako izdelavo je zato treba natančno posneti izmere oken. Pred montažo odstranimo stara okenska krila in okovje na okvirju.

Vanj vstavimo novo okno, ki se montira po sistemu suhe vgradnje. Stari okvir nam služi kot slepi podboj. Spoj med starim in novim okvirjem zatesnimo s TIO kitom ali purpenom. Prek spoja in starega okvirja montiramo pokrivne profile horizontalno in vertikalno z notranje in zunanje strani. Navadno se ob zamenjavi izdelata tudi nova notranja lesena polica.



SREBRNA MEDALJA  
ZA SISTEM  
PRENOVE OKEN  
na MOS-91

Ob zamenjavi se bistveno izboljša toplotna izolacija in s tem dosežemo prihranek pri porabi kuriva, svetla površina oken pa ostane enaka ali se celo poveča.

Informacije dobite v prodajnem inženiringu stavbnega pohištva!



 **JELOVICA**

Lesna industrija Škofja Loka, Kidričeva 58, 64220 Škofja Loka  
tel.: (064) 631-241, telex 37327 yu ljel, telefax (064) 632-261

## PRODAJNA MESTA

ŠKOFJA LOKA, Kidričeva 58, tel.: 064/632-270, KRANJ, Partizanska 26, tel.: 064/211-232, LJUBLJANA, Šmartinska 152, tel.: 061/440-400, NOVO MESTO, Ob potoku 5, tel.: 068/22-772, CELJE, Božičeva 3, tel.: 063/25-881, MURSKA SOBOTA, Cankarjeva 25, tel.: 069/22-921, NOVA GORICA, Vojkova 8, tel.: 065/23-660, IZOLA, Tomažičeva ul. 18, tel.: 066/61-238, MARIBOR, Limbuško nabrežje 15, tel.: 062/631-331, METLIKA, Vinogradniška 41, tel.: 068/58-716





## POROČILA 23

GV XXXI • 1-2

UPORABA DEFORMACIJSKIH IZOTAH V ANALIZI  
KONSOLIDACIJE TAL

UDK 624.131.54:519.61/64

BOJAN MAJES, JANKO LOGAR

## POVZETEK

Nelinearno obnašanje tal lahko izrazimo z reološkimi sovisnostmi, izraženimi s sistemom deformacijskih izotah. Prikazano je, kako iz rezultatov standardne triosne preiskave izrazimo sistem deformacijskih izotah v obliki analitičnih izrazov ter kako uporabimo na ta način zapisane reološke sovisnosti v numerični analizi konsolidacije po metodi končnih elementov.

## USE OF DEFORMATION ISOTACHES IN THE CONSOLIDATION ANALYSIS OF SOILS

## SUMMARY

The results of standard triaxial test of soils can be presented by families of strain isotaches. The deduction of analytical expressions for such families of strain isotaches is shown and their use in the numerical analysis of the consolidation process by the finite element method is described.

## UVOD

Časovni razvoj deformacij in napetosti (od ničnih do porušnih vrednosti) v zasičenih, nelinearnih viskoznih zemljinah lahko napovemo, če rešimo hkrati ravnovesne in difuzijske enačbe. Ker so sovisnosti med napetostmi in deformacijami nelinearne, s časom pa se spreminja tudi prepustnost zemljine, moramo sovprežni sistem enačb reševati v časovnih korakih. Za majhne spremembe

napetostnih stanj lahko eksperimentalno ugotovljene nelinearne reološke sovisnosti lineariziramo. V ravninsko deformacijskih in osnosimetričnih deformacijskih pogojih lahko sovprežni sistem ravnovesnih in difuzijske enačbe, prilagojen metodi končnih elementov, zapišemo v inkrementalni matrični obliki [4]:

$$\begin{bmatrix} [K]_i & -[L]_i^T \\ -[L]_i & -\Delta t_i/2 [M]_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\Delta W\}_i \\ \{\Delta U\}_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\Delta P\}_i \\ \Delta t_i [M]_i \{U\}_{i-1} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

V enačbi (1) so  $\{\Delta W\}_i$  prirastki vozliščnih premikov,  $\{\Delta U\}_i$  pa prirastki vozliščnih vrednosti presežnih pornih tlakov; gre za spremembe v času  $\Delta t_i$  pri prirastku obtežbe

Avtorja:

Bojan Majes, dr., dipl. gradb. inž., docent

Janko Logar, mag., dipl. gradb. inž., stažist raziskovalec



$\{\Delta P\}_i$ . Matrice  $[K]_i$ ,  $[M]_i$  in  $[L]_i$  so simetrične in so odvisne od geometrije mreže končnih elementov, s katero diskretiziramo temeljna tla; poleg tega je matrika  $[K]_i$  odvisna še od deformacijskih parametrov, matrika  $[M]_i$  pa od prepustnosti zemljine. Prirastek efektivnih napetosti izračunamo po enačbi:

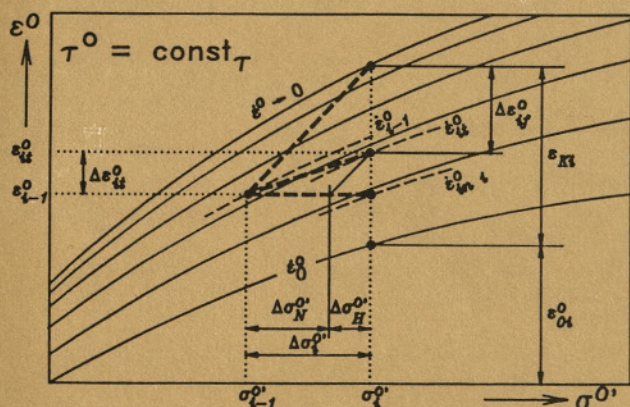
$$\{\Delta \sigma'\} = [c_{ij}] \{\Delta \varepsilon\} \quad (2)$$

V konstitucijski matrici  $[c_{ij}]$  nastopata sekantni vrednosti kompresijskega modula  $K_{ij}$  in strižnega modula  $G_{ij}$ , ki ju določimo iz sistema deformacijskih izotah. Deformacijske izotahe predstavljajo eksperimentalno ugotavljanje reološke sovisnosti med oktaedrijskimi vrednostmi napetosti, deformacij in njihovih hitrosti:

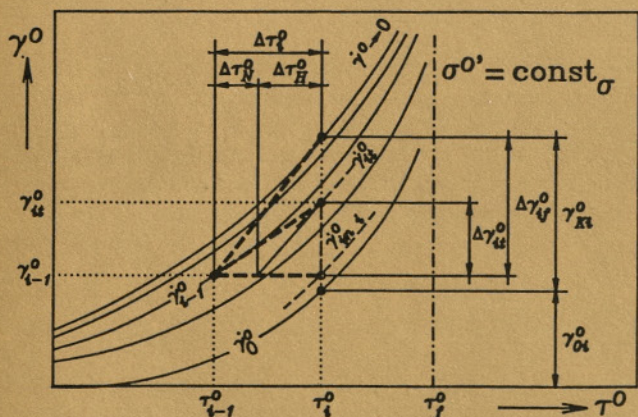
$$\varepsilon^o = [\varepsilon^o(\sigma^o)]_{\dot{\varepsilon}^o = \text{const}} \quad \tau^o = \text{const} \quad (3)$$

$$\gamma^o = [\gamma^o(\tau^o)]_{\dot{\gamma}^o = \text{const}} \quad \sigma^o = \text{const} \quad (4)$$

Primer družin deformacijskih izotah je prikazan na slikah 1 in 2.



