

UDK-UDC 05:624;  
YU ISSN 0017-2774

LJUBLJANA,  
JANUAR-FEBRUAR,

LETNIK XXXVIII  
STR.: 1-56

# GRADBENI VESTNIK 1-2



TURISTIČNO NASELJE  
»STINICA«



ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE  
ERJAVČEVA 15, 61000 LJUBLJANA, TEL.: 061/221587

## V SODELOVANJU Z



VAS VABI NA OGLED MEDNARODNE RAZSTAVE KONSTRUKCIJSKIH  
TEHNIK IN GRADBENIH STROJEV »BAUMA«

**V prilagoditev vašega časa vam nudimo sledeči varianti:**

VARIANTA »A«:

ODHOD: 14. 4. 1989

POVRATEK: 14. 4. 1989

VARIANTA »B«

ODHOD: 14. 4. 1989

POVRATEK: 14. 4. 1989

VABIMO VAS TUDI NA OGLED OBRTNIŠKEGA SEJMA »IHM« MÜNCHEN:

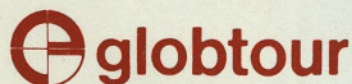
A.

ODHOD: 6. 3. 1989 – POVRATEK: 7. 3. 1989

B.

ODHOD: 7. 3. 1989 – POVRATEK: 8. 3. 1989

**PRIJAVE – REZERVACIJE – INFORMACIJE:**



Poslovalnica: Ljubljana, GOSPOSVETSKA 4, tel.: 061/329 797, 311 164, 313 230,  
teleks: 31202



# GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE  
ŠT. 1-2 • LETNIK 38 • 1989 • YU ISSN 0017-2774

## VSEBINA-CONTENTS

Članki, študije, razprave  
Articles studies,  
proceedings

Franci Kržič:  
TEŽNJE K RACIONALIZACIJI PROIZVODNJE JEKLENIH IN SOVPREŽNIH KONSTRUKCIJ V RAZVITIH DRŽAVAH . . . . . 3  
THE TENDENCIES FOR THE RATIONALIZATION OF PRODUCTION OF STEEL AND COMPOSITE STRUCTURES IN DEVELOPED COUNTRIES

Janez Reflak:  
SISTEMSKO ZAGOTAVLJANJE KONTROLE KAKOVOSTI IZDELAVE IN MONTAŽE JEKLENIH KONSTRUKCIJ . . . . . 8  
SYSTEMIC ASSURANCE OF QUALITY CONTROL FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY OF BEARING STEEL STRUCTURES

Matjaž Mikoš:  
METODE VREDNOTENJA SREDNIH PRETOČNIH HITROSTI VODA V NARAVNIH VODOTOKIH . . . . . 16  
METHODS FOR EVALUATING AVERAGE FLOW VELOCITIES IN NATURAL STREAMS

Leopold Vehovar:  
VPLIV KLORIDOV V BETONU NA KOROZIJO JEKLENE ARMATURE . . . . . 24  
INFLUENCE OF CHLORIDES ON CORROSION OF REINFORCING STEEL IN CONCRETE

Lojze Šubic:  
ELEKTRIČNA ENERGIJA IN OKOLJE . . . . . 30  
ELECTRICAL ENERGY AND THE ENVIRONMENT

Poročila, obvestila  
Reports, informations

Uredniški odbor:  
NAVODILA ZA PRIPRAVO ČLANKOV IN POROČIL ZA »GRADBENI VESTNIK« . . . . . 38

Franc Vrečko:  
OB JUBILEJU GRADBENE SREDNJE ŠOLE V MARIBORU . . . . . 47

Poročila Fakultete za  
arhitekturo, gradbeništvo  
in geodezijo  
Proceedings of the  
Department of Civil  
Engineering University  
E. Kardelj, Ljubljana

Jure Banovec, Darko Beg, Matjaž Martinčič:  
PROGRAM DIMJ ZA KONTROLO NOSILNOSTI JEKLENIH KONSTRUKCIJ . . . . . 40  
A COMPUTER PROGRAM DIMJ FOR DIMENSIONING OF STEEL STRUCTURES

Informacije Zavoda za  
raziskavo materiala in  
konstrukcij Ljubljana  
Proceedings of the  
Institute for materials and  
structure research  
Ljubljana

Savo Volovšek:  
VPLIV KAKOVOSTI IZVEDBE GRADBENIH DEL NA ZVOČNO ZAŠČITO STANOVANJSKIH ZGRADB . . . . . 51  
THE INFLUENCE OF THE QUALITY OF CONSTRUCTION ON ACHIEVABLE SOUND-INSULATION CONDITIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

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, ANDREJ KOMEL, BRANKA ZATLER-ZUPANČIČ, JOŽE ŠČAVNIČAR, DR. MIRAN SAJE

Revija izdaja Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon: 221 587. Tekoči račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska Tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Polletna naročnina, skupaj s članarino za člane društev, plačljiva do 28. 2. 1989, znaša 15.000 din, za neposredne naročnike pa 30.000 din. Za drugo polletje bo izoblikovana cena, ko bodo znane podražitve. Za študente in upokojujence velja polovična cena. Polletna naročnina za gospodarske naročnike je 100.000 din, za inozemske naročnike pa 50 US \$. Revija izhaja ob finančni pomoči Raziskovalne skupnosti Slovenije, Splošnega združenja gradbeništva in IGM Slovenije, Zveze vodnih skupnosti Slovenije, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana in Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani.



**ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE**  
**LJUBLJANA, ERJAVČEVA ULICA 15; TEL.: 061/221 587**

## **ROKI PRIPRAVLJALNIH SEMINARJEV ZA STROKOVNE IZPITE V GRADBENIŠTVU ZA LETO 1989**

3. seminar: od 20. do 24. marca 1989
4. seminar: od 17. do 21. aprila 1989
5. seminar: od 22. do 26. maja 1989
6. seminar: od 18. do 22. septembra 1989
7. seminar: od 23. do 27. oktobra 1989
8. seminar: od 20. do 24. novembra 1989
9. seminar: od 18. do 22. decembra 1989

Prijavo v obliki dopisa, z navedbo podatkov o udeležencih seminarja (ime in priimek, z izobrazbo pridobljena strokovnost, naslov) in roka udeležbe, je potrebno pravočasno poslati na naslov **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Erjavčeva 15, Ljubljana**. Na vsak seminar sprejmemo 40 slušateljev

**ZVEZNI CENTER ZA IZOBRAŽEVANJE GRADBENIH  
INŠTRUKTORJEV LJUBLJANA, KARDELJEVA PLOŠČAD 27;  
TEL.: 061/342 366**

## **IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE V GRADBENIŠTVU ZA LETO 1989**

### **PISNI DEL**

- 18. marec 1989
- 15. april 1989
- 20. maj 1989
- 23. september 1989
- 21. oktober 1989
- 25. november 1989

### **USTNI DEL**

- 6.–10. marec 1989
- 3.–7. april 1989
- 8.–12. maj 1989
- 5.–9. junij 1989
- 9.–13. oktober 1989
- 13.–17. november 1989
- 11.–15. december 1989

Prijave v obliki obrazca (dobite ga pri naslovu oziroma na seminarju), z dokazili o izobrazbi, je potrebno poslati **20 dni pred pisnim delom predvidenega roka** na naslov: **Zvezni center za izobraževanje gradbenih inštruktorjev, Kardeljeva ploščad 27, Ljubljana**.

## TEŽNJE K RACIONALIZACIJI PROIZVODNJE JEKLENIH IN SOVPREŽNIH KONSTRUKCIJ V RAZVITIH DRŽAVAH

UDK 69.057:624.014/016

FRANCI KRŽIČ

### POVZETEK

V razvitih državah predstavljajo pri izvedbi jeklenih in sovprežnih konstrukcij največjo postavko v ceni stroški ure izdelave in montaže. Zato so vsi napor usmerjeni v racionalizacijo proizvodnje konstrukcij ob vse večji pomoči računalnikov, avtomatizacije in robotizacije. Zmanjšanje števila ur montaže je možno doseči z natančnim terminskim usklajevanjem montaže z izdelavo v delavnici, racionalizacijo postopkov in uporabo dvigal vse večje nosilnosti (do 1000 ton) za montažo čimvečjih kosov (izmer do 50 m, teže do 100 ton).

### THE TENDENCIES FOR THE RATIONALIZATION OF PRODUCTION OF STEEL AND COMPOSITE STRUCTURES IN DEVELOPED COUNTRIES

### SUMMARY

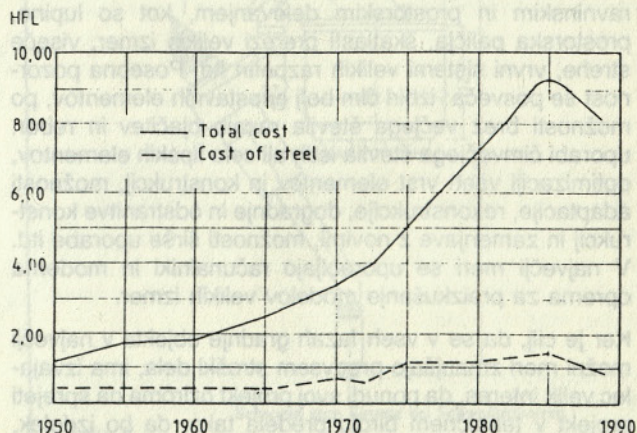
In the developed countries the expenses of manhours and erection represent the highest percentage of the price as regards to the execution of steel and composite structures. Therefore, all efforts are directed into the rationalization of the production of structures with the growing help of computers, automation and robotics. The decreasing of the hours of erection is possible to be achieved by the exact terminal accordance of prefabrication procedure and erection, by the rationalization of procedures and by the usage of building lifts of greater carrying capacity (up to 1000 t) for the erection of as great elements as possible (size up to 50 m, weight up to 100 t).

Za Jugoslavijo bi verjetno lahko rekli, da na področju gradbenega konstruktorstva po tehničnem znanju nič ali pa zelo malo zaostaja za najbolj razvitimi državami. Dokaz za to so številni zgrajeni objekti, ki so tako po dimenzijah kot tudi po sodobni zasnovi na svetovni ravni. Precejšen zaostanek pa zaznamujemo, vsaj kar se tiče jeklenih in sovprežnih konstrukcij, v tehnologiji izdelave in montaže. Posledica je, da smo kljub izredno nizkim plačam naših proizvajalcev na svetovnem tržišču povsem nekonkurenčni. Gospodarska kriza, v kateri smo, vsaj trenutno onemogoča, da bi se v doglednem času na tem področju približali razvitim državam.

Namen tega prispevka je seznaniti strokovnjake, ki se bavijo z jeklenimi in sovprežnimi konstrukcijami, o stanju in razvojnih težnjah v celotnem procesu izvedbe objektov v razvitih, predvsem zahodnih državah.

Za boljše razumevanje sedanjih teženj v razvoju tehnologije izdelave in montaže jeklenih konstrukcij v razvitem svetu si oglejmo najprej diagram na sliki 1, ki prikazuje

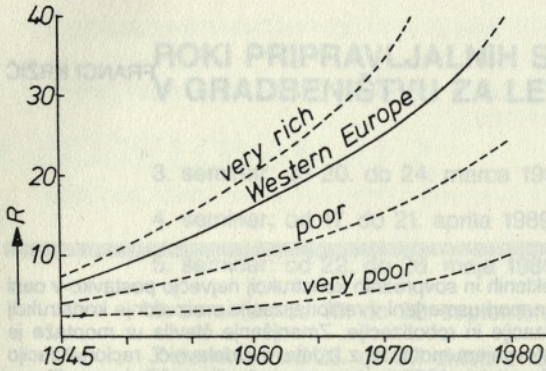
za obdobje od I. 1950 do 1988 rast cene jekla in rast cene celotne konstrukcije. Vidimo, da se celotna cena konstrukcije progresivno povečuje, vendar predvsem na račun večanja izdelavnih stroškov in le malenkost na račun večanja cene jekla. Po nekaterih podatkih znaša cena materiala od 10–20 %, cena izdelave in montaže pa od 80–90 %. Razmerje med povprečno ceno izdelavne ure in ceno 1 kg jekla se od leta 1945 močno povečuje,



Slika 1. Development of cost during the period 1950–1988. Comparison of total cost to the cost of steel

Avtor:  
Prof. dr. Franci Kržič, dipl. inž. gr., FAGG, VTOZD GG,  
Katedra za metalne konstrukcije in gradiva, Ljubljana,  
Jamova 2

vendar je to povečanje neprimerno bolj intenzivno v bogatih državah, kar je dobro vidno iz diagramov na sliki 2.



$$R = \frac{\text{average cost of 1 manhour, including overheads}}{\text{cost of 1kg of steel}}$$

Slika 2. The increase of the ratio R since 1945

Iz navedenega nedvoumno sledi, da je za doseganje ekonomičnosti jeklene konstrukcije neprimerno pomembnejša cenena izdelava in montaža kot pa teža. Po najnovejših izkušnjah razvitih držav je možno s sodobnim projektiranjem zmanjšati težo konstrukcije v obsegu, ki prinaša zmanjšanje celotne cene do 10%. Z racionalizacijo proizvodnje in montaže pa je možno zmanjšati ceno konstrukcije celo do 50%.

Sodobno projektiranje jeklenih in sovprežnih konstrukcij temelji na moderni zasnovi, ki teži k uporabi čimlažjih elementov in materiala čimboljših mehanskih lastnosti. V statičnem računu se upoštevajo čimbolj realne statične, dinamične in požarne obtežbe, računski modeli simulirajo čim bolj realno obnašanje konstrukcije, upoštevajoč ravninsko in prostorsko delovanje; vse bolj se uporablja teorija II. reda z vključevanjem ekvivalentnih strukturnih in geometrijskih nepopolnosti, izrabljajo se elastoplastične lastnosti materiala, računanje se izvaja po metodah mejnih stanj. Vse pomembnejše so konstruktivne oblike z ravninskim in prostorskim delovanjem, kot so lupine, prostorska palčja, škatlasti prerezi velikih izmer, viseče strehe, vrtni sistemi velikih razpetin itd. Posebna pozornost se posveča: izbiri čim bolj enostavnih elementov, po možnosti brez večjega števila raznih ojačitev in reber, uporabi čimvečjega števila istih ali celo tipskih elementov, optimizaciji vseh vrst elementov in konstrukcij, možnosti adaptacije, rekonstrukcije, dogradnje in odstranitve konstrukcij in zamenjave z novimi, možnosti širše uporabe itd. V največji meri se uporabljajo računalniki in moderna oprema za preizkušanje modelov velikih izmer.

Ker je cilj, da se v vseh fazah gradnje objekta v največji možni meri zmanjšajo predvsem stroški dela, ima izvajalec velik interes, da ponudi svoj projekt oziroma da sprejeti projekt v tehničnem biroju predela tako, da bo izdelek, ustrezno obstoječi lastni tehnologiji, čim cenejši. Pri tem mora biti seveda strokovni kader v biroju na taki ravni,

da je sposoben ob vseh spremembah zagotoviti enako varnost in funkcionalnost objekta. Enotaven primer je npr. zamenjava tanke stojine z ojačitvami z debelejšo stojino brez ojačitev. Naloga tehničnih birojev pri izvajalcih pa je, poleg izdelave in predelave projektov, predvsem v pripravi dokumentacije za delavnico in gradbišče, to je v pripravi take tehnološke in operativne dokumentacije, da bo izdelava in montaža čimbolj enostavna, potek proizvodnje pa hiter in neoviran. Zmanjšanje cene proizvoda se išče v zmanjšanju cene dela, in to: z redukcijo ur izdelave v delavnici in na montaži, s prihranki na predrisanju in označevanju, s krajšanjem poti oziroma transporta do delovnega mesta. Osnovno načelo je, da se mora material neprestano premikati, ne pa ležati v skladišču.

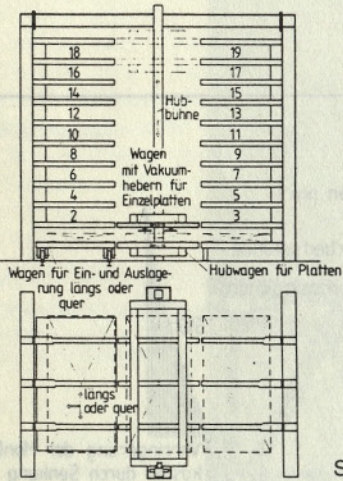
Pri sodobni proizvodnji, kjer se prenašajo podatki iz tehničnega biroja v delavnico s pomočjo CAD sistema, pa se pričakuje, da bo v najbližji prihodnosti ekran v tehničnih birojih povsem zamenjal risalne deske in mize.

Za delavnico najbolj optimalni detajli in elementi se v tehničnih birojih, dopolnjeni z aktualnimi parametri, s pomočjo računalnikov in grafične opreme, sestavljajo v celotno konstrukcijo. Pripravljeni podatki se nato v obliki, ki je za delavnico najprimernejša, pošljejo prek računalnika na določeno proizvodno mesto. Tak način dela predstavlja v pripravi delavniške in tehnološke dokumentacije veliko racionalizacijo. Delo v tehničnem biroju se tako usmeri na optimizacijo detajlov in postopkov, ki se hranijo v biblioteki računalnika. Uvedba CAD sistema je seveda tem bolj učinkovita, kolikor bolj je razvita standardizacija in tipizacija, ki je najbolj prisotna na področju visokih in industrijskih zgradb ter deloma cestnih mostov.

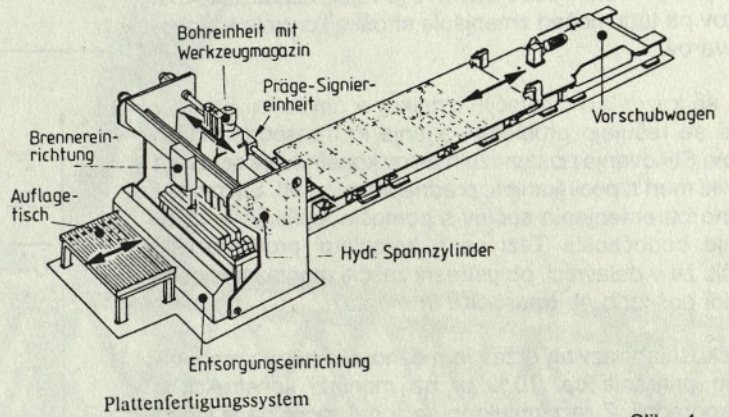
Vse individualne zgradbe je potrebno v pogledu racionalizacije posebej obravnavati. Iz navedenega sledi, da mora tehnični biro vsebovati tako strokovnjake projektantske prakse kot tudi tehnologe in da je potrebno tesno sodelovanje biroja z vodstvom delavnice in gradbišča.

Racionalizacija izdelave jeklenih konstrukcij, ki se kaže v zmanjšanju delovnih ur, je dosežena na dva načina: v tehničnem biroju s pomočjo tipizacije delov konstrukcije in uvedbo modularnega sistema ter poenotenjem stikov in priključkov, v delavnici pa s stalnim razvojem tehnologije izdelave. V zvezi s fabrikacijo jeklenih konstrukcij se porabijo ogromna sredstva za raziskave, da bi dosegli čimvečjo industrijsko, serijsko in avtomatsko proizvodnjo.

Teži se k čim popolnejši robotizaciji in avtomatizaciji proizvodnje konstrukcij od vhoda do izhoda iz delavnice. Velika skladišča materiala se opuščajo in nadomeščajo z majhnimi, popolnoma avtomatiziranimi, iz katerih se pločevine po najkrajši poti transportirajo do mesta instaliranih modernih naprav, kjer se na enem mestu izvrši s pomočjo računalnika zaznamovanje, razrez, vrtnanje lukenj in fiksiranje elementa za nadaljnje sestavljanje. S tem odpade klasično predrisanje in zaznamovanje. Shematični prikaz avtomatiziranega skladišča in naprave za obdelavo pločevin je podan na sliki 3 in 4.

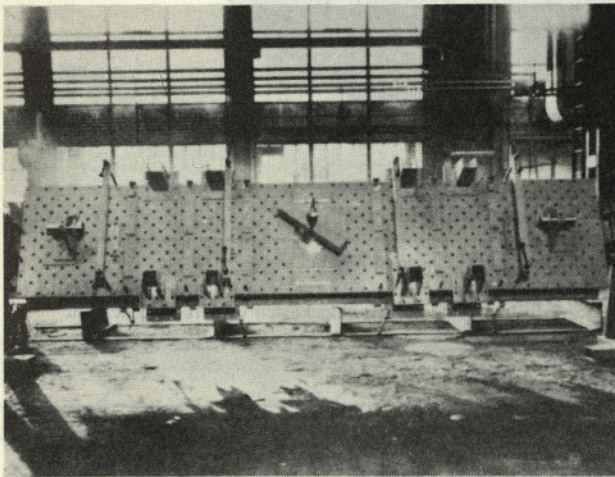


Slika 3



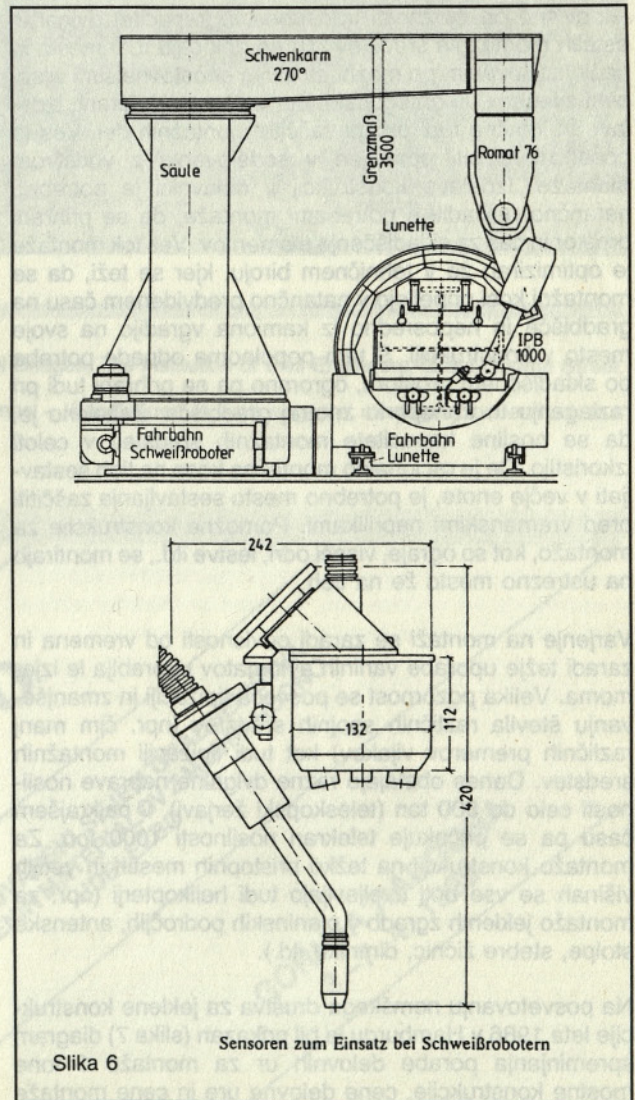
Slika 4

Tak način dela zahteva, da se vse preiskave osnovnega materiala, slojevitosti in lamelnosti, pa celo primarna protikorozijska zaščita, izvršijo že v železarni. Sestavljanje posameznih delov med seboj se izvrši s pomočjo raznih pridržal in natezalcev (slika 5) na posebnih vrtljivih mizah.



Slika 5

Spajalni varki in varjenje se izvrši z varilnimi roboti. Obstajajo že tudi elektronsko vodeni stroji za sestavljanje, pri katerih je možno brez poprejšnjega risanja sestavljati dele dimenzij do 12,0 x 3,0 m z natančnostjo ± 1 mm. Nameščanje in fiksiranje npr. ojačitev na stojino se izvrši popolnoma avtomatsko. Za posamezne načine varjenja z roboti (slika 6) so pripravljene ustrezni programi. Vsako mesto izdelave je s terminalom povezano z računalniško centralo. S pomočjo sistema programov se določeni način varjenja transportira na določeno mesto na elementu. Točna namestitve robota – varilca je dosežena s pomočjo senzorja. Uporaba robotizacije in CAD sistema zahteva vse večjo standardizacijo in tipizacijo raznih spojev, priključkov, oblik detajlov itd., istočasno pa tudi visoko



Slika 6

izšolanost, odgovornost in fleksibilnost premeščanja osebja. Število osebja se pri takem načinu dela znatno zmanjša, prihranek časa izdelave je velik, visoka kakovost zvarov pa tudi močno zmanjšuje stroške kontrole kakovosti zvarov.

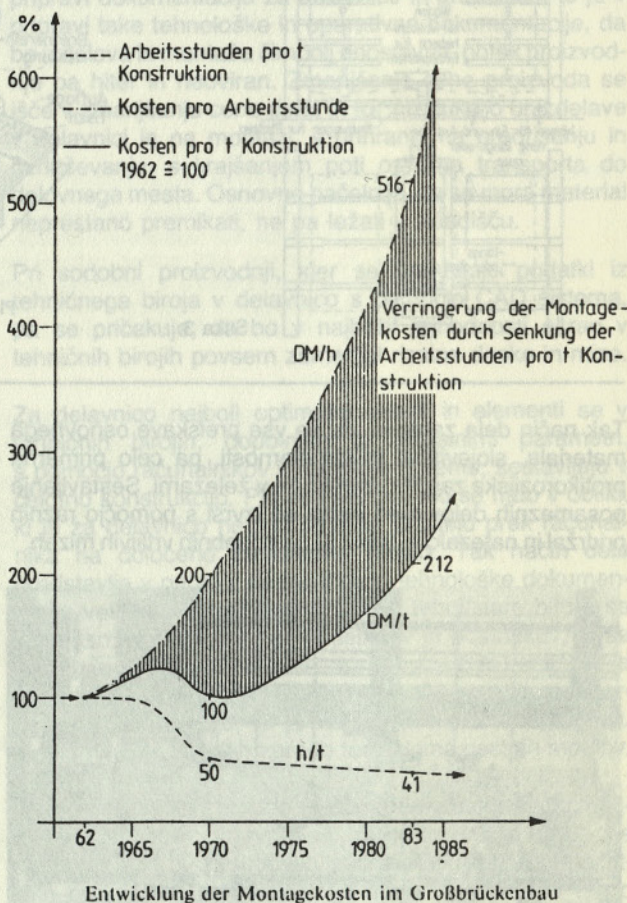
Teži se k izdelavi čimvečjih izdelkov v delavnici. S tem v zvezi se rešujejo problemi varjenja in transporta velikih kosov. Stikovanje posameznih delov konstrukcije se izvaja v veliki meri s pocinkanimi, prednapetimi vijaki. Stikovanje strižno obremenjenih spojev s pomočjo lepljenja je stvar bližnje bodočnosti. Teži se h kompletni protikorozijski zaščiti že v delavnici, ob ustrezni zaščiti montažnih kosov zaradi poškodb ob transportu in montaži.

Po izkušnjah razvitih držav je možno z ustrezno mehanizacijo prihraniti ca. 10% ur na montaži konstrukcij v visokogradnji. Z raznimi ukrepi racionalizacije pa je lahko prihranek montažnih ur tudi do 20%. To je predvsem omogočeno z ustrezno pripravo montaže v tehničnem biroju, kjer se določajo velikosti in teže montažnih kosov – odvisno od možnosti transporta in kapacitet dvigal in ostalih montažnih sredstev. Tu se določajo tudi mesta in načini stikovanja, po možnosti s čim enostavnejšimi vijajnimi zvezami, ki omogočajo tudi izravnavo toleranc izdelave in končno tudi ukrepi zaščite montažnih del. Ves ta posel mora biti opravljen v sodelovanju z vodstvom montaže. Izdelavo konstrukcij v delavnici je potrebno natančno uskladiti s potrebami montaže, da se prihrani prostor in čas za skladiščenje elementov. Ves tok montaže je optimiziran že v tehničnem biroju, kjer se teži, da se montažni kosi pripeljejo v natančno predvidenem času na gradbišče in neposredno iz kamiona vgradijo na svoje mesto v konstrukciji. S tem popolnoma odpade potreba po skladiščnem prostoru, ogromno pa se prihrani tudi pri razlaganju in transportu znotraj gradbišča. Zaželeno je, da se nosilne kapacitete montažnih sredstev v celoti izkoristijo. Če je racionalno montažne kose na tleh sestavljati v večje enote, je potrebno mesto sestavljanja zaščititi pred vremenskimi nepravilnostmi. Pomožne konstrukcije za montažo, kot so ograje, viseči odri, lestve itd., se montirajo na ustrezno mesto že na tleh.

Varjenje na montaži se zaradi odvisnosti od vremena in zaradi težje uporabe varilnih avtomatov uporablja le izjemoma. Velika pozornost se posveča tipizaciji in zmanjševanju števila različnih spojnih sredstev (npr. čim manj različnih premerov vijakov) kot tudi tipizaciji montažnih sredstev. Danes obstajajo razne dvigalne naprave nosilnosti celo do 800 ton (teleskopski žerjavi), v najkrajšem času pa se pričakuje telekran nosilnosti 1000 ton. Za montažo konstrukcij na težko pristopnih mestih in večjih višinah se vse bolj uveljavljajo tudi helikopterji (npr. za montažo jeklenih zgradb v planinskih področjih, antenske stolpe, stebre žičnic, dimnike itd.).

Na posvetovanju nemškega društva za jeklene konstrukcije leta 1986 v Hamburgu je bil prikazan (slika 7) diagram spreminjanja porabe delovnih ur za montažo 1 tone mostne konstrukcije, cene delovne ure in cene montaže

za 1 tono konstrukcije večjih mostov za obdobje od leta 1965 do 1985.



Slika 7

Očitna je tendenca po zmanjšanju porabe ur za 1 tono montirane konstrukcije in s tem zmanjševanja stroškov montaže. Zato se teži k čim večjim montažnim kosom, izdelanim v delavnici.

Znane so naslednje največje izmere in teže montažnih kosov mostov: dolžina do 50 m, širina do 7 m, teža do 100 t, pri čemer seveda te izjemne vrednosti ne nastopajo istočasno. Izjemne vrednosti so odvisne od velikosti delavniških hal, kapacitet dvigalnih naprav v njih, širine transportnih poti, možnosti opreme za protikorozijsko zaščito, možnosti transporta na gradbišče. Slika 8, ki prikazuje montažo kompletno sestavljenega železniškega mostu v vsej dolžini s pomočjo dveh žerjavov velike nosilnosti, najbolj zgovorno ilustrira tendence v današnjem razvitem svetu.





Slika 8

**LITERATURA**

- International Symposium on Steel Bridges, The Institution of Civil Engineers, Great George Street, London, February 1988.
- Das moderne Stahlbauunternehmen - Wandlungen in Fertigung und montage, Sonderdruck aus Stahlbau 55 (1986), Heft 11 u. 12.



GOSPODARSKO RAZSTAVIŠČE LJUBLJANA  
POSLOVNA ENOTA POMURSKI SEJEM  
GORNJA RADGONA

**GRADBENIŠTVO**

5. JUGOSLOVANSKI SEJEM GRADBENIŠTVA  
IN GRADBENIH MATERIALOV Z MEDNARODNO  
UDELEŽBO

GORNJA RADGONA  
3.-7. 4. 1989

# SISTEMSKO ZAGOTAVLJANJE KONTROLE KAKOVOSTI IZDELAVE IN MONTAŽE JEKLENIH KONSTRUKCIJ

UDK 69.057:624.014:658.562:006.83

JANEZ REFLAK

## POVZETEK

Prispevek v kratkem opisuje sistemsko zagotavljanje kakovosti izdelave in montaže jeklenih nosilnih konstrukcij. Opisani so posamezni deli sistema zagotovitve kakovosti. Navedeni so posamezni standardi, predpisi in pravilniki, ki jih je potrebno upoštevati v posameznih fazah. Shematsko je prikazan proces vseh služb, ki sodelujejo v procesu zagotavljanja kakovosti.

## SYSTEMIC ASSURANCE OF QUALITY CONTROL FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY OF BEARING STEEL STRUCTURES

## SUMMARY

The paper shortly describes means for assurance of quality control for manufacture and assembly of bearing steel structures. Procedures for assuring efficiency of the system are described. All regulations and standards, which shall be considered for quality control of bearing steel structures from design to assembly are in general cited. An overview of all services participating in the process is schematically shown and the role of quality control technical department is analysed in particular.

## 1.0. UVOD

V prispevku bomo obravnavali sistem in način zagotavljanja kontrole kakovosti izdelave in montaže jeklenih nosilnih konstrukcij, ki naj bo rezultat sodelovanja strokovnjakov s področja komercialne, tehnologije, oddelkov razvoja, projektantov, oddelka tehnične kontrole, oddelka priprave dela, proizvodnje konstrukcij, montažnega oddelka ter ostalih služb.

Kakovost je imperativ današnjega časa. Je posledica vestnega dela vseh delavcev v DO, kajti le vestno in dosledno izpolnjevanje vseh nalog posameznih oddelkov, ki sodelujejo pri načrtovanju, izdelavi in montaži jeklene konstrukcije, jo lahko zagotovijo.

Izpolnjevanje teh nalog v okviru veljavnih predpisov, normativov, pravilnikov in standardov je predmet posebnih aktov in poslovnikov znotraj DO.

Med posameznimi oddelki nastopa vrsta povezav, pri čemer vsak oddelek nosi svoj delež odgovornosti v sistemu zagotavljanja kontrole kakovosti. Izvajanje posameznih del in nalog znotraj oddelkov, ki so pomembne za zagotavljanje kakovosti, morajo oddelki opredeliti s svojimi poslovniki za delo.

## 2.0. UČINKOVITOST SISTEMA

Učinkovitost sistema zagotavljajo med drugim tudi:

- pravilna izbira osnovnega in veznega oziroma dodatnega materiala,
- opremljenost s stroji, orodjem in merilnimi instrumenti in pripomočki,
- metode dela in postopki za izdelavo ter kontrolo,
- stalno izobraževanje kadrov,
- motiviranje delavcev za kakovostno delo ter dosledno sankcioniranje neodgovornega ravnanja posameznikov pri delu.

### 2.1. Material za izdelavo jeklenih konstrukcij

delimo v osnovni in dodajni material

#### 2.1.1. Osnovni material

predstavljajo tako imenovana konstrukcijska jekla kot zadnja stopnja v procesu proizvodnje jekla. Razvrščamo jih po kakovosti, ki je odvisna od kemične sestave, od stopnje čistosti in finosti strukture. Glede na te parametre so jekla razdeljena na posamezne vrste z ustreznimi oznakami, določenimi z jugoslovanskimi standardi **JUS C.BO.500 – 1970**.

V trgovski mreži lahko nabavimo osnovni material za jeklene konstrukcije z atesti naslednjih jugoslovanskih železarn:

Avtor:

\* mag. Janez Reflak, dipl. inž., Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana

- Pločevine in hladno oblikovani profili (HOP profili) – Železarna Jesenice
- Okroglo jeklo – Železarna Ravne
- Okroglo jeklo – Železarna Štore
- Cevi – Železarna Sisak
- Vročevaljani profili – Železarna Zenica
- Okroglo jeklo – Železarna Nikšič
- Pločevine – Železarna Smederevo
- HOP profili – Železarna Aleksinac
- Pločevine – Železarna Skopje idr.

Atesti osnovnega materiala so pri nepravilni oceni in izbiri lahko **objektivno omejevalni dejavnik** za kakovost konstrukcij. Večkrat je problem osnovne zagotovljene meje žilavosti od 27 do 35 J.

Jeklo brez zagotovljene meje žilavosti uvrščamo med tako imenovana »**nepomirjena jekla**«. V tehnični oznaki jekla pomeni številka 24, 26, 29, 36 predpisano minimalno mejo plastičnosti materiala debelin, manjših od 16 mm. Črke A, B, C in D pa predstavljajo stopnjo odpornosti proti krhkemu lomu, ki je podana z velikostjo udarne žilavosti pri določeni temperaturi.

Dejstvo, da se vse napetostno neizžarjene zvarjene konstrukcije ne prelomijo zaradi krhkega loma, govori v prid tezi, da poleg **preostalih napetosti** obstajajo še mnogi dejavniki, ki lahko vplivajo na pojav te oblike porušitve:

- delovna temperatura konstrukcije v primerjavi z zarezno žilavostjo materiala,
- obstoj napak, kot so razpoke,
- koncentracija napetosti, povzročenih zaradi konstrukcijskih detajlov,
- vrste osnovnega materiala,
- debelina prereza,
- možnosti sunkovite obtežbe.

Vsakega od teh dejavnikov zase ali v kombinaciji imamo lahko skupaj s preostalimi napetostmi za povzročitelja nastanka krhkega loma.

V tabelah jekel v **JUS C.BO.500** je v koloni »dezoksidacija« podana stopnja čistosti jekla. Nepomirjeno jeklo je tisto, pri katerem so v ohlajeni masi cone nečistot elementov fosforja, žvepla, dušika in ogljika neenakomerno razporejene. Nepomirjena jekla so neprimerna za varjene konstrukcije. Vsa jekla brez tehničnih oznak se praviloma ne uporabljajo za izdelavo jeklenih nosilnih konstrukcij. Jeklo, ki se v osnovni oznaki končuje s številko »0«, se uporablja za manj pomembne elemente, jeklo z zadnjo številko »1« ima zagotovljeno žilavost pri 20°C in ga uporabljamo za konstrukcije v visokogradnji, ki imajo pretežno statično obtežbo.