Slika 1. Družina deformacijskih izotah  $\varepsilon^o = [\varepsilon^o(\sigma^o)]_{\dot{\varepsilon}^o = \text{const}}$

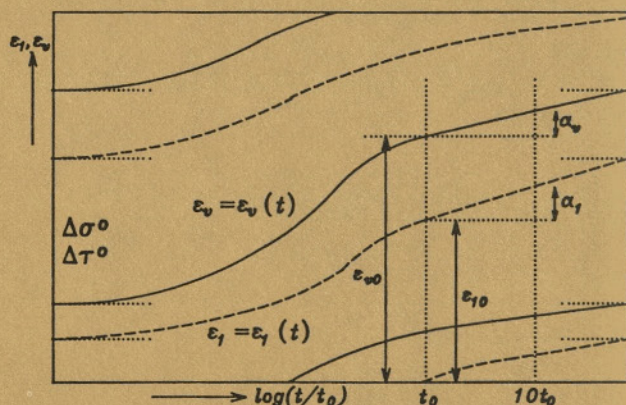


Slika 2. Družina deformacijskih izotah  $\gamma^o = [\gamma^o(\tau^o)]_{\dot{\gamma}^o = \text{const}}$

V pričujočem spisu, ki se navezuje na pregled raziskav vpliva lezenja na konsolidacijo zemljin [8], prikazujemo izpeljavo konstitucijske matrice za časovne inkremente nelinearnih viskozni tal iz podatkov triosnih preiskav na valjastih vzorcih.

### KOMPRESIJSKI IN STRIŽNI MODULI VZDOLŽ TEMELJNIH IZOTAH

Osnova za določitev družine deformacijskih izotah (3) in (4) je triosna konsolidirana preiskava valjastih vzorcev zemljine. Za izbrano osno simetrično napetostno stanje ( $\sigma_1, \sigma_3$ ) opazujemo vertikalne premike  $w$  (vertikalne specifične deformacije  $\varepsilon_1$ ) in spremembe prostornine  $\Delta V$  (specifične volumenske deformacije  $\varepsilon_v$ ) toliko časa, da časovne sovisnice  $\varepsilon_1 = \varepsilon_1(t)$  in  $\varepsilon_v = \varepsilon_v(t)$  preidejo v sekundarno fazo konsolidacije (slika 3); v sekundarni fazi nadaljujemo meritve vsaj tako dolgo, da registriramo začetno usmerjenost sekundarne konsolidacijske črte (slika 7).



Slika 3. Konsolidacijske krivulje  $\varepsilon_1 = \varepsilon_1(t)$ ,  $\varepsilon_v = \varepsilon_v(t)$

Efektivnima napetostima  $\sigma'_1$  in  $\sigma'_3$  priredimo oktaedrijski vrednosti napetosti  $\sigma^o$  in  $\tau^o$ . Pri primerjalnem času  $t_0$ , ki ga izberemo na začetku sekundarne faze, določimo primerjalni vrednosti specifičnih deformacij  $\varepsilon_{10}$  in  $\varepsilon_{v0}$  oziroma ustreznih oktaedrijskih primerjalnih deformacij  $\varepsilon^o_0$  in  $\gamma^o_0$ :

$$\sigma^o = 1/3 (\sigma'_1 + 2\sigma'_3), \quad \tau^o = \sqrt{2}/3 (\sigma'_1 - \sigma'_3) \quad (5)$$

$$\varepsilon^o_0 = \varepsilon_{v0}/3, \quad \gamma^o_0 = \sqrt{2}/3 (3\varepsilon_{10} - \varepsilon_{v0}) \quad (6)$$

Če nanesemo vse primerjalne deformacije  $\varepsilon^o_0$  na navpično os, na vodoravno os pa opazovana napetostna stanja  $\sigma^o$ , dobimo v takšnem koordinatnem sistemu niz točk z absciso  $\sigma^o$  in ordinato  $\varepsilon^o_0$  ter parametrom  $\tau^o$ . Te točke povežemo z izolijnami  $\tau^o = \text{const}$  (slika 4). Nakloni teh izolijn pri različnih vrednostih normalnih oktaedrijskih napetosti so recipročne vrednosti tangentialnih kompresijskih modulov za konstantne vrednosti tangencialnih oktaedrijskih napetosti:



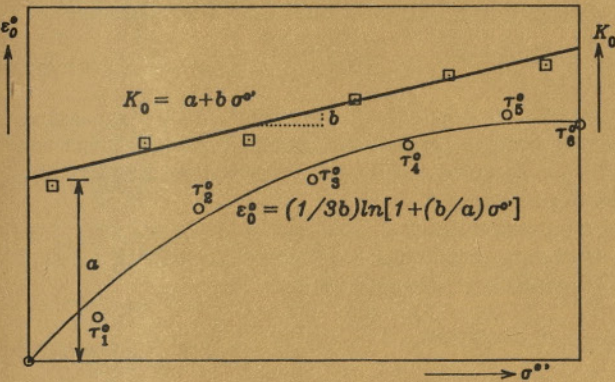
$$K_0 = [(1/3) (\delta\sigma^o/\delta\varepsilon_0^o)]_{\tau^o=\text{const.}} \quad (7)$$

Iz doslej izvedenih laboratorijskih preiskav lahko sklepamo, da je vpliv tangencialnih napetosti na tangente vrednosti kompresijskih modulov zanemarljiv, vpliv normalnih oktaedrskih napetosti pa linearen, tako da lahko sovisnost med kompresijskimi moduli in oktaedrskimi normalnimi napetostmi izrazimo z enačbo:

$$K_0 = a + b \sigma^o \quad (8)$$

sovisnost med primerjalnimi oktaedrskimi normalnimi deformacijami in oktaedrskimi napetostmi  $\varepsilon_0^o = \varepsilon_0^o(\sigma^o, \tau^o)$  pa z enačbo:

$$\varepsilon_0^o = [(1/3b) \ln [1 + (b/a) \sigma^o]] \quad (9)$$



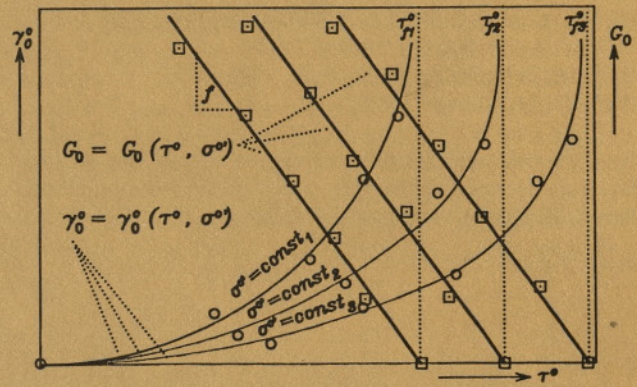
Slika 4. Kompresijski moduli:  $K_0 = K_0(\sigma^o)$