Za dinamično obremenjene konstrukcije žerjavnih prog in cestnih mostov pa bomo za pretežno natezne dele ali za dele z menjajočo se obtežbo uporabljali jeklo s končno oznako številka »2«, za železniške mostove in podobne konstrukcije jeklo z oznako na koncu s številko »3«.

Za konstrukcijska jekla so pomembne predvsem mehanske in kemične lastnosti.

V **JUS C.BO.500** so vse te lastnosti tabelarično navedene.

Pri interpretaciji tabel je treba upoštevati nov veljavni merški sistem, s katerim pa še ni usklajen naveden **JUS**.

Železarna Jesenice proizvaja naslednja konstrukcijska jekla s kemičnimi in mehanskimi lastnostmi, kot slede.

## KONSTRUKCIJSKA JEKLA

### Namen uporabe

Maloogljčna konstrukcijska jekla s količino ogljika do maks. 0,25% uporabljamo za izdelavo vseh vrst jeklenih konstrukcij, predvsem varjenih. Konstrukcijska jekla z višjo količino ogljika so namenjena za izdelavo delov, pri katerih se zahteva samo določena trdnost.

### Kemična sestava jekel – šaržne analize

Vrsta jekla	Kemična analiza (%)				
	C maks.	Si maks.	Mn maks.	P maks.	S maks.
Č 0261	0,15	0,4	0,5	0,060	0,050
Č 0361 Č 0362 Č 0363	0,17	0,4	0,5	0,050 0,045 0,045	0,050 0,045 0,045
Č 0461 Č 0462 Č 0463	0,20	0,4	0,6	0,050 0,045 0,045	0,050 0,045 0,045
Č 0481 Č 0482 Č 0483	0,20	0,4	0,8	0,050 0,045 0,045	0,050 0,045 0,045
Č 0561 Č 0562 Č 0563	0,20	0,45	1,40	0,050 0,045 0,045	0,050 0,045 0,045
Č 0545 Č 0645 Č 0745	0,35 0,45 0,55	0,4	0,8	0,050	0,050

Vse vrste jekel so v pomirjenem stanju. Glede na zahtevane mehanske lastnosti so nekatera jekla specialno pomirjena z aluminijem, kar zagotavlja finoizotnost in visoko žilavost tudi pri nizkih temperaturah.

### OBVESTILO

Avtorje člankov, objavljenih v »Gradbenem vestniku«, vljudno prosimo, da ob oddaji člankov uredništvu, priložijo naslednje podatke: priimek in ime, naslov stalnega bivališča, obično stalnega prebivališča in številko žiro računa.

**Računovodstvo Gradbenega vestnika**

Mehanske lastnosti jekel<sup>1</sup>

Vrsta jekla	Meja plastičnosti <sup>1</sup> Rp N/mm <sup>2</sup> min.			Trdnost <sup>1</sup> RM N/mm <sup>2</sup>	Raztezek <sup>1</sup> A <sub>5</sub> % min.	Upogib $\alpha = 180^\circ$	Žilavost <sup>4</sup> Av	
	Debelina pločevine v mm < 16 16-40 40-100						J min.	Temp. °C
Č 0261	205	195	185	330-410	28	d = 0.5a	27	+20
Č 0361 Č 0362 Č 0363	235	225	215	360-440	25	d = a	27 27 27	+20 0 -20
Č 0461 Č 0462 Č 0463	255	245	235	410-490	22	d = 2a	27 27 27	+20 0 -20
Č 0481 Č 0482 Č 0483	285	275	265	430-530	25	d = 2a	27 27 27	+20 0 -20
Č 0561 Č 0562 Č 0563	355	345	335	510-610	22	d = 2a <sup>2</sup> d = 3a <sup>3</sup>	27 27 27	+20 0 -20
Č 0545 Č 0645 Č 0745	295 335 365	285 325 355	285 315 345	490-590 590-710 690-830	20 15 10			

Opombe:

<sup>1</sup> Mehanske lastnosti določamo na preizkušancih, ki so bili vzeti v smeri valjanja.<sup>2</sup> Navedeni pogoji upogibanja veljajo le za debeline ≤ 16 mm.<sup>3</sup> Navedeni pogoji upogibanja veljajo le za debeline od 16 do 40 mm. Za debeline > 40 mm pa se upogibni preizkus izvede po dogovoru.<sup>4</sup> Za preizkus žilavosti uporabljamo preizkušance z ostro V Notch zarezo.

Vsa konstrukcijska jekla so normalno variva pri koncentraciji ogljika C = maks 0,22%, in sicer:

- elektroobločno,
- avtomatsko,
- v atmosferi CO<sub>2</sub>,
- ali avtomatsko pod praškom.

Vse konstrukcije iz jekel kakovosti Č0561, Č0562 in Č0563 je potrebno pri debelinah t ≥ 10 mm pred varjenjem predgrevati.

## 2.1.2. Vezni in dodajni material

V izredno dinamičnem napredku tehnike v sodobnem svetu zavzema vidno mesto varilna tehnika z novimi postopki varjenja in zelo širokim izborom **dodajnih** materialov.

Material in proizvodi, ki rabijo kot spojna sredstva za spajanje jeklenih konstrukcij, so predvsem:

- zakovice,
- vijaki,
- dodajni material za varjenje.

V zadnjem obdobju se zakovice v visokih gradnjah zelo redko uporabljajo, zato ta spojna sredstva ne bomo natančneje obravnavali.

## 2.1.2.1. Vijaki

Zelo uporabljen spojni element jeklenih nosilnih konstrukcij v visokih gradnjah je **vijak**. Vijake delimo glede na način prenašanja sile v spoju na:

## 1. normalne vijake

- grobi normalni vijaki – luknja je večja za 1 mm
- prilagodni vijaki – luknja je večja za 0,3 mm

## 2. visokovredne vijake (prednapete) – luknja je za 2 mm večja

## Kakovost materiala za vijake

kakor tudi mehanske lastnosti gotovih vijakov so podane v standardu

**JUS M.B1.023 za vijak****JUS M.B1.028 za matico.**Mehanske karakteristike vijakov med seboj razlikujemo po **trdnostnih razredih**, označenih z dvema številčkama, ki sta med seboj ločeni s piko. Prva številka pomeni stoti del imenske vrednosti natezne trdnosti Rm/100, druga številka pa desetkratno vrednost razmerja imenske meje raztezanja glede na imensko vrednost natezne trdnosti, to je 10.Rel/Rm v MPa oziroma N/mm<sup>2</sup>.

Za normalne vijake so običajno predpisane naslednje kakovosti:

**4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8** – to so ogljikova jekla.

Za visokovredne vijake so naslednje kakovosti:

**8.8, 9.8, 10.9, 12.9** – ogljikova jekla za kaljenje.

Praviloma se uporabljajo samo razredi, ki so debelo označeni.

Trdnostni razredi za matice se označujejo s številčkami, ki predstavljajo 1/10 preizkusne natezne trdnosti matice. Trdnostni razred matice naj bo enak trdnostnemu razredu vijaka in običajno uporabljamo matice kakovosti 4, 5 in 10. Oblike in mere so za vijake standardizirane.

## a) Normalni grobi vijaki

**JUS M.B1.023 – vijak****JUS M.B1.028 – matice****JUS M.B2.015 – podložke (t = 8 mm)**

## b) Visokovredni vijaki (VV oznaka)

**JUS U.E7.140 – tehnične zahteve**

Jugoslovanski standard z obvezno uporabo od 4. 8. 1985

Standardi za vijake

oblikovni	<b>JUS za VV vijake</b>	<b>JUS M.B1.066</b>
oblikovni	<b>JUS za tesne VV vijake</b>	<b>JUS M.B1.067</b>
kvalitetni	<b>JUS za VV vijake</b>	<b>JUS M.B1.023</b>
kvalitetni	<b>JUS za VV matice</b>	<b>JUS M.B1.028</b>
oblikovni	<b>JUS za VV matice</b>	<b>JUS M.B1.629</b>
oblikovni	<b>JUS za VV podložke</b>	<b>JUS M.B2.030</b>

Za poševne podložke pri vroče valjanih CNP in INP profilih uporabljamo naslednji standard

**JUS M.B2.064 – (CNP)****JUS M.B2.063 – (INP)**

Visokovredni vijaki ali vijaki visokega trdnostnega razreda (**JUS U.E7.140** 1985) se uporabljajo pri vijačenju:

- tornih spojev,
- strižnih stikov,
- nateznih stikov,
- kombiniranih stikov.

Glavna razlika v obliki med visokovrednimi in navadnimi vijaki je v tem, da je radij zaokrožitve med stebлом in glavo vijaka znatno večji, večja je debelina matice in podložk. Podložke imajo prav tako na robovih večje zaokrožitve, ki ustrezajo zaokrožitvam na steblo vijakov ter so nameščene pod glavo in matico vijaka.

**2.1.2.2. Dodajni material za varjenje**

Od raznih načinov varjenja najbolj uporabljamo **elektro-obločno** varjenje. Za tako varjenje se uporabljajo naslednji dodajni materiali:

- a) elektroda,
- b) varilna žica,
- c) prašek,
- d) zaščitni plin.

**Ad a) Elektrode**

se uporabljajo za ročno varjenje. Obstajajo gole in oplasčene elektrode. Gole elektrode se za resnejše namene ne uporabljajo, tako danes z izrazom elektroda razumemo zgolj oplasčene elektrode, ki so sestavljene iz varilne žice in plašča, ki enakomerno obdaja žico. Žica rabi za zapolnitev zvarnega žleba pri spajanju dveh delov, pri čemer plašč stabilizira **električni oblok**, ki rabi kot zaščita stopljene mase žice pred škodljivimi vplivi kisika in dušika iz zraka; leguro talimo in z žlindro na površini zvara preprečujemo prenaplo ohladitev zvara. Zvar mora biti po svojih kemičnih in mehanskih lastnostih vedno boljši od osnovnega materiala.

Dokaz karakteristike elektrode opravimo s preiskavami po **JUS C.H3.011**.

Za varjenje običajnih jeklenih nosilnih konstrukcij se uporabljajo pretežno **bazične** elektrode, ki so primerne za varjenje v vseh položajih. Samo Železarna Jesenice izdeluje ca. 70 vrst najrazličnejših elektrod, katerih uporaba je odvisna od najrazličnejših parametrov.

**Ad b) in c) Varilna žica in prašek**

se uporablja pri EPP postopku (varjenje pod praškom). To je avtomatsko varjenje, pri katerem se prašek posipa pred varilno žico in pod njo. Toplota električnega obloka topi varilno žico in prašek in tako napravi zvar. Oblok in varilno mesto sta pod praškom in zato nevidna. Nestopljene del praška in žlindra prekrivata zvar in preprečujeta prenaplo ohladitev zvara. Po ohladitvi zvara se preostanek praška s posebnim sesalcem odstrani in shrani za kasnejšo uporabo, žlindra pa se z lahkimi udarci odstrani.

Žica premera 0,8 do 5 mm (v kombinaciji s praški EP 15, EP 25 in OE 100) je nelegirana pobakrena žica za avtomatsko varjenje pod praškom in je zelo primerna za varjenje konstrukcijskih jekel.

Standard **JUS** za varilne žice EPP je **JUS C.H3.052**.

Dobavitelj mora predložiti za žico, prašek in za mehanske karakteristike zvara, izdelanega iz tega materiala, **atest**, ki je vključen v končno poročilo o kontroli izdelave in montaže konstrukcije.

Po jugoslovanskem standardu **JUS C.T3.052**.

Izvajalec jeklene konstrukcije mora preverjati, ali lahko pri svojih pogojih varjenja dosega deklarirane karakteristike.

**Ad d) Varjenje v zaščitnem plinu**

ali atmosferi imenujemo varjenje, pri katerem sta električni oblok in žleb, v katerem poteka topljenje elektrode, zaščiten s plinom. Pri tem sta oblok in mesto varjenja vidna. Zaščitna atmosfera so lahko inertni plini (argon – helij), MIG postopek ali aktivni plin (CO<sub>2</sub>), MAG postopek, ki je pri nas zelo razširjen in ga uporabljamo za ročno, polavtomatsko in avtomatsko varjenje sočelnih in kotnih zvarov v vodoravnem položaju. Žična elektroda je običajno premera 0,6 do 3,2 mm in se dobavlja v kolutu; ima polni prerez ali pa kovinsko jedro, ki ima nalogo, da stabilizira oblok in legira stopljeno maso. Tako žica kot zaščitni plin morata biti dobavljena z atestom proizvajalca. Železarna Jesenice proizvaja VAG 60, VAG 65 in VAG 60 N itd. Najbolj uporabljena je žica VAG 60, tj. specialna žica, primerna za varjenje nelegiranih in malo legiranih konstrukcijskih jekel trdnosti do 590 N/mm<sup>2</sup>.

**2.2. Opremljenost s stroji**

Tudi opremljenost s strojnimi orodjem in merilnimi instrumenti so lahko omejevalni dejavniki kakovosti. Brez ustrezne opreme in tudi brez kakovostnega osnovnega materiala kljub še tako popolni organizacijski shemi samo predpisi ne morejo zagotoviti kakovosti. Potrebno je, da DO nenehno dopolnjuje razvoj tehnologije na področju izdelave jeklenih konstrukcij in odvaja sredstva za nabavo strojev, aparatov in merilnih pripomočkov. Delovna organizacija, ki želi izdelovati nosilne jeklene konstrukcije, mora imeti posebno spričevalo o sposobnosti za takšna dela; to spričevalo izda ustrezna pooblaščenca institucija.

**2.3. Organizacijski predpisi**

Z njimi DO definira metode dela, postopke izdelave in kontrole. Vendar samo s predpisi ne moremo spremeniti tehnološke in delovne discipline, kar je prvi pogoj za doseg kakovosti. Sprememba odnosa do kakovosti mora postati lastna slehernemu članu kolektiva.

## 2.4. Izobraževanje

V DO mora biti navzoče neprestano prizadevanje za dvig znanja vseh delavcev in doseganje načrtovane kakovosti izdelkov, kar se mora odražati:

- v temeljiti preučitvi odgovornosti za doseganje kakovosti,
- v organiziranih seminarjih s področja obvladovanja kakovosti na vseh ravneh proizvodnje,
- v spodbujanju izobraževanja delavcev ob delu v tistih usmeritvah, ki bistveno vplivajo na kakovost,
- s štipendiranjem deficitarnih usmeritev, ki zagotavljajo kakovost.

## 2.5. Motiviranje in sankcioniranje delavcev

Z motiviranjem delavcev za kakovostno delo razumemo:

1. Povezovanje dosežene kakovosti:
  - projektov,
  - izvedbene dokumentacije,
  - izdelave v delavnici,
  - ter montaže z doseženim osebnim dohodkom posameznika ali teama delavcev.

2. Samokontrolo na tistih delih in nalogah, kjer posamezniki najučinkoviteje nadzorujejo kakovost, s čimer dosego svoj finančni učinek.

3. Nenazadnje oblika motivacije z nematerialnimi priznanji najboljšim delavcem v njihovih prizadevanjih za doseg kakovosti izdelkov.

4. Vsekakor je potrebno uvesti tudi dosledno sankcioniranje neodgovornega ravnanja posameznikov pri delu.

## 3.0. PREGLED SLUŽB

Iz naslednje preglednice najpomembnejših aktivnosti v sistemu integralnega zagotavljanja kakovosti je razviden delež posameznih oddelkov in služb.

Zaradi omejenega prostora bomo prikazali iz preglednice samo dejavnost projektive in kontrole v procesu zagotavljanja kakovosti.

### 3.1. Splošno o projektiranju

Koncept, statični izračun, projekt in izdelava jeklene konstrukcije zahtevajo popolno poznavanje materialov, račun-

	Delavski svet	KPO	Razvoj	Projektiva	Tehnologija	Kontrola	Nabava	Kooperanti	Vodje TOZD	Vodje priprave	Delavci	Prodaja	Finančna služba	Kadrovska služba	Zunanje inštitucije
1. Postavljanje opredelitve za kakovost	x	x	x			x									
2. Razvijanje sistema kakovosti			x	x	x	x		x	x					x	
3. Definiranje kakovosti materiala			x	x	x	x									
4. Končna kontrola						x									
5. Superkontrola															x
6. Zbiranje atestov						x	x								
7. Preiskava osnovnega materiala															x
8. Kontrola brez porušitev RTG, UZ itd.						x									x
9. Pregled izdelave in montaže						x									x
10. Izdajanje potrdil kakovosti						x									x
11. Skrb za kakovostno proizvodnjo									x	x	x				
12. Obravnava poročil o kakovosti	x	x	x	x	x	x									
13. Spremljanje stroškov						x						x			
14. Kontrola v proizvodnji						x			x	x	x				

skih metod dimenzioniranja in ustaljenih metod konstruiranja ter tehnoloških procesov izdelave. Od kakovosti projekta je odvisno doseganje nadaljnje kakovosti izdelkov (jeklene konstrukcije). Projektant mora pri svojem delu upoštevati:

- veljavne predpise, normative in standarde,
- želje investitorja,
- tehnologijo izvajalca,

pri čemer svoje rešitve prilagaja morebitnim že razvitim tipskim rešitvam jeklenih konstrukcij ali le-te modificira. Na ta način zagotavlja funkcionalnost, varnost in videz konstrukcije, kar predstavlja za DO najracionalnejšo rešitev.

Tehnično dokumentacijo sestavljajo:

- a) tehnično poročilo,
- b) statični račun,
- c) skice, načrti,
- d) posebne tehnične zahteve.

a) Tehnično poročilo mora vsebovati opis namena objekta, podatke o uporabi in transportu, plan montaže ter ostale pomembne podatke za koncept, dimenzioniranje, izdelavo in montažo.

b) Statični račun mora vsebovati vse podatke o temeljnih tleh, obtežbah, osnovnem materialu o dimenzioniranju vseh delov konstrukcije, za katere je bilo potrebno izvršiti statično presojo.

c) Načrti morajo vsebovati pregledni prikaz konstrukcije v celoti (dispozicijski načrti) ter delavniško razdelano dokumentacijo, opremljeno z znaki, opombami, simboli, z zahtevami o rentgenski kontroli (odstotek snemanja) soležnih zvarjenih stikov itd.

d) Dokumentacija mora vsebovati posebne tehnične zahteve, ki jih mora izvajalec upoštevati ob izvajanju.

Že pri projektiranju je treba posvečati posebno skrb izvedbi detajlov, tj. kreiranju konstrukcije s čimbolj dostopnimi detajli za varjenje, po možnosti z minimalnim nadglavnim varjenjem.