Tangente vrednosti strižnih modulov  $G_0$  dobimo, če narišemo izolinije skozi točke z ordinatami  $\gamma_0^o$  in abscisami  $\tau^o$  za konstantne vrednosti  $\sigma^o$  in poiščemo recipročne vrednosti naklonov teh krivulj pri različnih vrednostih  $\tau^o$ .

$$G_0 = [(\delta\tau^o/\delta\gamma_0^o)]_{\sigma^o=\text{const.}} \quad (10)$$

Točke z abscisami  $\tau^o$  in ordinatami  $G_0$  za konstantne vrednosti  $\sigma^o$  povežemo s krivuljami ali premicami. Izkušnje kažejo, da lahko sovisnice  $G_0 = [G_0(\tau^o)]_{\sigma^o=\text{const.}}$  dovolj natančno aproksimiramo s šopom vzporednih premic (slika 5):

$$G_0 = f(\tau_f^o - \tau^o) \quad (11)$$



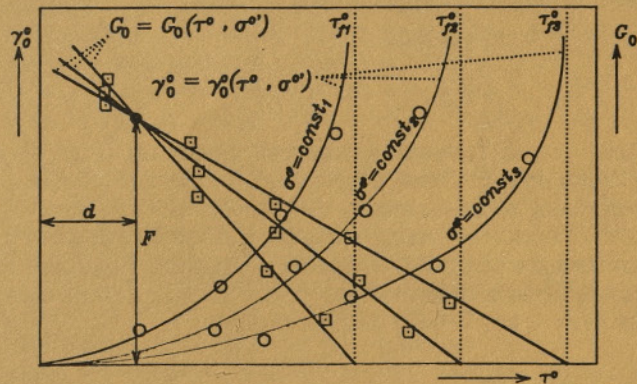
Slika 5. Strižni moduli:  $G_0 = G_0(\tau^o)$  – enačba 11.

ali s šopom premic, ki izhajajo iz skupne točke z ordinato  $F$  in absciso  $d$  (slika 6):

$$G_0 = F(\tau_f^o - \tau^o)/(\tau_f^o - d) \quad (12)$$

V enačbah (11) in (12) pomeni  $\tau_f^o$  mejno (porušno) oktaedrsko tangencialno napetost pri oktaedrski normalni napetosti  $\sigma^o$ , izraženo s trdnostnima parametroma zemljine  $\varphi'$  (strižni kot) in  $c'$  (kohezija):

$$\tau_f^o = 2\sqrt{2} \cos\varphi' (c' - \sigma^o \tan\varphi') / (3 - \sin\varphi') \quad (13)$$

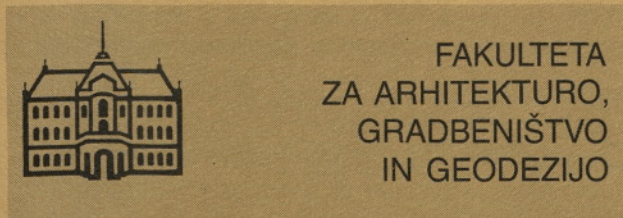


Slika 6. Strižni moduli:  $G_0 = G_0(\tau^o)$  – enačba 12.

Pri mejni vrednosti  $\tau^o = \tau_f^o$  je tangenta vrednosti strižnega modula nična, tangencialna oktaedrska deformacija pa je neskončno velika. Sovisnice med primerjalnimi vrednostmi oktaedrskih tangencialnih deformacij  $\gamma_0^o$  in tangencialnimi oktaedrskimi napetostmi  $\tau^o$  pri konstantnih normalnih oktaedrskih napetostih  $\sigma^o$  dobimo z integriranjem enačbe (12) ali enačbe (13):

$$\gamma_0^o = 1/f \ln [\tau_f^o / (\tau_f^o - \tau^o)] \quad (14)$$

$$\gamma_0^o = (\tau_f^o - d)/F \ln [\tau_f^o / (\tau_f^o - \tau^o)] \quad (15)$$





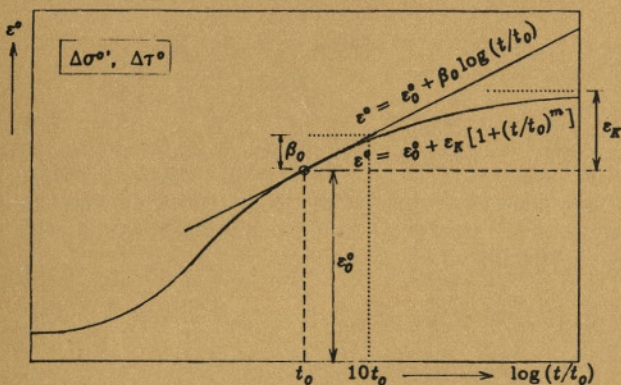
### ODVISNOST KOMPRESIJSKEGA IN STRIŽNEGA MODULA OD NAPETOSTNEGA IN DEFORMACIJSKEGA STANJA TER DEFORMACIJSKIH HITROSTI

Spreminjanje specifičnih deformacij  $\varepsilon_1$  in  $\varepsilon_V$  v sekundarni fazi konsolidacije valjastega vzorca pri napetostnem stanju  $\sigma_1'$  in  $\sigma_3'$  lahko zapišemo v obliki:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{10} + \alpha_1 \log(t/t_0), \quad (16)$$

$$\varepsilon_V = \varepsilon_{V0} + \alpha_V \log(t/t_0)$$

V enačbi (16) pomenita  $\alpha_1$  in  $\alpha_V$  prirastek specifičnih deformacij  $\varepsilon_1$  oziroma  $\varepsilon_V$  v eni logaritmski dekadi časa. Na podoben način lahko zapišemo spreminjanje oktaedričnih deformacij v sekundarni fazi konsolidacije (slika 7):



Slika 7. Konsolidacijska krivulja  $\varepsilon^\circ = \varepsilon^\circ(t)$ .

$$\varepsilon^\circ = \varepsilon_0^\circ + \beta_0 \log(t/t_0) \quad (17)$$

$$\gamma^\circ = \gamma_0^\circ + \beta_\gamma \log(t/t_0)$$

Tako kot so primerjalne vrednosti deformacij  $\varepsilon_0^\circ$  in  $\gamma_0^\circ$  odvisne od oktaedričnih napetosti  $\sigma^o$  in  $\tau^o$ , so tudi prirastki deformacij zaradi lezenja  $\beta_0$  in  $\beta_\gamma$  odvisni od napetostnih stanj. Prirastke normalnih oktaedričnih deformacij  $\beta_0$  lahko grafično prikazemo z izolinijami  $\beta_0 = \beta_0[(\sigma^o)]_{\tau^o = \text{const.}}$ , prirastke  $\beta_\gamma$  pa z izolinijami  $\beta_\gamma = \beta_\gamma[(\tau^o)]_{\sigma^o = \text{const.}}$ . Navadno lahko prve sovisnice izrazimo z enačbo:

$$\beta_0 = a_1 + b_1 \sigma^o \quad (18)$$

druge, pa z enačbo:

$$\beta_\gamma = f_1 + g_1 \sigma^o + h_1 \tau^o/t_1^q \quad (19)$$

Naraščanje deformacij s časom pri nespremenjenem napetostnem stanju ne more slediti enačbi (17) v nedogled. Splošnejši zapis spreminjanja deformacij v sekundarni fazi konsolidacije izražata enačbi:

$$\varepsilon^\circ = \varepsilon_0^\circ + \varepsilon_K [1 - (t/t_0)^m] \quad (20)$$

$$\gamma^\circ = \gamma_0^\circ + \gamma_K [1 - (t/t_0)^n]$$

Parametra  $m$  in  $n$  imata v primeru, da se oktaedrični

deformaciji  $\varepsilon^\circ$  in  $\gamma^\circ$  po enačbah (20) počasneje večata kakor po enačbah (17), negativno vrednost. Če se parametra  $m$  in  $n$  približujeta vrednosti nič, preideta sovisnici (20) v obliko (17), torej v Buismanovo logaritmično premico. Pri zelo velikih negativnih vrednostih  $m$  oziroma  $n$  se viskozni učinek skoro izniči.

Diferenciacija enačb (20) glede na čas da – pri konstantnem efektivnem napetostnem stanju – za hitrosti deformacij sovisnosti:

$$\delta\varepsilon^\circ/\delta t = \dot{\varepsilon}^\circ = (-m/t_0) \varepsilon_K (t/t_0)^{m-1} \quad (21)$$

$$\delta\gamma^\circ/\delta t = \dot{\gamma}^\circ = (-n/t_0) \gamma_K (t/t_0)^{n-1}$$

V primerjalnem času  $t_0$  sta oktaedrični deformacijski hitrosti:

$$\dot{\varepsilon}_0^\circ = (-m/t_0) \varepsilon_K \quad (22)$$

$$\dot{\gamma}_0^\circ = (-n/t_0) \gamma_K$$

Z delitvijo enačb (21) z enačbama (22) dobimo razmerje:

$$t/t_0 = (\dot{\varepsilon}^\circ/\dot{\varepsilon}_0^\circ)^{1/(m-1)} = (\dot{\gamma}^\circ/\dot{\gamma}_0^\circ)^{1/(n-1)} \quad (23)$$

Tako lahko v enačbah (20) kvocient časov  $t/t_0$  nadomestimo s kvocientom deformacijskih hitrosti ( $\dot{\varepsilon}^\circ/\dot{\varepsilon}_0^\circ$ ) oziroma ( $\dot{\gamma}^\circ/\dot{\gamma}_0^\circ$ ) in časovne črte lahko nadomestimo z deformacijskimi izotahami.

Če diferenciramo slično Buismanovi enačbi (17) in v času  $t_0$  izenačimo rezultirajoče deformacijske hitrosti s tistimi, ki jih izražata enačbi (22), dobimo relaciji:

$$\varepsilon_K = -0,4343 \beta_0/m, \quad (24)$$

$$\gamma_K = -0,4343 \beta_\gamma/n$$

Družini deformacijskih izotah, podani z enačbama (3) in (4), sta torej določeni z deformacijskimi parametri  $a$ ,  $b$  in  $f$  ( $F$  in  $d$ ), z viskoznostnimi parametri  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $m$ ,  $f_1$ ,  $g_1$ ,  $h_1$  in  $n$  ter s trdnostnima parametroma  $c'$  in  $\varphi'$ .

Približna določitev parametrov deformacijskih izotah na osnovi edometriškega preizkusa in preizkusa strižne trdnosti zemljine ob supoziciji, da je Poissonov količnik  $\nu$  znan, je bila prikazana leta 1989 v reviji *Géotechnique* [9].

Prirastke vzdolžnih premikov in presežnih pornih tlakov v  $i$ -tem časovnem intervalu  $\Delta t_i$  dobimo tako, da iterativno rešimo sovprežni sistem ravnovesnih in difuzijske enačbe (1). Na začetku  $i$ -tega časovnega intervala poznamo v vsakem vzdolžju mreže končnih elementov napetosti, deformacije in njihove hitrosti. V prvi iteraciji rešimo sistem enačb (1) z upoštevanjem deformacijskih parametrov  $K_0$  (enačba 8) in  $G_0$  po enačbi (11) ali (12). Če privzamemo, da se je napetostno stanje hipno spremenilo od  $\sigma_{i-1}^o$  na  $\sigma_i^o$  za  $\Delta\sigma_i^o$  in od  $\tau_{i-1}^o$  na  $\tau_i^o$  za  $\Delta\tau_i^o$ , bi se v tem časovnem intervalu sferno lezenje pričelo s hitrostjo:

$$\dot{\varepsilon}_{ini}^o = \dot{\varepsilon}_0^\circ [(-\varepsilon_{i-1}^o + \varepsilon_0^\circ + \varepsilon_{Ki})/\varepsilon_{Ki}]^{(m-1)/m} \quad (25)$$

$\dot{\varepsilon}_0^\circ$  je primerjalna hitrost, odvisna od primerjalnega časa  $t_0$ :

$$t_{0ei} = (-m/\dot{\varepsilon}_0^\circ) \varepsilon_{Ki} \quad (26)$$



$\varepsilon_{i-1}^0$  pa oktaedrska sferna deformacija na začetku časovnega intervala.  $\varepsilon_{0i}^0$  (primerjalna oktaedrska sferna deformacija) in  $\varepsilon_{Ki}$  ustrežata novemu napetostnemu stanju  $\sigma_i^0$  in  $\tau_i^0$ , izračunanemu v prvi iteraciji.

Hitrosti  $\dot{\varepsilon}_{in i}^0$  bi ustrezal čas:

$$t_{in \varepsilon i} = t_{0 \varepsilon i} [(-\varepsilon_{i-1}^0 + \varepsilon_{0i}^0 + \varepsilon_{Ki}) / \varepsilon_{Ki}]^{(1/m)} \quad (27)$$

Relativni čas ob koncu obravnavanega časovnega koraka tako znaša:

$$t_{ei} = t_{in \varepsilon i} + \Delta t_i \quad (28)$$

Ker strukturni upor med zrni ne dovoli hipnega povečanja deformacij  $\varepsilon_{i-1}^0$  na  $\varepsilon_i^0$ , se bodo v tem časovnem intervalu  $\Delta t_i$  vrednosti oktaedrskih sfernih deformacij povečale samo do vrednosti:

$$\varepsilon_{ti}^0 = \varepsilon_{0i}^0 + \varepsilon_{Ki} [1 - (t_{ei}/t_{0 \varepsilon i})^m] \quad (29)$$

Podobno kot se prične sferno lezenje s hitrostjo  $\dot{\varepsilon}_{in i}^0$ , se prične distorzijsko lezenje s hitrostjo  $\dot{\gamma}_{in i}^0$ :

$$\dot{\gamma}_{in i}^0 = \dot{\gamma}_0^0 [(-\gamma_{i-1}^0 + \gamma_{0i}^0 + \gamma_{Ki}) / \gamma_{Ki}]^{(n-1)/n} \quad (30)$$

$$t_{0 \gamma} = (-n / \dot{\gamma}_0^0) \gamma_{Ki} \quad (31)$$

$$t_{in \gamma i} = t_{0 \gamma i} [(-\gamma_{i-1}^0 + \gamma_{0i}^0 + \gamma_{Ki}) / \gamma_{Ki}]^{(1/n)} \quad (32)$$

$$t_{\gamma i} = t_{in \gamma i} + \Delta t_i \quad (33)$$

$$\gamma_{ti}^0 = \gamma_{0i}^0 + \gamma_{Ki} [1 - (t_{\gamma i}/t_{0 \gamma i})^n] \quad (34)$$