Prav tako je treba težiti pri izdelavi za tem, da se čimbolj odpravijo varilne deformacije in zaostale napetosti od varjenja. Število zvarjenih montažnih stikov je treba zmanjšati na najmanjšo možno število.

3.11. Osnovni kriteriji za ocenjevanje kakovosti tehnične dokumentacije morajo odgovoriti na naslednja vprašanja:

- ali definira karakteristiko objekta po obliki in dimenzijah,
- ali ustreza funkcionalnosti in uporabnosti objekta,
- ali zagotavlja varnost in stabilnost objekta,
- ali zagotavlja ustrezno vgradnjo materiala,
- ali ustreza tipizaciji DO,
- ali zagotavlja optimalno težo,
- ali definira kakovost v skladu s predpisi,
- ali definira način proizvodnje,
- ali podaja vse tolerance (predpisi),
- ali vsebuje kompletne tehnološke postopke,
- ali vsebuje način označbe elementa,

- ali vsebuje zahtevo po poskusni sestavi,
- ali vsebuje montažni plan in navodilo za montažo,
- ali navaja način transporta na gradbišče,
- ali vsebuje način vzdrževanja v fazi uporabe.

Pri projektiranju jeklenih nosilnih konstrukcij moramo poleg ostalih tehničnih predpisov upoštevati:

**Pravilnik o tehničnih normativih za nosilne jeklene konstrukcije (Uradni list SFRJ – 61/1986)**

**Tehnički propisi o dejstvu vetra za noseče čelične konstrukcije (Uradni list SFRJ – 41/1964)**

**Tehnički propisi za lake čelične građevine kot nosečih čeličnih konstrukcija (Uradni list SFRJ – 6/1965)**

**Tehnički propisi za pregled in ispitivanje nosečih čeličnih konstrukcija (Uradni list SFRJ – 6/1965)**

**Tehnički propisi za održavanje čeličnih konstrukcija za vreme eksploatacije kod nosečih čeličnih konstrukcija (Uradni list SFRJ – 6/1965)**

**JUS C.B0.500 – 1970**

**JUS U.E7.086 – 1986**

**JUS U.E7.101 – 1986**

**JUS U.E7.121 – 1986**

**JUS U.E7.116 – 1980**

**JUS U.E7.150 – 1987**

**JUS U.E7.081 – 1986**

**JUS U.E7.091 – 1986**

**JUS U.E7.111 – 1986**

**JUS U.E7.131 – 1980**

**JUS U.E7.106 – 1980**

**JUS U.E7.140 – 1985**

### 3.2. Kontrola

Vhodna kontrola. Nabavljeni material mora biti uskladiščen in označen po kakovostnih razmerjih. Pločevine in profili morajo biti pred obdelavo poravnani. Ravnanje v hladnem pride v poštev tam, kjer skrčki in podaljški elementov ne presegajo dopustnih mej. Obdelava v vročem mora biti pri »rdečem sijaju«. Gretje in obdelava v »modrem sijaju« ni dovoljena.

#### 3.2.1. Oddelek tehnične kontrole (OTK)

naj bi imel naslednje enote:

1. Mehansko-kemični laboratorij
2. Defektoskopski laboratorij
3. Center kakovosti
4. Vhodno kontrolo
5. Operativno kontrolo proizvodnje
6. Kontrolo montaže in kooperantov

#### 3.2.2. Kontrola tehnologije naj obsega

- a) Plan kontrole
- b) Navodilo za samokontrolo
- c) Statistične kontrolne liste
- d) Preglednico dimenzij in toleranc po **JUS** standardih
- e) Tehnično-prevzemne pogoje

a) Plan kontrole so pismeno definirani kriteriji za kakovost izdelkov in faze, v katerih je potrebno to kontrolo opravljati in po katerih predpisih.

b) Navodila za samokontrolo so pismena priporočila za pravilen način dela in kontrole operacije med delovnim procesom.

c) Statistični list rabi kontrolorju za redno preverjanje dosežene kakovosti in vsebuje kriterije za njeno ugotavljanje.

d) Preglednica dimenzij in toleranc so pripomočki delavcem in kontrolorjem za izvajanje (šablone ipd.).

e) Tehnično-prezjemni pogoji so sestavni del pogodbe z naročnikom v zvezi z dobavo materialov in veljajo kot dogovor z dobavitelji o kakovosti pošiljke.

3.2.3. Oddelek tehnične kontrole opravlja preglede z:

- Radiografijo
- Ultrazvočnimi preiskavami
- Penetranti
- Magnetofluksom
- Vakuumsko tehniko (tlačne posode)

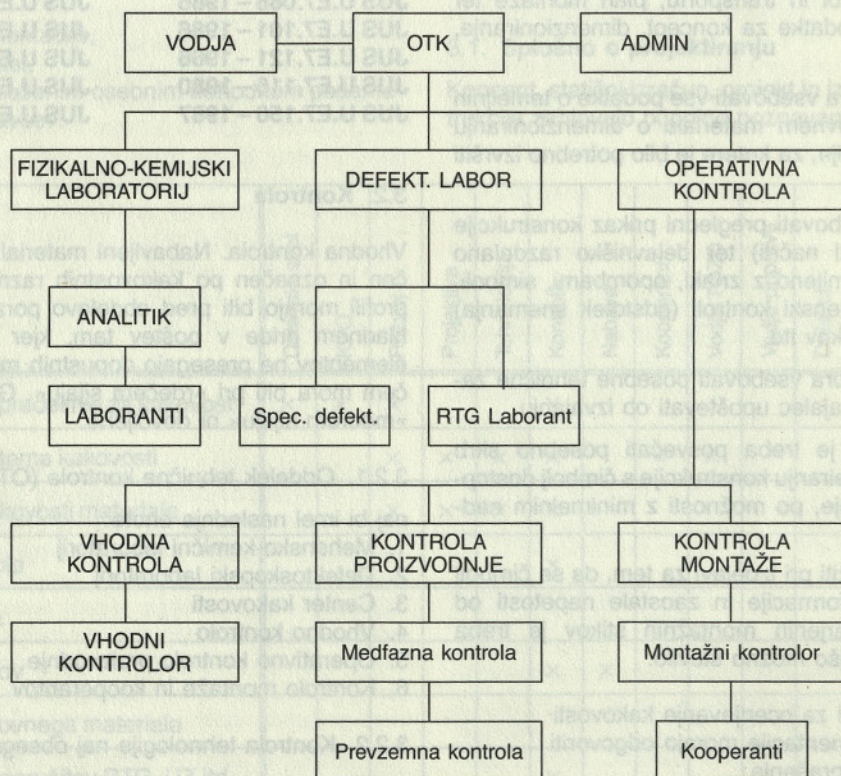
Klasifikacija napak v zvarih pri talilnem varjenju kovin.

### 3.2.3.2. Ultrazvočna kontrola

Moderne ultrazvočne aparature za preiskavo napak v materialu so že tako tehnično dovršene, da jih lahko štejemo že kot mersko orodje.

UZ aparati morajo biti vedno pravilno umerjeni in dobro vzdrževani. Od osebe, ki uporablja aparaturo, se zahteva, da na terenu nedvoumno določi, ali je material uporaben ali ne. Ker so meritve z UZ »indirektna metoda«, na katero vpliva pri formiranju signala kopica dejavnikov, morajo biti interpreti teh meritev osebe z dolgoletnimi izkušnjami. Ultrazvok je slišno gibanje delcev materije z visokimi frekvencami. Energija se prenaša po materiji prek posameznih delcev. Število nihajev delcev v določenem času

### SHEMA OTK



### 3.2.3.1. RTG kontrola

Internacionalni inštitut za varjenje, kratica IIW/IIS, je izdal kartoteko primerjalnih primerkov radiogramov z različnimi vrstami napak v zvarih. Ta kartoteka se uporablja za doseganje enotnega kriterija ocenjevanja filmov v primerjavi z vzorčnimi filmi. Kartoteka IIW/IIS navaja kratice za vrste napak v zvarih, kar je v osnovi prevzel tudi jugoslovanski standard **JUS C.T3.020** (Uradni list SFRJ – 10/82).

nam pove nastop ultrazvoka. Število nihajev leži pod 20.000/sek (20 KHz), ta meja predstavlja ultrazvok. V UZ defektoskopiji uporabljamo frekvence med 0,5 in 10 MHz.

### 3.2.3.3. Penetranti

Določevanje poškodb na materialu s pomočjo penetrantov. Postopek preizkušanja površine s penetranti urejajo jugoslovanski predpisi:



**JUS C.A7.080 – Preizkušanje s penetranti osnovni principi**

**JUS C.A7.081 – Preizkušanje s penetranti – sredstva za kontrolo.**

Osnovne faze dela s penetranti so: čiščenje površine, penetriranje, spiranje, razvijanje, pregled. Z opisanim postopkom lahko odkrivamo površinske napake – razpoke in poroznosti do  $1\ \mu\text{m}$  (velja za penetrante 1. razreda). Metoda je uporabna za vse materiale.

### 3.2.3.4. Določanje razpok z magnetofluksom

Delovanje po tem postopku sloni na principu, da na površini metala na umeten način povzročimo magnetno polje. Izkoriščamo značilnost magnetnih silnic, ki je ob napaki (razpoki) odklonijo. To registriramo s feromagnetnim praškom, ki je lahko suh, v vodni ali v oljni raztopini.

### 3.3. Kontrola izdelave v delavnici

Sestava pločevin po:

**JUS C.T3.030** – oblika in dimenzije žlebov za varjenje jekla

**JUS C.T3.001** – tehnika varjenja – pojmi

**JUS C.T3.011** – tehnika varjenja – načrti

**JUS C.T3.012** – označevanje varilnih načinov

**JUS C.T3.061** – atestiranje varilcev

Proces izdelave glavnih nosilcev zajema naslednje faze dela:

- razrez plošč,
- avtomatsko varjenje,
- obdelava in obdelava zvarjenja,
- AKZ.

Pri sestavi je treba upoševati **Pravilnik o tehničnih normativih za nosilne jeklene konstrukcije (Uradni list SFRJ – 61/86)**.

### 3.4. Kontrola montaže

Kontrolo in izvedbo montaže ureja **Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za montažo jeklenih konstrukcij (Uradni list SFRJ – 29/1970)**.

Na terenu morajo biti kontrolirane:

- osne razdalje betonskih temeljev,
- višine temeljev,
- višine vbetoniranih sider.

O tem se izdela zapisnik. Vse meritve morajo biti opravljene z instrumentom in merskim trakom. Dopustna odstopanja so definirana v zgornjem pravilniku. Projekt za montažo jeklenih konstrukcij specifičnih in posebno zahtevnih objektov mora vsebovati:

1. Tehnični opis montaže in načrt izvedbe montažnih del
2. Časovni načrt izvedbe montažnih del, usklajen z načrtom izvedbe drugih del na objektu

3. Statični račun jeklene konstrukcije med izvajanjem montažnih del

4. Projekt odra

5. Načrt organizacije gradbišča

6. Seznam opreme za izvedbo montažnih del

7. Elaborat o varnostnih ukrepih.

### 3.5. Kontrola protikorozijske zaščite konstrukcije

AKZ se izvaja v skladu s **Pravilnikom o tehničnih ukrepih in pogojih za zaščito jeklenih konstrukcij pred korozijo (Uradni list SFRJ – 32/1970)**.

Zelo bistvena faza je priprava površin jeklene konstrukcije za zaščito pred korozijo – za ta namen opravljamo naslednje tehnološke operacije:

- razmaščevanje,
- čiščenje,
- razpraševanje,
- predhodna zaščita.

Čiščenje običajno opravimo z naslednjimi postopki:

- s curkom abraziva,
- s plamenom,
- s kemičnimi sredstvi,
- strojno čiščenje,
- ročno čiščenje.

Za predhodno zaščito jeklenih površin uporabljamo:

- »wash – primer«,
- sredstvo za izpiranje površin,
- »etch – primer«.

Korozijsko zaščito dosegamo:

- s premaznimi sredstvi,
- z vročim cinkanjem,
- z metalizacijo,
- s katodno zaščito.

Debelina in število premazov ter vrsta zaščite je odvisna predvsem od razmer, ki jim je jeklena konstrukcija izpostavljena. Te pa so različne za:

- okolice z normalnimi atmosferskimi razmerami,
- okolice z industrijskimi atmosferskimi razmerami,
- okolice s primorskimi atmosferskimi razmerami,
- okolice s skrajno agresivnimi atmosferskimi razmerami,
- za konstrukcije, ki ležijo v vodi,
- za konstrukcije, ki so vkopane v zemlji,
- za konstrukcije in jeklene dele, ki so v dotiku z drugim gradbenim materialom.

### 4.0. KONČNO POROČILO S STROKOVNIM MNENJEM

Institucija, ki je pooblaščenca za izdelavo končnega poročila s strokovnim mnenjem na podlagi izvajanja superkontrole kakovosti izdelave, mora od izvajalca dobiti v pregled naslednjo dokumentacijo:

- Glavni projekt – PGD z vsemi morebitnimi spremembami in dopolnitvami
- Izvedbeni projekt PZI

- Plan montaže
- Ateste osnovnega, veznega in dodatnega materiala
- Geodetske meritve izvajanja montažnih del
- Potrdilo o protikorozijskem premazu
- Montažni dnevnik in dnevnik izdelave v delavnici z delavniškimi protokoli
- Zapisnik o končnem pregledu montažnih del.

Končno poročilo mora vsebovati navedbo vseh elaboratov – projektov, predpisov in standardov, na podlagi katerih se je objekt gradil in na njem vršila superkontrola izvedbe del. Končno poročilo mora obvezno vsebovati nedvoumen sklep, ali je objekt oziroma jeklena konstrukcija na podlagi

celotne tehnične izvedbe ob upoštevanju naštetih predpisov sposobna prevzeti varno projektirane obtežbe.

#### 5.0. SKLEP

Sistemsko zagotavljanje kakovosti izdelave in montaže jeklenih konstrukcij je nujen proces iz gospodarskega in tehnično-strokovnega vidika. Le z doslednim upoštevanjem vseh predpisov na področju zagotavljanja kakovosti v vseh fazah nastajanja projekta oziroma objekta bomo lahko zagotovili varne objekte in objekte, ki bodo z dolgo funkcionalo življenjsko dobo opravičili velika finančna vlaganja.

#### LITERATURA

1. Veljavni JUS standardi, pravilniki in tehnični predpisi s področja jeklenih konstrukcij.
2. Čelične konstrukcije – 1972. Iz. časopis Izgradnja.
3. Bojan Poljšak: Sistemsko zagotavljanje kakovosti izdelave in montaže jeklenih nosilnih konstrukcij v DO specializiranih za izdelavo in montažo objektov v jekleni izvedbi (naloga za strokovni izpit, 1986).
4. Zbornik del: ORKOM – III, Karlovac 1987.
5. Zbornik del: ORKOM – IV, Bled 1988.

## METODE VREDNOTENJA SREDNJIH PRETOČNIH HITROSTI VODE V NARAVNIH VODOTOKIH

UDK 627.133:532.57

MATJAŽ MIKOŠ

#### POVZETEK

Obravnavane so nekatere metode vrednotenja srednjih pretočnih hitrosti voda v naravnih vodotokih, ki so uporabne za račun stalnega enakomernega turbulentnega toka v hidravlično hrapavem režimu. Za osnovni parameter uporabnosti posamezne metode je vzeta velikost relativne hrapavosti. Izbranih je 14 metod, podani so: enačba, opis parametrov, področje originalnih raziskav in področje uporabe (Preglednica 1). Uporabo teh metod prikazuje primerjalni izračun na dveh odsekih: Savi Dolinki (Preglednica 2) in hudourniku Smeč (Preglednica 3).

#### METHODS FOR EVALUATING AVERAGE FLOW VELOCITIES IN NATURAL STREAMS

#### SUMMARY

Those methods for evaluating average flow velocities in natural streams are concerned, which are especially useful for steady uniform rough turbulent flow. Relative roughness is taken as a basic determining parameter for usefulness of certain method. 14 methods are chosen and given are: equation, description of parameters, original research work and interval of use (Figure 1). Use of these methods are shown with comparing calculation on two reaches: Sava River (Figure 2) and Smeč Torrent (Figure 3).

Avtor:

\* Mag. Matjaž Mikoš, dipl. inž. gradb., Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, Hajdrihova 28

Opis gibanja voda in plavin v strugah prodonosnih vodotokov je zelo zapleten. Tok sicer ima prevladujočo smer gibanja, vendar so prisotni sekundarni tokovi in je zato tok v splošnem tridimenzionalen. Matematično je ta fizikalni pojav opisan z diferencialnimi enačbami.

Možnosti vrednotenja pretočnih hitrosti vode s pomočjo matematičnih modelov (reševanje matematičnih enačb toka), temelječih na modelih turbulence (dvo- ali tridimenzionalni modeli), so v tem prispevku izpuščene. Analiza se omejuje na enostavnejše metode, ki so bolj praktične in hitro uporabne v vsakdanji inženirsko-tehnični praksi.

Tako se običajno tok vode s prosto gladino v naravnih strugah opisuje z enostavnejšimi metodami. To še posebej velja za poseben primer toka: **stalni enakomerni tok**, ki je dejansko v naravi le redek pojav, a se pogosto jemlje kot zadosti natančna aproksimacija dejanskih pretočnih razmer.

Večina inženirskih problemov v odprtih naravnih strugah je povezana s **turbulentnim tokom** v hidravlično hrapavem in tudi prehodnem režimu. Upor stalnemu enakomernemu turbulentnemu toku v strugah vodotokov se najpogosteje izraža s koeficienti trenja:

- brezdimenzionalnim Darcy-Weisbachovim »f«
- dimenzionalnim Manningovim »n« (Chezyjevim »C«)

pri čemer veljajo naslednje povezave:

$$l_f = f V_w^2 / (8 R_w g) \rightarrow f = (8 R_w g l_f) / V_w^2$$

$$C = (8 g / f)^{1/2} = n^{-1} R_w^{1/6}$$

$$n = C^{-1} R_w^{1/6} = (8 g / f)^{-1/2} R_w^{1/6} \rightarrow (8 / f)^{1/2} = C / g^{1/2}$$

Pri tem je bistvenega pomena, ali je dno struge vodotoka stabilno ali gibljivo. Večina metod za določanje upora toku vode je bila razvitih za primere **stabilnega dna** in le redke za primere **giblivega dna**.

Obenem je tudi pomembno, za kateri **režim toka** (hidravlično gladek, prehodni ali hrapavi) velja posamezna metoda. Tako je v hidravlično hrapavem režimu upor toku vode le  $f(R_w/k_0)$ , v prehodnem režimu pa  $f(Re, R_w/k_0)$ .