Spremembi napetostnega stanja za  $\Delta \sigma_i^0$  in  $\Delta \tau_i^0$  ustrežata v sistemu deformacijskih izotah (3) in (4) spremembi deformacijskega stanja:

$$\Delta \varepsilon_{ti}^0 = \varepsilon_{ti}^0 - \varepsilon_{i-1}^0 \quad (35)$$

$$\Delta \gamma_{ti}^0 = \gamma_{ti}^0 - \gamma_{i-1}^0$$

Kvocienta:

$$K_{ti} = (1/3) (\Delta \sigma_i^0 / \Delta \varepsilon_{ti}^0) \quad (36)$$

$$G_{ti} = \Delta \tau_i^0 / \Delta \gamma_{ti}^0$$

predstavljata povprečni sekantni vrednosti kompresijskega in strižnega modula v  $i$ -tem računskem koraku. V naslednjih iteracijah rešimo sistem sovprežnih enačb (1) s popravljenimi vrednostmi modulov  $K_{ti}$  in  $G_{ti}$ . Račun ponovimo tolikokrat, da pridejo razlike med dvema zaporednima iteracijama v predpisane meje. Običajno zadošča manj kot pet iteracij.

Na analogen način določimo deformacijske in viskozne parametre v primerih, ko se enačbe (88), (11) ali (12) za module oziroma njim ustrezne funkcije (9), (14) ali (15) za temeljne izotahe ne prilagajajo dobro rezultatom eksperimentalnih meritev. V računalniške programe vgradimo tedaj funkcije, ki se bolje približajo izmerkom. Namesto analitičnih funkcij lahko uporabimo tudi nize številčnih vrednosti izmerjenih koordinat napetosti in deformacij. Analitično izražanje sovisnosti pa ima prednost, da bolje vodi h konvergenci iteracijskih vrednosti.

## SKLEP

Opisani reološki model za zemljine smo uporabili za analizo premikov, deformacij in efektivnega napetostnega stanja, ki ga v slojevitih temeljnih tleh povzroči obtežba s cestnimi nasipi. Z opravljenimi parametričnimi študijami smo prikazali vpliv viskoznih parametrov  $m$  in  $n$ , stopnje predhodne sekundarne konsolidacije in prepustnosti na razvoj konsolidacije [4]. Raziskali smo tudi vpliv tenkoslojnih elementov, ki jih v mreži končnih elementov uporabljamo med sloji različno deformabilne zemljine [2] in učinek površinskega armiranja temeljnih tal pod cestnimi nasipi [6] in [1]. Prav tako smo analizirali vpliv lezenja in konsolidacije na razvoj zemeljskih pritiskov. Pri tem smo ugotovili, da je potrebno postopek ustrezno dopolniti, da bi lahko zanesljivo napovedovali obnašanje tal tudi v primerih nemonotonega spreminjanja napetostnih stanj [5].

Postopek smo preverili tudi z analizo poskusnega nasipa na Ljubljanskem barju, za katerega smo računske rezultate lahko primerjali s terenskimi meritvami [9], [10] in [7]. Nekoliko manj uspešna je bila uporaba postopka v osnosimetričnih pogojih za analizo 24 m dolgega kola, zabitega v dvoslojna temeljna tla ter obremenjenega z monotono naraščajočo vertikalno obtežbo. Računski premiki so istega velikostnega reda kot izmerki, podoben je tudi njihov časovni razvoj. Razlike pripisujemo v glavnem spremembam napetostnega stanja, ki nastanejo okrog kola med zabijanjem.

## LITERATURA

1. J. Logar, Vpliv armiranja površja temeljnih tal na posedke in varnost cestnih nasipov, magistrska naloga, FAGG, Univerza v Ljubljani, (1990).
2. B. Majes, I. Kovačič, L. Šuklje, Consideration of displacements along contacts of different media, Acta Geotechnica, Univerza v Ljubljani, No. 91, 1-21, (1985).
3. B. Majes, D. Battelino, Effect of surface reinforcing of soft soils, Proc. XIth Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., San Francisco, 1985, Vol. 3, 1729-1734, (1985).



4. B. Majes, I. Kovačič, L. Škulje, Numerical analysis of plane-strain consolidation accorded with strain isotaches, *Acta Geotechnica*, Univerza v Ljubljani, No. 94, 1–43, (1986).
5. B. Majes, L. Škulje, Consolidation and creep effects on earth pressures, *Acta Geotechnica*, Univerza v Ljubljani, No. 99, 1–33, (1989).
6. B. Majes, J. Logar, D. Battelino, Reinforcement of soft soils under road structures, *Acta Geotechnica*, Univerza v Ljubljani, No. 100, 1–17, (1989).
7. B. Majes, Dvodimenzionalna konsolidacija nelinearnih viskoznih zasičenih zemljin, doktorska disertacija, FAGG, Univerza v Ljubljani, (1990).
8. B. Majes, L. Škulje, Pregled raziskav vpliva lezenja na konsolidacijo zemljin, *Gradbeni vestnik*, letnik 39, št. 9–10–11, str. 205–209, (1990).
9. L. Škulje, B. Majes, Consolidation and creep of soils in plane-strain conditions, *Gèotechnique*, Vol. 39, No. 2, 231–250, (1989).
10. L. Škulje, B. Majes, Influence of the density of finite element networks on consolidation analysis, *Gèotechnique*, Vol. 41, No. 1, 139–142, (1991).



## UPORABA MIKROARMIRANEGA BETONA ZA IZVEDBO IN SANACIJO TLAKOV

UDK 691.32:625.84

ZVONKO HRIBERNIK, IZTOK LESKOVAR, JAKOB ŠUŠTERŠIČ

### POVZETEK

S proizvodnjo jeklenih vlaken TRIAS se je tudi v Sloveniji začela intenzivnejša uporaba mikroarmiranih betonov. Le-ti imajo nekatere izrazite prednosti tudi na področju izdelave in sanacije tlakov, voziščnih plošč na mostovih, betonskih vozišč in letaliških stez. V članku so opisane te prednosti, podan pa je tudi tehnološki postopek priprave in vgradnje mikroarmiranega betona ter rezultati njegove aplikacije na konkretnih primerih.

### USE OF FIBRE REINFORCED CONCRETE FOR PAVEMENTS

### SUMMARY

By our with production of steel fibres TRIAS there was the begining of more intensive application of steel fibre reinforced concrete in Slovenia. SFRC have some experssive advantages in the field of producing and repairing pavements, bridge decks, concrete roads and airport runways. This advantages are discussed in this paper as well as technological process of preparing SFRC and its building in. The results of some applications are discussed also.

### 1.0. UVOD

Mikroarmirani beton je razmeroma nov konstrukcijski material, ki se je razvil in se razvija prek intenzivnih raziskovalnih in razvojnih nalog v zadnjih 25 letih. Njegove lastnosti so omogočile, da se uporablja pri mnogih praktičnih aplikacijah. Namen članka je podrobneje prikazati možnosti uporabe mikroarmiranega betona na horizontalnih površinah s posebnim poudarkom na izvedbi mikroarmiranih betonskih tlakov.

### 2.0. PODROČJA UPORABE

- tlaki,
- cestišča - letališča,
- voziščne plošče mostov,
- armiranobetonske plošče,
- lokalna popravila, preplastitve (sanacijski material).

### 3.0. MIKROARMIRANI BETONSKI TLAKI

Še zdaj se nadaljuje diskusija o tem, ali je treba betonske tlake armirati ali ne. Čeprav je znano, da je kakovost betonskih tlakov odvisna od pravilne zbitosti podlage, kakovosti vgrajenega betona in pa nege vgrajenega betona, mnogi projektanti še danes priporočajo (predpisu-

#### Avtorji:

Zvonko Hribernik, dipl. inž. gradb.,

Iztok Leskovar, dipl. inž. gradb.,

Jakob Šušteršič, dipl. inž. gradb.



jejo) v tlakih dvojno armaturo, s čimer hočejo samo kompenzirati nepravilnosti pri izvajanju. Po drugi strani pa nekateri priporočajo nearmirani beton s povečano debelino tlaka. Kot vmesno možnost predlagajo tudi enojno armirani betonski tlak. V zadnjem času pa se je močno razmahnila uporaba mikroarmiranih betonov.

### 3.1. Prednosti uporabe mikroarmature pri izvajanju betonskih tlakov

- ob uporabi mikroarmature ni potrebna klasična armatura, kar pomeni prihranek pri času in denarju. Potrebujemo namreč manjše količine mikroarmature kakor pa klasične armature;
  - zaradi povečanja natezne in upogibne trdnosti mikroarmiranega betona lahko zmanjšamo debelino do 25 %, ne da bi vplivali na zmanjšanje statičnih in dinamičnih karakteristik tlaka;
  - mikroarmatura močno izboljša strižno trdnost betona, kar je zlasti pomembno pri pojavu finih razpok ob dilatacijah, prav tako zmanjšuje poškodbe pri razopažanju, zaradi česar se bistveno izboljša kakovost stikov med posameznimi trakovi tlaka;
  - homogena razporeditev jeklenih vlaken po celotni cementni matrici zagotavlja enakomerno porazdelitev napetosti po celotnem betonskem prerezu in zmanjšuje možnost nastanka razpok zaradi krčenja betona;
  - povečana udarna žilavost je vzrok za zmanjševanje poškodb zaradi prometa in udarnih obremenitev;
  - manjše krčenje in s tem odvisno manjše število razpok zmanjšujeta prepustnost betona in izboljšata njegovo zmrzlinsko odpornost. Poudariti je treba, da se obseg krčenja mikroarmiranega betona bistveno zmanjša šele po 28 dneh, vendar pa po drugi strani zaradi povečane natezne trdnosti v njem ne pride do razpok zaradi tehnoloških deformacij krčenja v zgodnji fazi strjevanja in zaradi neustrezne nege mladega betona;
  - izboljšana abrazijska odpornost tlaka, čeprav je ob zahtevi po izredno kakovostni obrabni površini potrebna dodatna obdelava z določenimi posipi oz. dodatnimi oplemenitenimi sloji;
  - možnost izvedbe večjih polj in s tem zmanjšanje dolžine dilatacij sta odvisna od uporabe slučajnostno razporejene mikroarmature v betonski mešanici, ki preprečuje pokanje v zgodnji fazi strjevanja. Kljub temu pa je še naprej potrebno rezanje navideznih reg v zgodnji fazi, vendar pa na večjih rastrih;
  - majhni stroški vzdrževanja dilatacij: pri uporabi mikroarmature ne pride do lomljenja robov ob dilatacijah zaradi povečane strižne trdnosti mikroarmiranega betona;
  - jeklena vlakna, ki ležijo na zgornji površini tlaka, lahko korodirajo, pa še to le, če stoji občasno na tlaku voda, vendar pa so ekspanzijske napetosti korozije premajhne (korodirana površina jekla je premajhna), da bi razušile cementno matrico v okolici korodiranih tlakov;
  - zaradi izboljšanja mehanskih in fizikalnih lastnosti tlakov, ki vplivajo na uporabo mikroarmature, se poveča obstojnost (trajnost) mikroarmiranih betonskih tlakov in zaradi tega se tudi zmanjša cena vzdrževanja teh površin;
  - jeklena vlakna TRIAS proizvaja ZRMK (Inštitut za materiale).
- Kljub vsem omenjenim prednostim zaradi uporabe mikroarmature v betonskih tlakih se moramo zavedati, da z mikroarmaturo ne moremo popolnoma kompenzirati večjih napak oziroma predvidenih obremenitev med eksploatacijo (npr. nepravilno kompaktna podlaga, nepravilno

dimenzionirane dilatacije, ekstremne temperaturne napetosti). Izkušnje pa kažejo, da lahko z uporabo mikroarmature v veliki meri omejimo vpliv teh napak.

### 3.2. Tehnologija izvajanja mikroarmiranih tlakov

Sama tehnologija izvajanja tlakov ostane nespremenjena. Kljub uporabi mikroarmature je mogoče normalno uporabljati vse znane načine izvajanja betonskih tlakov. To velja tudi za uporabo vakuumiranja, ki še dodatno izboljša lastnosti tlaka predvsem v zgornji polovici tlačne plošče. Zavedati se je treba, da pomeni uporaba mikroarmature višji tehnološki nivo v proizvodnji betona, zato je treba pri projektiranju in pripravi sveže betonske mašanice opozoriti:

- na pravilno izbiro količine vlaken, ki je odvisna od zahtev, katerim mora ustrezati betonski tlak. Količina vlaken je pri izdelavi betona za betonske tlake med 20 do 80 kg/m<sup>3</sup>;
- na izbiro faktorja v/c, ki naj bo okoli 0,45, in je ob vakuumiranju lahko do 0,55;
- ker dodatek vlaken povzroči zmanjšanje konsistence svežega betona, je treba natančno določiti ustrezno granulacijo agregata, dozo cementa in izbrati ustrezni dodatek, da bo omogočena čim boljša obdelovalnost svežega betona;
- da dobimo čim bolj enakomerno razporeditev vlaken v sveži betonski mešanici, je treba nekoliko podaljšati čas mešanja;
- vlakna se dozirajo v posodo za agregat skupaj z agregatom;
- pri zaglajevanju betonske površine s krožniki se lahko na površini pojavijo vlakna, ki morebiti vplivajo predvsem na neugoden estetski videz;
- po končanem zaglajevanju je treba betonske površine skrbno negovati vsaj 7 dni.

### 4.0. NAŠE APLIKACIJE Z MIKROARMIRANIM BETONOM NA HORIZONTALNIH POVRŠINAH

Naše izkušnje glede uporabe mikroarmiranih betonov so bogate predvsem na področju sanacije obstoječih betonskih površin. Omenili bi naslednje aplikacije:

- poskusno polje v Gradnji Žalec,
- ojačitev plošče v skladišču Emone v Ljubljani,
- izravnava voziščne plošče na mostu prek Mure,
- izvedba tlaka v PO Gameljne in strojnih delavnicah ZRMK na Dimičevi 12,
- sanacija armiranobetonskih plošč zunanjih mostov Tromostovja.