Za dodatno ocenitev uporabnosti posamezne metode je torej pomembna **relativna hrapavost** » $R_w/k_0$ «:

- $R_w/k_0 < 4$  velika relativna hrapavost
- $4 < R_w/k_0 < 15$  srednja relativna hrapavost
- $R_w/k_0 > 15$  majhna relativna hrapavost

V tokovih z veliko relativno hrapavostjo zavzemajo elementi hrapavosti velik del pretočnega profila ali celo prodirajo skozi vodni tok. Za take tokove se bolj pogosto uporablja **relativna potopljenost** » $k_0/R_w$ «:

$k_0/R_w > 0.25$  velika relativna hrapavost (> 25 % globine vodnega toka zavzemajo elementi hrapavosti).

Relativna potopljenost lahko preseže vrednost »1« – element hrapavosti prodira skozi vodni tok.

Pravilno in predvsem dovolj natančno vrednotenje pretočnih hitrosti je izredno pomembno. Stabilnost dna in zmogljivost vodotoka za premeščanje plavin sta npr. neposredno odvisna od velikosti in trajanja pretočnih hitrosti. Tako je npr. sekundna specifična premestitvena zmogljivost vodotoka odvisna od velikosti pretočnih hitrosti voda

na eksponent 3 do 6 (Simons). Napaka pri vrednotenju pretočnih hitrosti voda za faktor 1.1 (2) vodi do napake pri vrednotenju sekundne specifične premestitvene zmogljivosti za faktor 1.3 do 1.8 (8 do 64). S tako napako je seveda (popolnoma) ogrožena zasnova ureditve vodotoka, stabilnost vodnogospodarskih in drugih objektov, življenjska doba zadrževalnikov voda in plavin oziroma povzročena velika škoda zaradi negospodarskega urejanja.

V tem prispevku so prikazane nekatere klasične in tudi modernejše metode vrednotenja pretočnih hitrosti voda v hidravlično hrapavem režimu – s posebnim poudarkom na tistih metodah, ki so uporabne v strmih prodnatih vodotokih. Obsežnejših pregled klasičnih metod, razvitih do leta 1960, je podan v (Task Force Committee) in pregled modernejših metod, razvitih do leta 1982 v (Bathurst 1982).

Ena od zahtev prakse je gotovo optimalno razmerje med natančnostjo (zahtevnostjo), uporabnostjo in stroški te metode. Na določitev takega razmerja delujejo tudi vhodni podatki (možnost in cena njihove pridobitve): parametri geometrije struge, rinjenih plavin v dnu struge in posteljice struge (krovnega sloja). Tako lahko ugotovimo, da v strmih prodnatih vodotokih in ob velikih pretokih težko uporabljamo klasične laboratorijske metode (npr.: hidrometrično krilo). V praksi se moramo velikokrat zadovoljiti le z grobimi (približnimi) osnovnimi podatki o strugi in plavinah v njej ter na osnovi le-teh vrednotiti pretočne hitrosti voda.

Najbolj sporen parameter, ki v precejšnji meri onemogoča neposredno primerjavo raznih metod, je upoštevanje značilnosti prodnatega materiala – plavin v strugi. Avtorji jemljejo kot primerjalno vrednost za določitev hrapavosti različna »**odločilna**« zrna. Problem predstavlja, kako je bila ta vrednost pridobljena in izvrednotena iz zrnastostno zelo heterogenih prodnatih plavin.

Vseeno lahko na enem mestu povzamemo uporabnost posameznih metod glede na osnovni ločitveni parameter uporabe – velikost relativne hrapavosti – pomembnega kazalca pretočnih razmer:

1. Za majhno relativno hrapavost ( $R_w/k_0 > 15$ ) so primerne metode, ki v vertikali predpostavljajo logaritmico razporeditev hitrosti. So zadosti enostavne za praktično uporabo in obenem dobro opisujejo dejanske pretočne razmere. Sem sodijo logaritmico obrazci in njihove aproksimacije – potenčni obrazci:

- 1.1. Manning-Stricklerjev obrazec
- 1.2. Keuleganov obrazec
- 1.3. Brettingove enačbe
- 1.4. obrazec Gončarova

2. Za srednjo ( $4 < R_w/k_0 < 15$ ) in veliko ( $R_w/k_0 < 4$ ) relativno hrapavost je potrebno bistveno spremeniti upoštevanje hrapavosti v izrazu za pretočno hitrost. Slika toka se namreč precej spremeni, vertikalna razporeditev hitrosti vode ne sledi več logaritmico zakonu, temveč so npr. v širokih in strmih vodotokih z grobimi prodniki in posameznimi samicami v dnu struge hitrosti ob površini

večje in ob dnu manjše kot po logaritmičnemu zakonu – bolj oblike črke »S«. Vse bolj pomembna je tudi vzdolžna razmaknjenost posameznih hrap. Te vplive so avtorji reševali v naslednjih smereh:

**2.1.** Prva možnost upošteva korekcijo potenčnega (Manningovega) obrazca, ki po svoji strukturi ustreza stalnemu enakomernemu toku in majhni relativni hrapavosti, vendar se vseeno pogosto uporablja tudi pri spreminjajočih se hidravličnih razmerah. Če se uporablja v okviru preverjenih (tabeliranih) podatkov o geometriji struge, lahko vseeno zagotavlja uporabne rezultate. Pri tem zahteva taka uporaba precej izkušeni navkljub obsežnim navodilom (**Bray, Carter, Chow, Garbrecht in Limerinos**).

Problem nastopi s tem, da izberemo eno vrednost koeficienta trenja za vse možne vodostaje. To je pri majhni relativni hrapavosti še lahko dobra aproksimacija, pri srednji in predvsem pri veliki relativni hrapavosti pa ne več, ker se hrapavost struge s spreminjanjem vodostaja občutno spreminja. Sicer tudi za vodotoke z večjimi padci dna in veliko hrapavostjo struge obstajajo tabelarični podatki za izbor koeficienta trenja, vendar moramo biti previdni pri njihovi uporabi, saj temeljijo na omejenem številu preverjenih terenskih podatkov o hrapavosti in ne ponujajo enostavnih metod za vrednotenje sprememb hrapavosti v odvisnosti od pretočne globine vode:

- eni avtorji v hidravlično hrapavem režimu uvajajo vplive hrapavosti tako, da spreminjajo eksponent pri hidravličnem radiju, in sicer na osnovi meritev (**Ryabov**);
- drugi avtorji ohranijo obliko potenčnega obrazca in na osnovi terenskih meritev določajo tabelo za izbor koeficienta trenja (**Jarrett**).

**2.2.** Druga možnost upošteva korekcijo logaritmičnega obrazca, in sicer na osnovi vse večjih energijskih izgub, ki jih povzročajo v vodni tok štrleča zrna plavin (**Thompson in Campbell, Hey, Jaeggi, Smart in Jaeggi, VGI – Pintar**).

**2.3.** Tretja možnost temelji na režimski teoriji, ki predstavlja alternativo metodam, izpeljanim iz teorije dinamike turbulentnega toka. Režimska teorija sloni na terenskih meritvah hidravličnih in geometrijskih značilnosti naravnih vodotokov, ki jih nato s pomočjo večkratne regresije izrazi v medsebojni odvisnosti. Posebej pomembno pri njihovi uporabi je, da ne uporabimo nepreverjenih, neposredno iz meritev izpeljanih obrazcev, temveč smisel metode same:

- posebej primerna je ta metoda za strme vodotoke z značilno obliko skok – tolmun. Ti vodotoki oblikujejo svoj tok v lastnih prodnatih nanosih – za njih je značilno stabilno dno s prečnimi ustalitvenimi pragovi. Zrna se razvrščajo intenzivno, zato je določanje hrapavosti na istih osnovah kot pri majhni hrapavosti praktično nemogoče. V takih vodotokih je tudi praktično nemogoče definirati klasične parametre prečnih profilov. Zato je primerjava dejanskih pretočnih razmer s stalnim enakomernim tokom nesmiselna (**Kellerhals in Day, Ruf**);
- več metod obstaja za pravilnejšo obliko struge vodotokov (**Jarrett**).

**2.4.** Zadnja (obravnavana) možnost uporabi fizikalne zakonitosti turbulentnega toka v hidravlično hrapavem režimu (**Bathurst**).

Navedene metode prikazuje priložena:

Preglednica 1: »Pregled metod vrednotenja srednjih pretočnih hitrosti voda v naravnih vodotokih«, njihovo konkretno uporabo pa medsebojna primerjava izračunov, opravljenih na 2 različnih odsekih, priložena v: Preglednici 2 oziroma 3: »Po izbranih metodah opravljen primerjalni izračun srednjih pretočnih hitrosti voda«.

#### Oznake:

$B_D$	– širina dna struge vodotoka (m)
$B_w$	– širina površine vodnega toka (m)
$b_{50}$	– številčna 50-odstotna dolžina, prečno na vodni tok merjene osi skeletnih zrn (m)
$\Delta$	– višina ovir v vodnem toku (m)
$d_{Ap^{**}}$	– težnostno skeletno zrno posteljice dna (m)
$d_{Aq^{**}}$	– številčno skeletno zrno posteljice dna (m)
$d_{Vn}$	– prostorninsko n-odstotno zrno rinjenih plavin (m)
$f_w$	– površina prečnega prereza ( $m^2$ ), ki ga zavzema vodni tok
$g$	– pospešek sile teže ( $9,81 m/s^2$ )
$h_n$	– številčna n-odstotna dolžina najkrajše osi skeletnih zrn (m)
$h_w$	– srednja pretočna globina vode (m)
$l_D$	– padec dna struge vodotoka (–)
$l_e$	– energetski padec (–)
$l_f$	– padec trenja (–)
$l_w$	– padec vodne gladine (–)
$k_o$	– nadomestna enakomerna hrapavost (m)
$k_s$	– nadomestna peščena hrapavost – po Nikuradseju (m)
$Q_w$	– pretok vode ( $m^3/s$ )
$R_w$	– hidravlični radij (m)
$Re$	– Reynoldsovo število (–)
$V_w$	– srednja pretočna hitrost vode (m/s)
$v_*$	– strižna hitrost (m/s) $v_* = (g R_w l_e)^{1/2}$
$Z_{90}$	– relativna hrapavost (–)
$[X]$	– velikostni razred obravnavane količine »x« (–)

PREGLED METOD VREDNOTENJA SREDNJIH PRETOČNIH HITROSTI VODA V NARAVNIH VODOTOKIH – HIDRAVLIČNO HRAPAV REŽIM			
ŠT.	METODA	ENAČBA IN OPIS PARAMETROV (glej tudi oznake)	PODROČJE ORIGINALNIH RAZISKAV IN UPORABE
1.	MANNING-STRICKLER (1891,1923)	$V_w = n^{-1} R_w^{2/3} I_e^{1/2}$ oz. $V_w = k_{st} R_w^{2/3} I_e^{1/2}$ $k_{st} = 26/d_{v90}$ (m) ... Stricklerjev koeficient trenja v prodonosnih vodotokih (-) $n$ ... Manningov koeficient trenja (-)	hrapavost: gladek beton / grobi prod (200 mm) $R_w = 0.037/7.14$ m, $I_e = 0.00004/0.02500$ interval uporabe po različnih avtorjih: (Kradolfer): $5 < R_w/k_s \leq 340$ in $I_w \geq 0.00001$ (Gončarov): $10 < R_w/\Delta < 1000$ (Kellerhals): $7 < R_w/\Delta < 130$ (Jaeggi): $20 < R_w/d_{v90} < 100$
2.	KEULEGAN (1938)	$V_w/v_* = 5.75 \log(12.27 R_w/k_s)$ $k_s = d_{v90}$ ... enakomerna peščena hrapavost – po Nikuradseju (m) – v prodnatih vodotokih	meritve na trapeznem koritu – aplikacija von Karmanovega »univerzalnega zakona razporeditve hitrosti« interval uporabe: majhna relativna hrapavost
3.	BRETTING (1948)	L – enačba: $L = 19.3/k_s^{1/3}$ $V_w = L R_w^{5/6} I_e^{1/2}$ oz. $V_w/v_* \approx 6.2 (R_w/k_s)^{1/3}$ M – enačba: $M = 25.4/k_s^{1/6}$ $V_w = M R_w^{2/3} I_e^{1/2}$ oz. $V_w/v_* \approx 8.1 (R_w/k_s)^{1/6}$ N – enačba: $N = 41/k_s^{1/12}$ $V_w = N R_w^{7/12} I_e^{1/2}$ oz. $V_w/v_* \approx 13.1 (R_w/k_s)^{1/12}$	aproksimacija Keuleganovega logaritmičnega obrazca s poligonalno črto interval uporabe: L – enačba: $0.7 < R_w/k_s \leq 5$ M – enačba: $5 < R_w/k_s \leq 340$ N – enačba: $340 < R_w/k_s < 5.6 \cdot 10^5$
4.	GONČAROV (1962)	$V_w = 4 (2 g R_w I_e)^{1/2} \log(6.15 R_w/\Delta)$ $V_w/v_* = 4 \cdot 2^{1/2} \log(6.15 R_w/\Delta)$ $\Delta = d_{v90}/2$ ... višina ovir v vodnem toku (m) – v prodonosnih vodotokih $\Delta = (22.2 n)^6$ ... primerjava z Manningovim koeficientom trenja »n« (-) $V_w/v_* \approx 7.1 (R_w/\Delta)^{1/6}$ $10 < R_w/\Delta < 1000$ $V_w/v_* \approx 9 (R_w/\Delta)^{1/8}$ $100 < R_w/\Delta < 4500$	ravninski turbulentni tok interval uporabe: majhna relativna hrapavost
5.	RYABOV (1974)	$V_w = n^{-1} R_w^{\alpha} I_e^{1/2}$ $n = 0.0235 + 0.073 d_{v50}$ (m) $\alpha = 0.5 + 6.92 n^{1/2} - 0.865 - 0.75 R_w^{1/2} (n^{1/2} - 0.1)$ $V_w/v_* \approx 3.6 R_w/d_{v50}$ $0.2 \leq R_w/d_{v50} \leq 1.0$ $V_w/v_* \approx 3.6 (R_w/d_{v50})^{0.7}$ $1.0 \leq R_w/d_{v50} \leq 2.0$ $V_w/v_* \approx 4.3 (R_w/d_{v50})^{0.45}$ $2.0 \leq R_w/d_{v50} \leq 4.0$	odseki naravnih vodotokov s stabilnim dnom interval uporabe: $0.15 \text{ m} \leq R_w \leq 2.0 \text{ m}$ $0.0275 \leq n \leq 0.100$
6.	JARRETT (1984)	$V_w = 3.11 R_w^{0.83} I_D^{0.12}$ $n = 0.32 R_w^{-0.16} I_D^{0.38}$ $I_D$ ... padec dna struge (-) $B_D$ ... širina dna struge (m)	odseki naravnih vodotokov (ravni, enakomerni, vodna gladina povezana, stabilno dno, minimalna vegetacija na brežinah): $d_{v16} = 0.02 - 0.12$ m $d_{v90} = 0.09 - 0.98$ m $B_D = 6.7 - 51.8$ m $I_D = 0.002 - 0.039$ $R_w = 0.15 - 2.1$ m interval uporabe: strmi naravni vodotoki, stabilno dno (prod, samice) in brežine (minimalna vegetacija) brez vpliva zajezb in z malo lebdečimi plavinami
7.	THOMPSON-CAMPBELL (1979)	$V_w/v_* = 8^{1/2} (1 - 0.1 k_s/R_w) 2 \log(12 R_w/k_s)$ $k_s = 4.5 d_{v50}$ ... enakomerna peščena hrapavost – po Nikuradseju (m) – v širokih tokovih z veliko hrapavostjo	meritve na strmem naravnem odprtem kanalu: padec dna 0.052, širok 41 m, dolg 308 m, dno iz nevezanih samic, pretoki voda do 140 m <sup>3</sup> /s interval uporabe: široki tokovi z veliko relativno hrapavostjo – zavzema pomemben delež pretočne globine
8.	HEY (1979)	$V_w/v_* = 5.75 \log(12.27 R_w/k_s)$ $k_s = 3.5 d_{v84}$ ... enakomerna peščena hrapavost – po Nikuradseju (m) – v prodnatih vodotokih	korekcija Keuleganovega logaritmičnega obrazca interval uporabe: naravni prodnati vodotoki s srednjo relativno hrapavostjo: $R_w/d_{v90} < 20$

ŠT.	METODA	ENAČBA IN OPIS PARAMETROV (glej tudi oznake)	PODROČJE ORIGINALNIH RAZISKAV IN UPORABE
9.	JAEGGI (1983)	$V_w/v_* = 2.5 (1 - e^{(-0.02 Z_{90}/l_D^{0.5})})^{0.5} \ln (6.1 Z_{90})$ $Z_{90} = R_w/d_{v90} \dots$ relativna hrapavost (-) $l_D \dots$ padec dna struge (-)	laboratorijske raziskave: $l_D = 0.002 - 0.012$ in $3 < Z_{90} < 30$ interval uporabe: naravni prodnati vodotoki srednje relativne hrapavosti: $5 < Z_{90} < 20$
10.	SMART-JAEGGI (1983)	$V_w = 2.5 (g h_{wm} l_D)^{1/2} (1 - e^{(-0.05 Z_{90}/l_D^{0.5})})^{0.5} \ln (8.2 Z_{90})$ $Z_{90} = R_w/d_{v90} \dots$ relativna hrapavost (-) $V_w \dots$ hitrost čiste vode (brez lebdečih plavin) (m/s) $h_{wm} \dots$ globina toka mešanice vode in proda (m) račun pretočne hitrosti se izvrši v iterativnem postopku skupaj z računom premestitvene zmogljivosti – glej (Jaeggi), v približku » $h_{wm}$ « nadomestimo z » $R_w$ « in ne upoštevamo transporta plavin.	laboratorijske raziskave premestitvene zmogljivosti strmih prodonosnih vodotokov – meritve v žlebu s pomičnim dnem in neomejenim dotokom plavin (vpliv lebdečih plavin ni upoštevan): $l_D = 0.03 - 0.25$ $d_{v90}/d_{v30} < 8.5$ interval uporabe: strmi prodonosni vodotoki srednje relativne hrapavosti: $0.006 < l_D < 0.20$ $3 < Z_{90} < 10$
11.	VGI (1984)	$V_w/v_* = 5.75 \log (6 R_w/k_s) (1 - (0.4 l_w k_s/R_w)^{0.4})$ $k_s = d_{v90} \dots$ enakomerna peščena hrapavost – po Nikuradseju (m) – v prodonosnih vodotokih	Manningov koeficient trenja » $n$ « izražen s pripadajočo relativno hrapavostjo in na osnovi dolgoletnih opazovanj definirani vplivi razpenjenosti interval uporabe: strmi naravni prodnati vodotoki s srednjo relativno hrapavostjo: $l_D < 0.20$ $5 < R_w/k_s < 50$
12.	KELLER-HALS-DAY (1973)	$a = 0.900 B_w^{0.472}$ $b = 0.252 B_w^{0.137} l_{doline}^{-0.0882}$ $V_w = f_w^{(1/b-1)} a^{(-1/b)}$ $f_w \dots$ površina pretočnega prereza struge (m <sup>2</sup> ) $B_w \dots$ širina površine vodnega toka (m) $l_{doline} \dots$ padec dna doline, po kateri teče vodotok (-)	terenske meritve strmih vodotokov oblike skok – tolmun, ki sami izoblikujejo v nanešenih naplavinah svojo strugo in v splošnem ne premikajo dna, razen v primeru izredno visokih voda. interval uporabe: $l_D < 0.15$ $[k_s] = [B_w]$
13.	RUF (1988)	$V_w = 1.22 Q_w^{0.51} d_{v70}^{-0.51} l_D^{0.5} \approx 1.23 (Q_w l_D d_{v70}^{-1})^{1/2}$ $V_w \approx 1.51 f_w l_D d_{v70}^{-1}$ $l_D \dots$ padec dna struge (-) $Q_w \dots$ pretok vode (m <sup>3</sup> /s) skozi prerez $f_w$ (m <sup>2</sup> )	terenske meritve pretočnih hitrosti v nereguliranih vodotokih stabilnega dna s pomočjo soli: dolžine odsekov 175 – 1125 m, $d_{v90} = 0.35 - 1.85$ m pretoki voda $Q_w = 0.002 - 3.5$ m <sup>3</sup> /s, $l_D = 0.09 - 0.48$ interval uporabe: velika relativna hrapavost
14.	BATHURST a) (1978)	$V_w/v_* = (R_w/(0.365 d_{v84}))^{2.34} (B_w/h_w)^7 (\lambda - 0.08)$ $\lambda = 0.139 \log (1.91 d_{v84}/R_w) \dots$ zgoščenost hrapavosti $\lambda$ dna struge (-) $B_w \dots$ širina površine vodnega toka (m) $h_w \dots$ srednja pretočna globina vodnega toka (m)	terenske meritve naravnih vodotokov: $l_D = 0.004 - 0.100$ $n = 0.04 - 0.2$ $[B_D] > [d_{v84}] = [h_w]$ interval uporabe: naravne struge s samicami $R_w/d_{v84} < 1.2$
	b) BATHURST (1979)	$V_w/v_* = (1.842 (B_w/d_{v84}) \log (R_w/(1.2 d_{v84})) + 14.66) / (B_w/h_w)^7 (\lambda - 0.08)$ $\lambda = 0.139 \log (1.91 d_{v84}/R_w) \dots$ zgoščenost hrapavosti (-)	dodatne terenske, laboratorijske meritve k že prej opravljenim meritvam interval uporabnosti: naravne struge s samicami $1.2 < R_w/d_{v84} < 4$
	c) BATHURST (1982)	$\sigma = \log (h_{84}/h_{50})$ $\beta = 0.684 \sigma^{-0.134}$ $\sigma \dots$ standardna deviacija zrnivosti plavin v dnu struge (-) $h_n \dots$ po številu iz vrednotena krajša os n % – nega zrna (m) $b = (1.175 (b_{50}/B_w)^{0.557} (h_w/h_{50}))^\beta \dots$ funkcija efektivne zgoščenost hrapavosti dna struge (-) $\alpha = 1.025 (B_w/b_{50})^{0.118}$ $b_{50} \dots$ po številu iz vrednotena, prečno na vodni tok merjena os 50 % zrna (m) $B_w \dots$ širina površine vodnega toka (m) $h_w \dots$ srednja pretočna globina vode (m) $Fr \dots$ Froudovo število (-) $V_w/v_* = (0.28 Fr/b)^{\log(0.755/b)} (13.4 (B_w/b_{50})^{0.492} b^\alpha) / (B_w/h_w)^b$	teoretična zasnova računa upora toka vode pri veliki relativni hrapavosti: elementi hrapavosti povzročajo upor oblike in upor zaradi deformacije vodne gladine (vodni skok) – oba vpliva sta izražena s pomočjo geometrije hrapavosti dna in geometrije struge same – opravljene meritve v laboratorijskem žlebu s stabilnim dnem interval uporabe: hrapave struge z gosto zloženimi elementi hrapavosti približno poleiptične prečne oblike in neenakomerne zrnivosti: $0.559 < h_{50}/d_{50} < 0.728$ $0.047 < \sigma < 0.187$ $0.41 < h_w/h_{50} < 12.10$ $0.1 < b < 1.0$ $13 < B_w/h_w < 153$ $0.02 < l_f < 0.08$ $0.19 < Fr < 1.93$ $10^3 < Re < 4.4 \cdot 10^4$ $1.29 < (8/f)^{1/2} < 7.47$

PO IZBRANIH METODAH OPRAVLJEN PRIMERJALNI IZRAČUN SREDNJIH PRETOČNIH HITROSTI VODA

ODSEK SAVE DOLINKE – pri Tekljevi brvi v Rutah (Gozd Martulk) – obnovitev pretočnih razmer pri vsakoletni visoki vodi (neznane pretoka) na podlagi vidnih posledic – dolžina odseka 111 m, izmerjenih 7 prečnih profilov in določene povprečne vrednosti:

– parametrov geometrije struge:  $f_w = 11.2 \text{ m}^2$ ,  $B_w = 13 \text{ m}$ ,  $v_* = 0.234 \text{ m/s}$   
 – parametrov rinjenih plavin:  $R_w = 0.81 \text{ m}$ ,  $l_w = 0.0069$   
 $d_{v90} = 0.075 \text{ m}$ ,  $d_{v84} = 0.057 \text{ m}$ ,  $d_{v70} = 0.033 \text{ m}$   
 – parametrov posteljske struge:  $d_{Ap**} = 0.152 \text{ m}$ ,  $d_{Aq**} = 0.123 \text{ m}$   
 $h_{50} = 0.086 \text{ m}$ ,  $h_{84} = 0.106 \text{ m}$   
 $b_{50} = 0.166 \text{ m}$

ŠT.	METODA	PRIMERJALNI IZRAČUN	n	V <sub>w</sub> (m/s)	V <sub>w</sub> /v <sub>*</sub>	OPOMBE
1.	MANNING-STRICKLER	$k_{st} = 26/d_{v90}^{1/6} = n^{-1} = 40$ $V_w = k_{st} R_w^{2/3} l_w^{1/2}$	0.025	2.89	12.33	
2.	KEULEGAN	$k_s = d_{v90} = 0.075 \text{ m}$ $V_w/v_* = 5.75 \log(12.27 R_w/k_s)$	0.025	2.86	12.22	$R_w/d_{v90} = 10.87 < 20$
3.	BRETTING	$k_s = d_{v90} = 0.075 \text{ m}$ $M = 25.4/k_s^{1/6} = 39.16$ $V_w = M R_w^{2/3} l_w^{1/2} = 2.83 \text{ m/s}$	0.026	2.83	12.08	srednja relativna hrapavost realna vrednost V <sub>w</sub> precejena
4.	GONČAROV	$\Delta = d_{v90}/2 = 0.037 \text{ m}$ $V_w/v_* = 2^{1/2} 4 \log(6.15 R_w/\Delta)$	0.026	2.82	12.03	
5.	RYABOV	$n = 0.0235 + 0.073 d_{Aq**} = 0.032$ $\alpha = 0.5 + 6.92 n^{1/2} - 0.865 - 0.75 R_w^{1/2} (n^{1/2} - 0.1)$ $V_w = n^{-1} R_w^{0.82} l_w^{0.5} = 2.18 \text{ m/s}$	0.032	2.18	9.33	$0.0275 < n = 0.032 < 0.100$ $0.15 \text{ m} < R_w = 0.81 < 2.0 \text{ m}$ realna vrednost V <sub>w</sub>
6.	JARRETT	$n = 0.32 R_w^{-0.16} l_w^{0.38} = 0.050$ $V_w = 3.11 R_w^{0.83} l_w^{0.12}$	0.050	1.44	6.14	$d_{v90} = 0.075 \text{ m} < 0.09 \text{ m}$ premalo groba sestava dna izven intervala uporabnosti
7.	THOMPSON-CAMPBELL	$k_s = 4.5 d_{Aq**} = 0.554 \text{ m}$ $V_w/v_* = 8^{1/2} (1 - 0.1 k_s/R_w) 2 \log(12 R_w/k_s) = 6.56$	0.047	1.53	6.56	$l_w = 0.0069 \ll 0.052 \text{ m}$ hrapavost ni zadosti velika izven intervala uporabnosti
8.	HEY	$k_s = 3.5 d_{v84} = 0.2 \text{ m}$ $V_w/v_* = 5.75 \log(12.27 R_w/k_s)$	0.032	2.28	9.76	$R_w/d_{v90} = 10.87 < 20$ realna vrednost V <sub>w</sub>
9.	JAEGGI	$Z_{90} = R_w/d_{v90} = 10.87$ $V_w/v_* = 2.5 (1 - e^{-(0.02 Z_{90}/l_w^{0.5})})^{0.5} \ln(6.1 Z_{90}) = 10.10$	0.031	2.36	10.10	$5 < Z_{90} = 10.87 < 20$ realna vrednost V <sub>w</sub>
10.	SMART-JAEGGI	$Z_{90} = R_w/d_{v90} = 10.87$ $h_{wm} \approx R_w$ $V_w = 2.5 (g R_w l_w)^{1/2} (1 - e^{-(0.05 Z_{90}/l_w^{0.5})})^{0.5} \ln(8.2 Z_{90})$	0.027	2.63	11.23	$Z_{90} > 10$ $l_w = 0.0069$ na meji intervala uporabnosti rahlo preceni vrednost V <sub>w</sub>
11.	VGI	$k_s = d_{v90} = 0.075 \text{ m}$ $V_w/v_* = 5.75 \log(6 R_w/k_s) (1 - (0.4 l_w k_s/R_w)^{0.4}) = 10.05$	0.031	2.35	10.05	realna vrednost V <sub>w</sub>
12.	KELLERHALS-DAY	$a = 0.900 B_w^{0.472} = 3.02$ $b = 0.252 B_w^{0.137} l_w^{0.0882} = 0.539$ $V_w = f_w^{(1/b-1)} a^{(-1/b)}$	0.071	1.01	4.32	$B_w = 13 \text{ m} \gg d_{Ap**} = 0.152 \text{ m}$ režimska enačba, ki v širokih tokovih podceni vrednost V <sub>w</sub>
13.	RUF	$V_w = 1.51 f_w l_w d_{v70}^1 = 3.54 \text{ m/s}$	0.020	3.54	15.11	$l_w = 0.0069 \ll 0.09$ $d_{v90} = 0.075 \text{ m} \ll 0.35 \text{ m}$ zunaj intervala uporabnosti
14.	BATHURST	$\lambda = 0.139 \log(1.91 d_{v84}/R_w) = -0.121$ $V_w/v_* = (R_w/(0.365 d_{v84}))^{2.34} (B_w/h_w)^7 (\lambda^{-0.08}) = 105.68$	0.003	24.73	105.68	$R_w/d_{v84} = 14.21 \gg 1.2$ zunaj intervala uporabnosti
	a)					
	b)	$\lambda = 0.139 \log(1.91 d_{v84}/R_w) = -0.121$ $V_w/v_* = (1.842 B_w/d_{v84} \log(R_w/(1.2 d_{v84})) + 14.66) (B_w/h_w)^7 (\lambda^{-0.08}) = 9.35$	0.033	2.19	9.35	$R_w/d_{v84} = 14.21 \gg 4$ zunaj intervala uporabnosti
	c)					
	(1982)	$\sigma = \log(h_{84}/h_{50}) = 0.091$ $\beta = 0.648 \sigma^{-0.134} = 0.894$ $h_w \approx R_w$ $b = (1.175 (b_{50}/B_w)^{0.557} (h_w/h_{50}))^{0.894} = 0.978$ $\alpha = 1.025 (B_w/b_{50})^{0.118} = 1.71$ $\gamma = (B_w/h_w)^{-b}$ $V_w/v_* = (0.28 Fr/b)^{\log(0.755/b)} (13.4 (B_w/b_{50})^{0.492} b^\alpha) \gamma$ korakoma: $V_{w1} = 3.0 \text{ m/s} \rightarrow V_{w2} = 1.95 \text{ m/s}$ končni rezultat: $V_w/v_* = 8.71$ $V_w = 2.04 \text{ m/s}$ $Fr = 0.72$	0.035	2.04	8.71	$b = 0.978 > 0.755$ srednja relativna hrapavost na meji intervala uporabnosti $V_w/v_* = 8.71 > 7.47$ $l_w = 0.0069 \ll 0.02$ zunaj intervala uporabnosti

## PO IZBRANIH METODAH OPRAVLJEN PRIMERJALNI IZRAČUN SREDNJIH PRETOČNIH HITROSTI VODA

ODSEK HUDOURNIKA SMEČ – spodnji tok na Tratah v Rutah (Gozd Martulk) – obnovitev pretočnih razmer pri vsakoletni visoki vodi (neznanega pretoka) na podlagi vidnih posledic – dolžina odseka 24 m, izmerjenih 5 prečnih profilov in določene povprečne vrednosti:

– parametrov geometrije struge:

$$f_w = 0.59 \text{ m}^2$$

$$R_w = 0.23 \text{ m}$$

$$B_w = 2.4 \text{ m}$$

$$v_* = 0.297 \text{ m/s}$$

– parametrov rinjenih plavin:

$$d_{v90} = 0.083 \text{ m}$$

$$d_{v84} = 0.067 \text{ m}$$

$$d_{v70} = 0.041 \text{ m}$$

– parametrov posteljice struge:

$$d_{Ap^{**}} = 0.138 \text{ m}$$

$$d_{Aq^{**}} = 0.115 \text{ m}$$

$$h_{50} = 0.081 \text{ m}$$

$$h_{84} = 0.098 \text{ m}$$

$$b_{50} = 0.155 \text{ m}$$

ŠT.	METODA	PRIMERJALNI IZRAČUN	n	V <sub>w</sub> (m/s)	V <sub>w</sub> /v <sub>*</sub>	OPOMBE
1.	MANNING-STRICKLER	$k_{st} = 26/d_{v90}^{1/6} = n^{-1} = 39.4$ $V_w = k_{st} R_w^{2/3} I_w^{1/2}$	0.025	2.92	9.83	
2.	KEULEGAN	$k_s = d_{v90} = 0.083 \text{ m}$ $V_w/v_* = 5.75 \log(12.27 R_w k_s)$	0.028	2.62	8.82	$R_w/d_{v90} = 2.79 < 4$ velika relativna hrapavost zunaj intervala uporabnosti
3.	BRETTING	$k_s = d_{v90} = 0.083 \text{ m}$ $L = 19.3/k_s^{1/3} = 44.33$ $V_w = L R_w^{5/6} I_w^{1/2} = 2.57 \text{ m/s}$	0.023	2.57	8.66	
4.	GONČAROV	$\Delta = d_{v90}/2 = 0.041 \text{ m}$ $V_w/v_* = 2^{1/2} 4 \log(6.15 R_w/\Delta)$	0.026	2.58	8.68	
5.	RYABOV	$n = 0.0235 + 0.073 d_{Aq^{**}} = 0.032$ $= 0.5 + 6.92 n^{1/2} - 0.865 - 0.75 R_w^{1/2} (n^{1/2} - 0.1)$ $V_w = n^{-1} R_w^{0.845} I_w^{0.5} = 1.78 \text{ m/s}$	0.032	1.78	6.00	$0.0275 < n = 0.032 < 0.100$ $0.15 \text{ m} < R_w = 0.23 < 2.0 \text{ m}$ realna vrednost V <sub>w</sub>
6.	JARRETT	$n = 0.32 R_w^{0.16} I_w^{0.38} = 0.118$ $V_w = 3.11 R_w^{0.83} I_w^{0.12}$	0.118	0.62	2.10	$d_{v90} = 0.083 \text{ m} < 0.09 \text{ m}$ $B_w = 2.4 \text{ m} < 6.7 \text{ m}$ zunaj intervala uporabnosti
7.	THOMPSON-CAMPBELL	$k_s = 4.5 d_{Aq^{**}} = 0.518 \text{ m}$ $V_w/v_* = 8^{1/2} (1 - 0.1 k_s/R_w) 2 \log(12 R_w/k_s) = 3.19$	0.078	0.95	3.19	$I_w = 0.0039 < 0.052$ ni širok vodni tok zunaj intervala uporabnosti
8.	HEY	$k_s = 3.5 d_{v84} = 0.233 \text{ m}$ $V_w/v_* = 5.75 \log(12.27 R_w/k_s)$	0.040	1.85	6.23	$R_w/d_{v90} = 2.79 \ll 20$ zunaj intervala uporabnosti
9.	JAEGGI	$Z_{90} = R_w/d_{v90} = 2.79$ $V_w/v_* = 2.5 (1 - e^{(-0.02 Z_{90}/I_w^{0.5})})^{0.5} \ln(6.1 Z_{90}) = 3.51$	0.071	1.04	3.51	$Z_{90} = 2.79 < 5$ zunaj intervala uporabnosti
10.	SMART-JAEGGI	$Z_{90} = R_w/d_{v90} = 2.79$ $h_{wm} \approx R_w$ $V_w = 2.5 (g R_w I_w)^{1/2} (1 - e^{(-0.05 Z_{90}/I_w^{0.5})})^{0.5} \ln(8.2 Z_{90})$	0.045	1.65	5.56	$Z_{90} = 2.79 \approx 3$ na meji intervala uporabnosti
11.	VGI	$k_s = d_{v90} = 0.083 \text{ m}$ $V_w/v_* = 5.75 \log(6 R_w/k_s) (1 - (0.4 I_w k_s/R_w)^{0.4}) = 6.15$	0.041	1.83	6.15	$R_w/k_s = 2.79$ prevelika relativna hrapavost zunaj intervala uporabnosti
12.	KELLERHALS-DAY	$a = 0.900 B_w^{0.472} = 1.36$ $b = 0.252 B_w^{0.137} I_D^{-0.0882} = 0.371$ $V_w = f_w^{(1/b-1)} a^{(-1/b)}$	0.412	0.18	0.60	$B_w = 2.4 \text{ m} \gg d_{Ap^{**}} = 0.138 \text{ m}$ premajhen vodotok zunaj intervala uporabnosti
13.	RUF	$V_w = 1.51 f_w I_D d_{v70}^1 = 0.85 \text{ m/s}$	0.087	0.85	2.85	$I_D = 0.039 \ll 0.09$ $d_{v90} = 0.083 \text{ m} \ll 0.35 \text{ m}$ zunaj intervala uporabnosti
14.	BATHURST	$\lambda = 0.139 \log(1.91 d_{v84}/R_w) = -0.036$ $V_w/v_* = (R_w/(0.365 d_{v84}))^{2.34} (B_w/h_w)^{7(\lambda - 0.08)} = 28.80$	0.009	8.55	28.80	$R_w/d_{v84} = 3.46 \gg 1.2$ zunaj intervala uporabnosti
	a)					
	b)	$\lambda = 0.139 \log(1.91 d_{v84}/R_w) = -0.036$ $V_w/v_* = (1.842 B_w/d_{v84} \log(R_w/(1.2 d_{v84})) + 14.66) (B_w/h_w)^{7(\lambda - 0.08)} = 6.75$	0.037	2.01	6.75	$1.2 < R_w/d_{v84} = 3.46 < 4$ $h_w \approx R_w = 0.23 \text{ m} \approx d_{Ap^{**}}$ $n = 0.037 \approx 0.04$ $B_w = 2.4 \text{ m} \gg d_{Ap^{**}} = 0.138 \text{ m}$ na meji intervala uporabnosti
	c)					
	(1982)	$\sigma = \log(h_{84}/h_{50}) = 0.083$ $\beta = 0.648$ $^{-0.134} = 0.905$ $h_w \approx R_w$ $b = (1.175 (b_{50}/B_w)^{0.557} (h_w/h_{50}))^{0.905} = 0.748$ $\alpha = 1.025 (B_w/b_{50})^{0.118} = 1.42$ $\gamma = (B_w/h_w)^{-b}$ $V_w/v_* = (0.28 Fr/b)^{\log(0.755/b)} (13.4 (B_w/b_{50})^{0.492} b^\alpha) \gamma$ korakoma: $V_{w1} = 3.0 \text{ m/s} \rightarrow V_{w2} = 1.75 \text{ m/s}$ končni rezultat: $V_w/v_* = 5.90$ $V_w = 1.75 \text{ m/s}$ $Fr = 1.17$	0.042	1.75	5.90	$b = 0.748 \approx 0.755$ meja med srednjo in veliko relativno hrapavostjo $B_w/R_w = 10.4 < 13$ na meji intervala uporabnosti