### 4.1. Preplastitev talne plošče v obratu IGM Gradnja Žalec

Talna plošča je bila neravna in lokalno poškodovana zaradi mehanskih obremenitev. Na poskusnem polju površine 60 m<sup>2</sup> smo jo preplastili z mikroarmiranim betonom v debelini okrog 6 cm. Uporabili smo jeklena vlakna TRIAS v količini 0,25 prostorninskih odstotkov z razmerjem dolžina : debelina = 50. Sicer pa je bil beton superplastificiran in pripravljen s cementom PCS Anhovo ter s prodnatim agregatom z največjim zrnom 8 mm. Vodocementni faktor svežega betona je znašal 0,44.

Dosežena kakovost strjenega betona:

- tlačna trdnost (srednja vrednost tlačnih trdnosti valjev Ø 50 mm, odvzetih iz vgrajenega betona po 28 dneh):



40,1 MPa;

- upogibna trdnost, ugotovljena na prizmah  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$  pri starosti betona 28 dni: od 8,33 MPa do 8,71 MPa;
- abrazijska odpornost na kockah  $7\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$  pri starosti betona 40 dni: 15,3 do  $15,6\text{ m}^3/50\text{ cm}^2$ ;
- udarna žilavost po Charpyju: od 2,14 do  $2,86\text{ J/cm}^2$ ;
- sprijemljivost s podlago, določena z nateznim preizkusom na valjih  $\varnothing 50\text{ mm}$  (srednja vrednost natezne trdnosti): 0,79 MPa.

Porušitev je potekala po spoju stari-novi beton.

#### 4.2. Ojačitev armiranobetonske plošče nad kletjo skladišča drogerije Emona

S preureditvijo pritlične etaže skladišča drogerije Emona v Javnih skladiščih v Ljubljani v regalno skladišče obstoječa armiranobetonska plošča ni zagotavljala potrebne nosilnosti. Ojačili smo jo z 8 cm debelo armiranobetonsko ploščo iz mikroarmiranega betona. Za uporabo mikroarmature smo se odločili zlasti iz dveh osnovnih razlogov:

- izboljšanje natezne trdnosti betona, preprečevanje pojava razpok in izboljšanje sprijemljivosti, kar je omogočilo zmanjšanje debeline ojačitve in izvedbo ojačitve brez dilatacij na celotni površini ( $50,0\text{ m} \times 20,0\text{ m}$ );
  - prevzemanje lokalnih napetosti na mestnih sidranja.
- Sestava mikroarmiranega betona je bila prilagojena pogojem priprave betona v betonarni in vgrajevanja z betonsko črpalko. Uporabljena so bila jeklena vlakna dolžine 32 mm, debeline 0,5 mm. Količina doziranja je bila 0,25 prostorninskih odstotkov.

Rezultati preiskav:

- tlačna trdnost pri starosti 7 dni: 32,8 MPa,
- povprečna tlačna trdnost pri starosti 28 dni: 46,1 MPa,
- dosežena marka betona: MB 40,
- upogibna trdnost pri pojavu prve razpoke: 4,9 MPa,
- indeks žilavosti po Wangovi in Backerjevi metodi: 7,4, kar pomeni, da ima vgrajeni mikroarmirani beton 7,4-krat večjo žilavost v primerjavi z betonom brez vlaken;
- odpornost proti obrabi z brusom po standardu **JUS B.B8.015**:  $14,8\text{ cm}^3/50\text{ cm}^2$ .

#### 4.3. Sanacija voziščne plošče na mostu prek Mure v Bistrici

Po odstranitvi asfalta in hidroizolacije smo na naklonskem betonu voziščne plošče mostu prek Mure v Bistrici odkrili zmrzlinke poškodbe, ki so bile omejene na površinski sloj. Zmrzlinke poškodovani beton smo odstranili z rezkali za beton in betonsko površino smo morali pred ponovnim polaganjem hidroizolacije ustrezno zagladiti oz. preplastiti s plastjo, ki je bila omejena na 1 cm debeline. Glede na nevarnosti, ki se pojavljajo pri tako tankih elementih, smo posebej za ta namen sprojektirali in preizkusili mikroarmirano in polimerizirano cementno malto (uporaba polimerne malte zaradi stalne vlažnosti površine in razmeroma velike površine ni prišla v poštev). Uporabili smo jeklena vlakna **TRIAS** dolžine 16 mm v količini 0,38 prostorninskih odstotkov, ter 8 % polimera glede na težo cementa. Preiskave mehanskih lastnosti in lastnosti obstojnosti vgrajene malte so dale naslednje rezultate:

- tlačna trdnost na kockah  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$  (povprečje 6 rezultatov):  
3 dni: 29,65 MPa;  
7 dni: 36,78 MPa;  
28 dni: 66,80 MPa;

– upogibna trdnost na prizmah  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ :

3 dni: 5,57 MPa;

7 dni: 6,57 MPa;

28 dni: 8,30 MPa;

– dinamični modul elastičnosti, določen na prizmah  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$  v starosti 53 dni: 32,78 GPa;

– sprijemljivost s podlago (natezni preizkus na valjih  $\varnothing 50\text{ mm}$ ): 1,01 MPa;

– zmrzlinška odpornost: Preiskani vzorci so vzdržali 200 ciklov zmrzovanja in odtaljevanja (200 OMO); preiskava je bila nato končana.

Pri vseh omenjenih aplikacijah se mikroarmirani beton obnaša po naših pričakovanjih, tako da smo z materialno tehničnega vidika povsem zadovoljili predpisanim in zahtevanim pogojem.

#### 5.0. APLIKACIJE MIKROARMIRANEGA BETONA V TUJINI

V tujini je mikroarmirani beton že zelo razširjen in se precej uporablja prav na horizontalnih površinah. Podrobneje bi omenili le uporabo mikroarmiranega betona pri preplastitvi in novogradnji cestišč v ZDA in pa uporabo mikroarmiranega betona za sanacijo dovoznih poti in stojišč za letala na letališču Frankfurt v ZRN.

Pri preplastitvah cestišč so bili upoštevani naslednji parametri:

- debelina preplastitve: 31 do 127 mm,
- poraba vlaken: 71 do  $118\text{ kg/m}^3$ ,
- poraba cementa: 348 do  $473\text{ kg/m}^3$ .

Preplastitveni sloji so bili s podlago v celoti povezani s cementnim »pačokom« ali epoksidnim nanosom, delno povezani (namočenje podlage pred nanosom mikroarmiranega betona) ali pa nepovezani (izvedba ločilnega sloja iz polietilenske folije).

Letališče Frankfurt

Zaradi povečanja obtežb so se na klasično armiranih stojiščih in dovoznih poteh pojavile hujše poškodbe. Predlagana sta bila dva načina sanacije omenjenih poškodb:

- nadomestitev poškodovanih delov s klasično armiranim tlakom,
- zamenjava oz. nadomestitev poškodovanih delov z mikroarmiranim betonom.

Med testiranjem poskusnih polj so se na klasično armiranih površinah že po pol leta pojavile enake poškodbe kot na letaliških površinah. Na mikroarmiranem betonu pa ni bilo opaziti nikakršnih poškodb. Zaradi tega je bil mikroarmirani beton uporabljen za sanacijo letaliških površin. Pri projektiranju sveže betonske mešanice so bili upoštevani naslednji parametri:

- količina vlaken:  $60\text{ kg/m}^3$ ,
- doza cementa:  $340\text{ kg/m}^3$ ,
- v/c: 0,40.