## LITERATURA

- Bathurst J.C.: »Flow resistance of large-scale roughness«, JHD, ASCE, Vol. 104, No. HY12, December 1978, pp. 1587–1603.
- Bathurst J.C.: »Flow resistance in boulder – bed streams«, Chapter 16 in »Gravel – Bed Rivers«, John Wiley & Sons, Chichester, Velika Britanija, 1982.
- Bray D.I.: »Estimating average velocity in gravel – bed rivers«, JHD, ASCE, Vol. 105, No. HY 9, September 1979, pp. 1103–1122.
- Carter R.W. in drugi: »Friction factors in open channels«, JHD, ASCE, No. HY2, March 1963, pp. 97–143.
- Chow V.T.: »Open channel hydraulics«, McGraw-Hill, New York, 1959.
- Day T.J.: »The channel geometry of mountain streams«, Chapter 4-2 in »Mountain Geomorphology«, Tantalus Press, Vancouver, Kanada, 1972.
- Garbrecht G.: »Abflussberechnungen fuer Fluesse und Kanaele«, Die Wasserwirtschaft, Heft 2/3, 1961.
- Gončarov V.N.: »Dynamics of channel flow«, Israel Program for scientific translations, Jerusalem, 1964.
- Hey R.: »Flow resistance in gravel bed rivers«, JHD, ASCE, Vol. 105, No. HY 4, April 1979, pp. 365–380.
- Jarrett R.D.: »Hydraulics of high-gradient streams«, JHD, ASCE, Vol. 110, No. HY 11, November 1984, pp. 1519–1539.
- Jaeggi M.: »Alternierende Kiesbaenke«, Mitt. der VAW Nr. 62, ETH Zuerich, 1983.
- Kellerhals R.: »Hydraulic performance of mountain streams«, Proceedings of the 15<sup>th</sup> Congress of the IARR, Vol. 1, 1973, A56/ pp. 1–9.
- Limerinos J.T.: »Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels«, US. Geol. Survey Water-Supply P. 1898 – B, 1970.
- Pintar J. in drugi: »Povirja voda – I. del: Danosti in pojavi«, Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, 1982, 120 strani.
- Ruf G.: »Neue Ergebnisse ueber die Fliessgeschwindigkeit in sehr rauhen Gerinnen (Wildbaechen)«, INTERPREAVENT 1988 – GRAZ, Band 4, pp. 165–176.
- Ryabov A.K.: »Power formulas for riverbeds with a high degree of roughness«, Meteorologiya i Gidrologiya, 5/1974, pp. 102–104.
- Simons D.B., Al-Shaikh-Ali K.S. in Ruh-Ming L.: »Flow resistance in cobble and boulder riverbeds«, JHD, ASCE, Vol. 105, No. HY 5, May 1979, pp. 477–488.
- Smart G.M. in Jaeggi M.: »Sedimenttransport in steilen Gerinnen / Sediment transport on steep slopes«, Mitt. der VAW No. 64, ETH Zuerich, 1983.
- Task Force Committee: »Friction factors in open channels«, JHD, ASCE, No. HY 2, March 1963, pp. 97–143.
- Thompson S.M. in Campbell P.L.: »Hydraulics of a large channel paved with boulders«, JHR, Vol. 17, No. 4, 1979, pp. 341–354.
- ASCE = American Society of Civil Engineering  
 ETH = Eidgenoessische Technische Hochschule, Zuerich  
 JHD = Journal of the Hydraulics Division  
 JHE = Journal of Hydraulic Engineering  
 JHR = Journal of Hydraulic Research  
 VAW = Versuchsanstalt fuer Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie

## DISKUSIJA

k članku Približna določitev nihajne dobe konstrukcije (avtorja B. Bedenik in I. Uršič, članek objavljen v GV 4-5-6/88)

Avtorja sta v članku izpeljala zelo enostavno in praktično formulo za račun osnovnega nihajnega časa konstrukcij zgradb (v končno formulo (18) se je prikradla tiskarska napaka – namesto  $h$  je pravilno  $h^3$ ). Pri tem sta uporabila predpostavko, da predstavlja konstrukcijski sistem okvir s togimi prečkami in nestisljivimi stebri. To je razvidno iz izraza za togost (8), vendar na žalost ni nikjer v članku eksplicitno navedeno. Da ne bi prišlo do napačne uporabe, je potrebno opozoriti, da je uporabnost izpeljane formule omejena samo na konstrukcijske sisteme, ki približno ustrezajo uporabljeni predpostavki, to je na okvirne konstrukcije s prečkami, ki so bolj toge od stebrov. Njena natančnost se zmanjšuje z zmanjšanjem razmerja togosti prečk in stebrov. Formula ni uporabna za račun osnovnega nihajnega časa stenastih in stenasto-skeletnih konstrukcij.

# VPLIV KLORIDOV V BETONU NA KOROZIJO JEKLENE ARMATURE

UDK 693.55:620.193

LEOPOLD VEHOVAR

## POVZETEK

Korozija jekla v betonu zaradi delovanja kloridov je postala pomemben problem, povezan z mostovi in mnogimi drugimi betonskimi konstrukcijami. Klorid predstavlja skrajno nevarnost, saj povzroča korozijo jeklene armature, korozijski produkti pa poškodbe betona. Kloridi so lahko prisotni v svežem betonu, lahko pa penetrirajo v otrdeli beton iz okolja, ki jih vsebuje. Eden od izvorov klorida je kalcijev klorid, ki se pogosto uporablja kot sredstvo za pospeševanje hidratacijskih hitrosti. Betonske konstrukcije, izpostavljene obema, morskemu okolju ali solem, potrebnim za taljenje ledu, pa predstavljajo tipične primere, kjer kloridni ioni niso bili prisotni v svežem betonu, vendar pa lahko prodirajo v otrdeli beton z difuzijo kloridne raztopine. Cilj tega prispevka je podati hiter pregled znanja, ki zadeva delovanje kloridov s posebnim poudarkom na običajno jekleno armaturo, zatem pa še določiti njihove mejne količine.

## INFLUENCE OF CHLORIDES ON CORROSION OF REINFORCING STEEL IN CONCRETE

## SUMMARY

The corrosion of steel in concrete exposed to chlorides has become a major problem for bridge and many other concrete constructions. Chloride is regarded as extremely dangerous in causing the corrosion of reinforcing steel and with corrosion products the deterioration of concrete too. The chlorides may be present in fresh concrete but they may also permeate into hardened concrete from environments containing chlorides. One source of chloride in fresh concrete is calcium chloride which is frequently used as an accelerator for hydration rate. Concrete structures exposed either to marine environments or to deicer chloride salts represent the typical cases, where chloride ions may not initially be present in fresh concrete but subsequently would find their way into hardened concrete by diffusion of the chloride solution. The objective of this paper is to review briefly the state of knowledge regarding the action of chloride, with special emphasis on its effect on the ordinary reinforcing steel and then to evaluate the chloride limitations.

## 1. UVOD

Korozija jeklene armature v armiranobetonskih ali prenapetih konstrukcijah, ki je posledica delovanja kloridov, povzroča poškodbe katastrofalnih razsežnosti. Delovanje kloridov je še posebej izrazito na področju avtocest (mostovi), v kemični industriji in na objektih, ki so v stiku z morskovo vodo. Mnogi objekti so bili bodisi zaradi neznanja bodisi zaradi slabe izvedbe že po nekaj letih uporabe uničeni. Vzrok so bili prvenstveno kloridi, ki jim je bil omogočen pristop do armature iz različnih vzrokov. Med temi so bistveni neustrezni materiali, neprimerna protikorozijska zaščita betona in slaba izvedba.

Jeklo se v betonu dobro obnaša. Visoko kakovosten kompakten beton, z nizko permeabilnostjo, pravilno vgrajen in brez škodljivih dodatkov – ti so pospeševalci korozije armature, predstavlja odlično zaščito za jeklo. Slednja je osnovana na visoki koncentraciji  $\text{OH}^-$  ionov v

kapilarnih porah betona. Penetracija vlage, ogljikovega dioksida in kisika z difuzijskimi procesi ali skozi številne mikro ter makro razpoke betona pa povzroči porušitev pasivnega filma na površini jekla. Porajajo se torej številna korozijska žarišča, nastali korozijski produkti pa zaradi ekspanzije producirajo številne nove razpoke v začetnem sloju betona. Ti procesi pa se izrazito pospešijo v prisotnosti kloridov, ki tako tvorijo zelo agresiven elektrolit, v katerem tudi pri visoki pH vrednosti betona lahko uspešno potekajo korozijski procesi jekla.

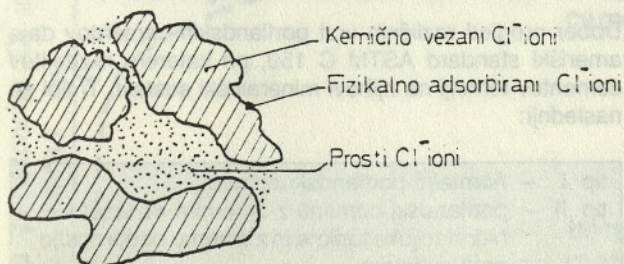
## 2. IZVORI KLORIDOV V BETONU

Kloridi so lahko prisotni že v svežem betonu, pogosto pa vstopajo v že otrdeli beton zaradi delovanja različnih medijev, ki vsebujejo kloridne ione (agresivne atmosfere v kemični industriji, morska atmosfera, različne vodne raztopine). Tipičen izvor kloridov v svežem betonu je dodatek  $\text{CaCl}_2$ , ki omogoča hitro strjevanje betona, ali pa voda, potrebna za hidratacijo različnih komponent cementnega klinkerja. Soljenje cest pa je tipičen izvor kloridov, ki prodirajo skozi otrdeli beton.

Avtor:

\* Dr. Leopold Vehovar – SOZD Slovenske železarne, Metalurški inštitut, Lepi pot 11, Ljubljana

V betonu so kloridi v treh različnih oblikah: kemično vezani s komponentami betona, fizikalno adsorbirani na stenah por betona ali pa so v obliki prostih kloridov (slika 1). Za korozijo armature v betonu pa so pomembni le prosti kloridi.

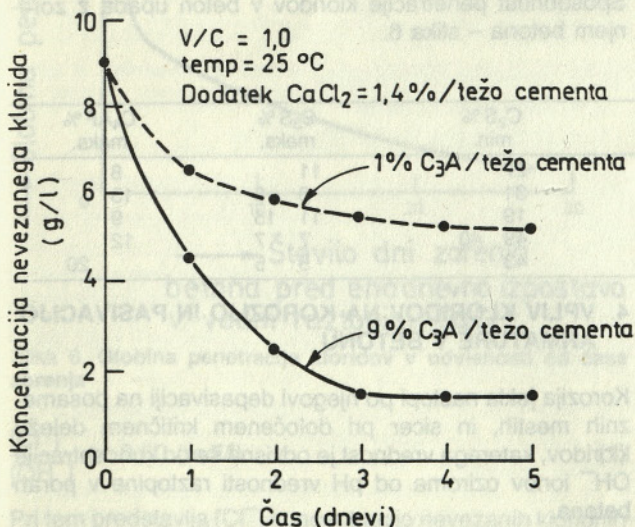


Slika 1. Različne oblike vezave kloridnih ionov v otrdelem betonu

### 3. VPLIV SESTAVE CEMENTA NA ZMANJŠANJE DELEŽA PROSTIH KLORIDOV

Znano je, da trikalcijev aluminat ( $C_3A$ ) v portlandskem cementnem klinkerju reagira s kloridno raztopino tako, da veže del kloridov in tako znižuje njihov delež v korozijskem mediju. Pri tem se tvori netopna Friedlova sol  $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ . Korozija armature v prisotnosti kloridov je večja, če upada delež  $C_3A$  komponente v portlandskem cementu. Pri 9%  $C_3A$  v portlandskem cementu in dodatku 1,4%  $CaCl_2$  v zamesno vodo je korozija armature zelo majhna, medtem ko je pri deležu 1%  $C_3A$  in enakem deležu  $CaCl_2$  proces korozije močno poudarjen.

$C_3A$  faza torej lahko veže določeno količino  $Cl^-$  ionov. Takšna odvisnost je podana na sliki 2. V betonu z v/c faktorjem 1,0, ki mu je bilo dodano 1,4%  $CaCl_2$  (preračunano na težo cementa), se torej v različnih časovnih



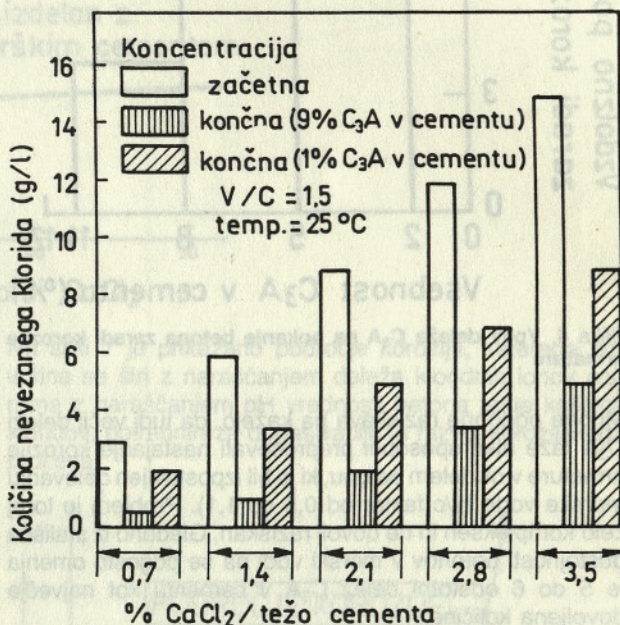
Slika 2. Vpliv sestave cementa na koncentracijo nevezanega klorida

intervalih in pri različnih deležih  $C_3A$  faze izloči v porah betona različna količina nevezanega klorida.

Iz krivulj lahko povzamemo, da se koncentracija kloridov v porni raztopini s časom zorenja betona naglo spreminja. Po približno treh dneh postane ta vrednost stalna.

Na sliki 3 so podane podobne korelacije med deležem prostega klorida pri različnih dodatkih  $CaCl_2$  v zamesno vodo in pri različni količini  $C_3A$  faze.

Delež nevezanega klorida z zorenjem betona upada. Pri 12-odstotnem deležu  $C_3A$  v cementu in variaciji dodanega  $CaCl_2$  so deleži nevezanega klorida po 28 dneh naslednje:



Slika 3. Vpliv cementa in deleža dodanega  $CaCl_2$  na količino nevezanega klorida

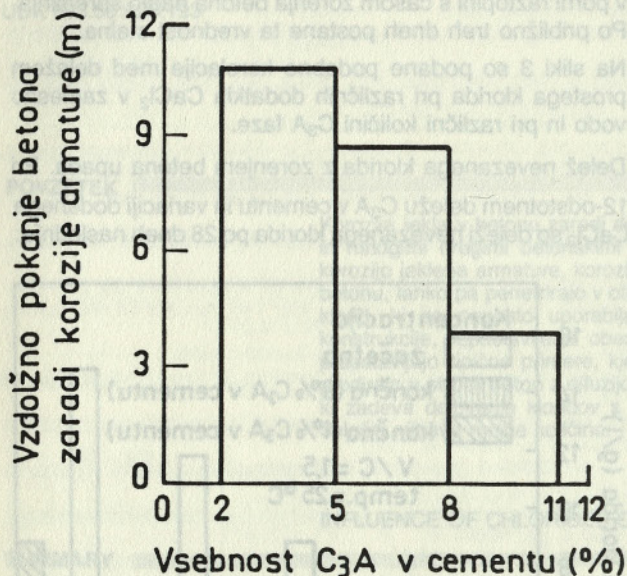
Preglednica 1

Dodatek $CaCl_2$ v beton (% $CaCl_2$ /težo cementa)	Vsebnost nevezanega klorida po 28 dneh (%)
0,25	0,03
0,50	0,07
1,00	0,15
2,00	0,37

$C_4AF$  faza, ki je prav tako v cementnem klinkerju, ima majhen ali celo neznaten vpliv na znižanje kloridnih ionov v betonu.

$C_3A$  faza ima velik vpliv na pojav razpok v armiranobetonskih elementih zaradi delovanja korozije armature. V morski vodi izpostavljeni armiranobetonski elementi z 38 mm debelim zaščitnim slojem betona tvorijo v povprečju daljše vzdolžne razpoke (10,97 m) pri 2 do 5 odstotnem deležu  $C_3A$  v cementu kot pri deležu 5 do 8%  $C_3A$ , pri katerem nastajajo dolžine 9,14 m. Pri količini 8 do 11%  $C_3A$  pa je povprečna dolžina razpok le še 3,96 m

(slika 4). Trikratno znižanje dolžine razpoke vzdolž korodirane armature je torej možno le, če je delež  $C_3A$  v cementu večji kot 8%.