#### SKLEP

Uporaba mikroarmiranega betona pri izdelavi in sanaciji tlakov, betonskih vozišč in letaliških stez se je v zadnjem času močno povečala. Njegova uporaba zavira nastanek in širjenje razpok, daje večjo odpornost proti udarcem, omogoča večji raster med dilatacijami, na površini pa tudi mnogo prispeva k abrazijski odpornosti tlakov. Z vsem navedenim omogoča daljšo dobo trajanja konstrukcijam te vrste.



REPUBLIKA SLOVENIJA  
**MINISTRSTVO ZA ZNANOST IN TEHNOLOGIJO**  
**Urad za standardizacijo in meroslovje**  
Slovenska 50 (Titova 32)  
61000 Ljubljana

Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje je začel izdajati mesečni bilten

## **SPOROČILA,**

ki je informativno-strokovni časopis, namenjen prenosu informacij med vsemi zainteresiranimi na področju standardizacije, meroslovja, preskušanja in pooblaščenja laboratorijev ter izobraževanja na tem področju pri nas in v tujini. Da bi z mesečnikom SPOROČILA pravočasno prispeli pravi podatki in informacije na pravo mesto in bi se zaradi tega olajšal pretok blaga in storitev ter zmanjšala tveganja gospodarskih subjektov pri nastopanju na vedno bolj zahtevnih trgih, je potrebno vsestransko sodelovanje med vsemi zainteresiranimi na področju delovanja USM.

Zaradi tega si želimo, da bi našli krog odzivnih naročnikov, ki SPOROČIL ne bodo le bežno prelistali, ampak poiskali v njih tisto ali tista sporočila, ki so zanje neposredno zanimiva in jim bodo lahko pomagala pri delu.

Prva številka SPOROČIL je izšla ob izteku leta 1991. Odločili smo se, da jo izdamo brezplačno in razpošljemo na naslove, na katerih smo pričakovali odziv. Če slučajno ni našla poti do vas, nas pokličite in radi vam bomo postregli z vsemi informacijami. Konec januarja 1992 bomo izdali prvo letošnjo številko mesečnika SPOROČILA in jo razposlali naročnikom.

### **Naročila sprejemamo na naslov:**

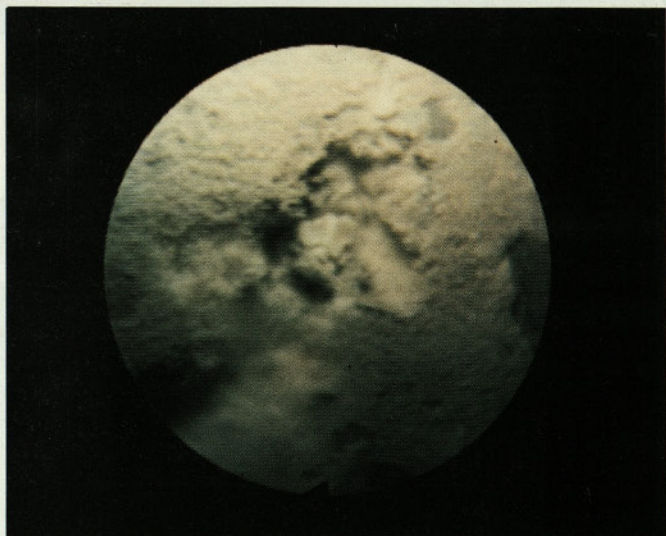
Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje  
Slovenska cesta 50 (Titova 32), 61000 Ljubljana  
tel. 111 107, fax 302 947



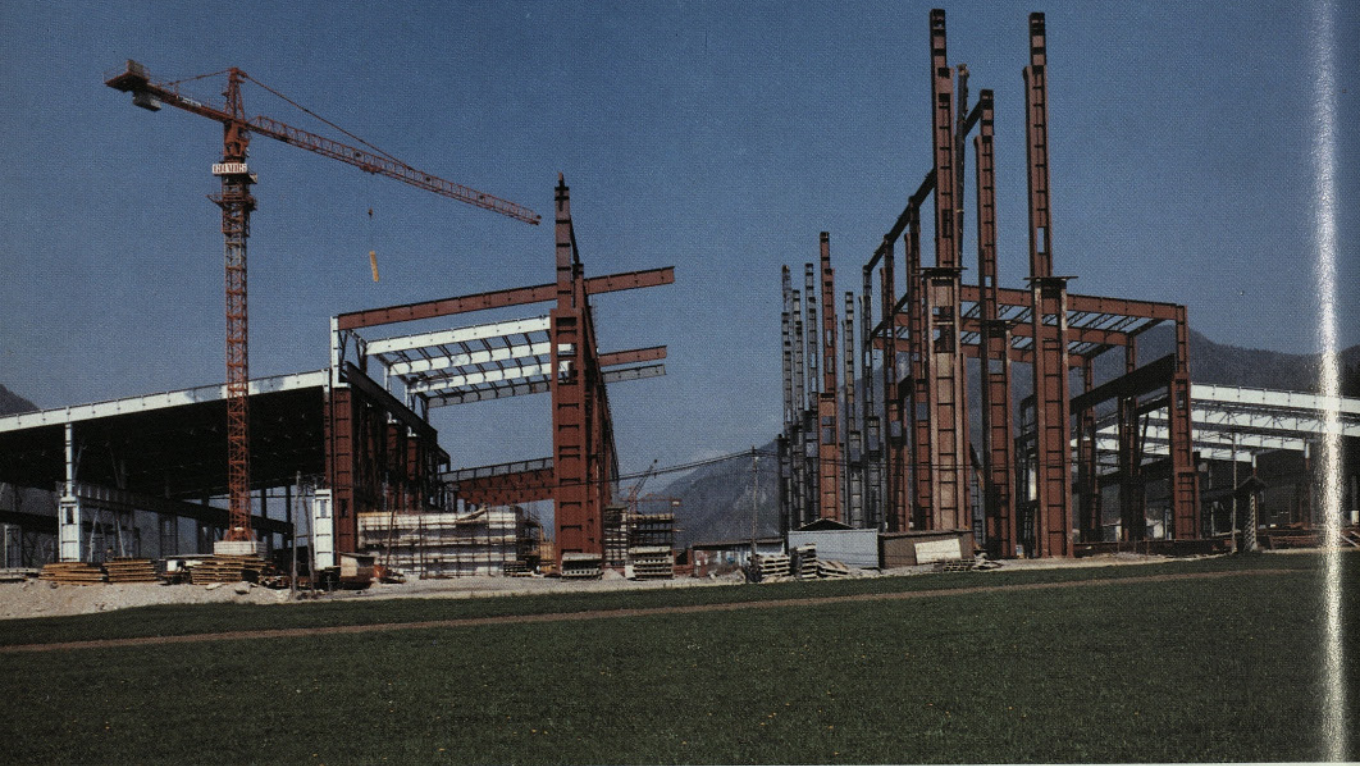


# IMK

INŠTITUT ZA METALNE KONSTRUKCIJE  
LJUBLJANA







**IMK**

INŠTITUT ZA METALNE KONSTRUKCIJE LJUBLJANA

**IMK**

**IMK**

**IMK**