Slika 4. Vpliv deleža  $C_3A$  na pokanje betona zaradi korozije armature

Mnoge podobne raziskave pa kažejo, da tudi večji deleži  $C_3A$  faze niso sposobni preprečevati nastajanje korozije armature v otrdelem betonu, ki je bil izpostavljen delovanju morske vode (v/c faktor od 0,5 do 1,1). Problem je torej zelo kompleksen in ne dovolj raziskan. Gledano iz stališča obstojnosti betonov v morski vodi pa se pogosto omenja le 5 do 6 odstotni delež  $C_3A$  v cementu kot največja dovoljena količina.

Stehiometrična preračunavanja kažejo, da 2-odstotni dodatek  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  (ustreza 1,4%  $CaCl_2$ ), ki je bil dodan v zamesno vodo, ustreza količini 3,4%  $C_3A$  v cementu, ki je potrebna za celotno odstranitev kloridov v obliki

#### Preglednica 2

Mejne vrednosti za posamezne minerale so po ASTM naslednje:

Tip cementa	$C_3S$ % maks.	$C_2S$ % min.	$C_3S$ % maks.	$C_4AF$ % maks.
I	45	27	11	8
II	44	31	8 8	13
III	53	19	11 15	9
IV	28 35	49 40	7 7	12
V	38	43	5 5	20

$C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ . Te relacije pa so lahko bolj komplicirane zaradi stalne (večje ali manjše) prisotnosti sulfatov. Ker je lahko v cementu približno 5% sadre ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), se za razpoložljivo vsebnost  $C_3A$  bije konkurenčni boj med kloridnimi in sulfatnimi ioni. Dejstvo je, da sulfati hitreje reagirajo s  $C_3A$  pri hidrataciji cementa in jo tako izrabljajo.

V kombinaciji s 5-odstotno  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  se porabi 2,7%  $C_3A$ , da bi se tvoril trisulfoaluminat hidrat, kasneje pa je ob prisotnosti kloridov v betonu potrebno še 3,4%  $C_3A$

za odstranitev 1,4-odstotnega  $CaCl_2$  iz zamesne vode. Da bi preprečili korozijo armature zaradi delovanja kloridov, je torej potrebno več kot 6%  $C_3A$  v cementu. Očitno je, da nekateri tipi cementov ta kriterij ne izpolnjujejo in v prisotnosti kloridov tudi ne morejo nuditi prave zaščite jeklu. Primerna sta le tipa I in III (preglednica 2).

Dober pregled različnih vrst portlandskih cementov daje ameriški standard ASTM C 150, pri katerem razdelitev cementov temelji na njihovi mineraloški sestavi. Ti tipi so naslednji:

- tip I – normalni portlandski cement,
- tip II – portlandski cementi z zmernim razvojem hidratacijske toplote in z zmerno odpornostjo proti sulfatom,
- tip III – hitro utrjujoči cement; to je cement s hitrim porastom začetnih trdnosti in visokimi končnimi trdnostmi,
- tip IV – portlandski cement z nizko hidratacijsko toploto,
- tip V – portlandski cement, ki je odporen proti sulfatom.

Glede na vrsto cementa je torej potrebno tudi regulirati delež kloridov (npr. v zamesni vodi ali v obliki dodatkov).

Večja sposobnost vezave kloridov v betonih (maltah), izdelanih s cementom z dodatkom žlindre (ti vsebujejo več  $C_3A$  komponente), je prikazana na sliki 5.

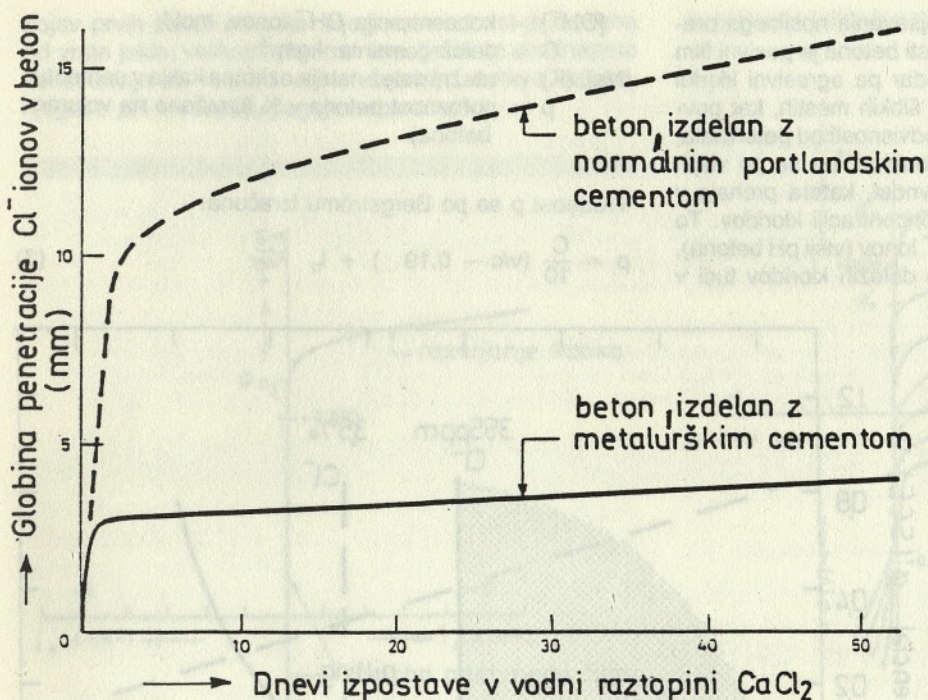
Zaradi tovrstne sposobnosti je tudi globina penetracije kloridov v beton manjša kot pri betonih (maltah), izdelanih iz normalnega portlandskega cementa. Vsekakor pa je globina penetracije kloridov odvisna še od velikosti in števila por v betonu. Cementi z dodatkom žlindre tvorijo v cementnem kamnu manj kapilarnih por z manjšim premerom v primerjavi s čistim portlandskim cementom.

Sposobnost penetracije kloridov v beton upada z zorenjem betona – slika 6.

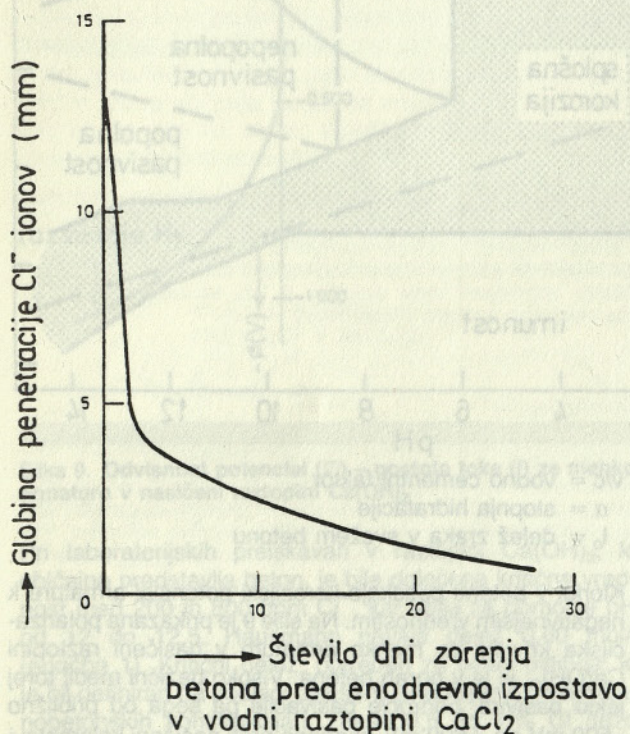
#### 4. VPLIV KLORIDOV NA KOROZIJO IN PASIVACIJO ARMATURE V BETONU

Korozija jekla nastopi po njegovi depasivaciji na posameznih mestih, in sicer pri določenem kritičnem deležu kloridov, katerega vrednost je odvisna še od koncentracije  $OH^-$  ionov oziroma od pH vrednosti raztopine v porah betona.

Po Hausmannu je kritični delež kloridov pri pH nad 11,2 naslednji:



Slika 5. Globina penetracije kloridov v odvisnosti od vrste 1 dan starega betona

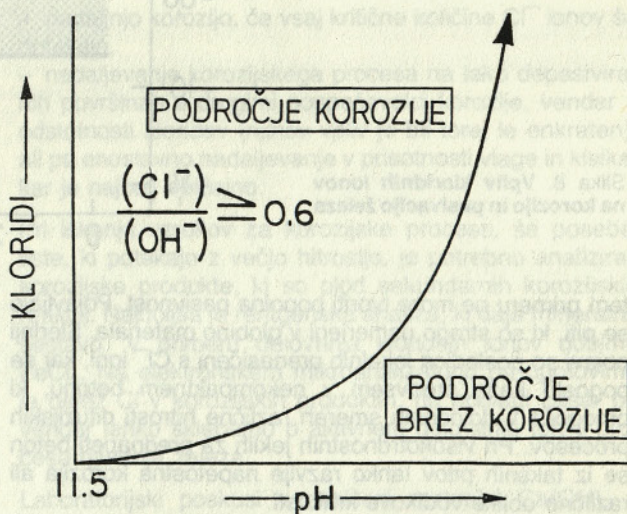


Slika 6. Globina penetracije kloridov v odvisnosti od časa zorenja

$$\frac{[Cl^-]}{[OH^-]} \geq 0,60 \text{ (mol/l)} \quad (1)$$

Pri tem predstavlja [Cl<sup>-</sup>] koncentracijo nevezanih kloridnih ionov v porah betona in [OH<sup>-</sup>] koncentracijo hidroksilnih ionov v Ca(OH)<sub>2</sub> tekočini, ki prav tako zaseda pore.

Na sliki 7 je prikazano področje korozije, katerega površina se širi z naraščanjem deleža kloridnih ionov oziroma z naraščanjem pH vrednosti betona raste količina kloridov, potrebnih za depasivacijo in razvoj korozijskega procesa.



Slika 7. Vpliv deleža kloridnih in hidroksilnih ionov v betonu na korozijo armature

Prisotnost kloridov bistveno vpliva na preobrazbo področij pasivacije jekla (primerjaj Pourbaixov diagram odvisnosti potencial-pH na sliki 1 v prejšnji 10, 11, 12 (1987) številki Gradbenega vestnika s tovrstnim, transformiranim diagramom na sliki 8, v katerem se kaže delovanje kloridov).

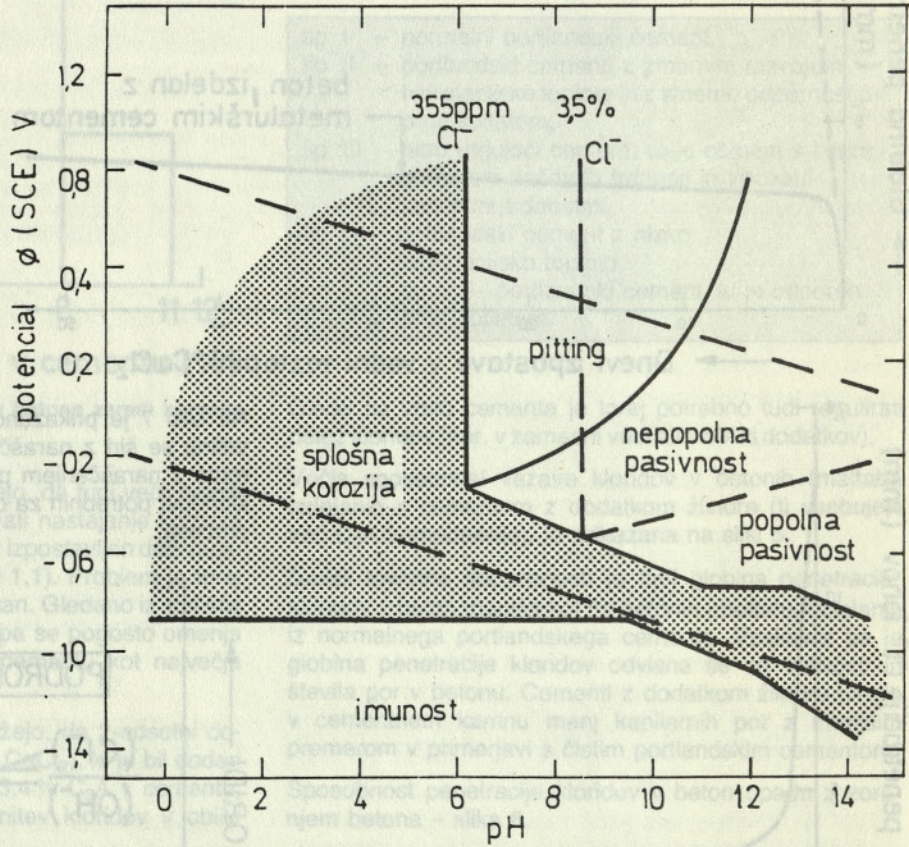
Iz slike 8 lahko razberemo, da je pri nizkih pH vrednostih betona delovanje kloridov največje. Pojavlja se splošna

korozija, ki pelje do hitrega zmanjševanja nosilnega pre-  
reza armature. Pri višji pH vrednosti betona je pasivni film  
na površini jekla obstojnejši, vendar pa agresivni kloridi  
rušijo pasivnost na njenih najbolj šibkih mestih, kar pov-  
zroča korozijo v obliki pittinga. V odvisnosti od potenciala,  
ki ga zavzema jeklo v takšnem betonu, pa se pri višjih  
pH vrednostih poraja delna pasivnost, katera prehaja v  
popolno pasivnost kljub visoki koncentraciji kloridov. To  
omogoča večja koncentracija OH<sup>-</sup> ionov (višji pH betona),  
vendar pa se pri izjemno visokih deležih kloridov tudi v

[OH<sup>-</sup>] = koncentracija OH<sup>-</sup> ionov, mol/l  
C = delež cementa, kg/m<sup>3</sup>  
(Na), (K) = utežni delež natrija oziroma kalija v cementu  
p = poroznost betona v % (izraženo na volumen  
betona)

Vrednost p se po Bergströmu izračuna:

$$p = \frac{C}{10} (v/c - 0,19) + I_0 \quad (3)$$



Slika 8. Vpliv kloridnih ionov na korozijo in pasivacijo železa

tem primeru ne more tvoriti popolna pasivnost. Pojavljajo se piti, ki so strogo usmerjeni v globino materiala. Slednji pojavi so posledica lokalnih prenasajen s Cl<sup>-</sup> ioni, kar se pogosto kaže predvsem v nekompaktnem betonu, ki omogoča v določenih smereh različne hitrosti difuzijskih procesov. Pri visokotrnostnih jeklih za prednapeti beton se iz takšnih pitov lahko razvije napetostna korozija ali različne oblike vodikove krhkosti.

V enačbi 1 se koncentracija OH<sup>-</sup> ionov lahko določi eksperimentalno z iztiskovanjem raztopine v porah betona in mikrotitracijo ali pa računsko:

$$[\text{OH}^-] = \frac{\frac{C \cdot (\text{Na})}{23} + \frac{C \cdot (\text{K})}{39}}{p} \cdot 100 \quad (2)$$

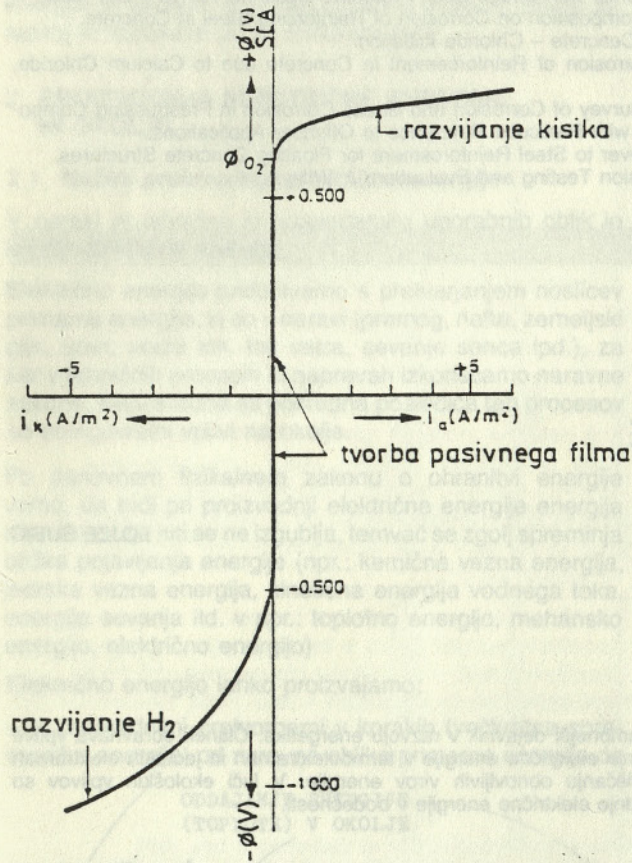
v/c = vodno cementni faktor  
α = stopnja hidratacije  
I<sub>0</sub> = delež zraka v svežem betonu

Kloridi v betonu potiskajo korozijski potencial armature k negativnejšim vrednostim. Na sliki 9 je prikazana polarizacijska krivulja za mehko armaturo v nasičeni raztopini Ca(OH)<sub>2</sub>, ki je v porah betona. Visoko bazični medij torej jeklo pasivira, področje pasivacije pa sega od približno -500 mV do +600 mV (merjeno proti nasičeni kolomelovi elektrodi - SCA).

Dodatek kloridov pa področje pasivacije zožuje (slika 10), kar pomeni, da je jeklo hitreje podvrženo različnim korozijskim vplivom.

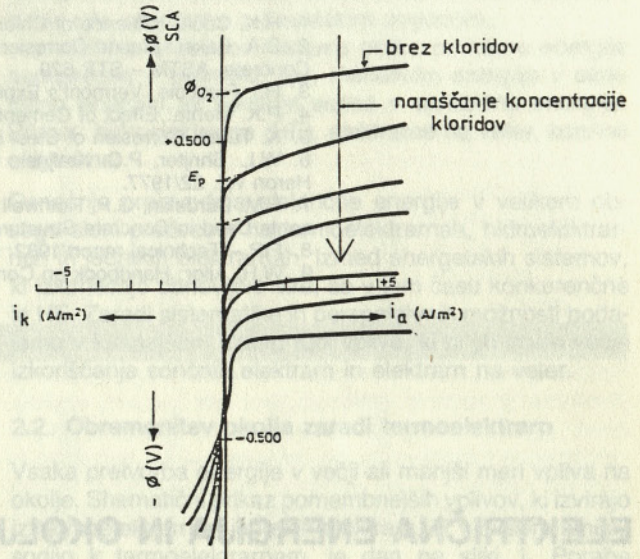
Številna raziskovalna dela omenjajo različne vrednosti za kritični delež kloridov v betonu ali injekcijski masi. Kritični delež je tisti, pri katerem nastopi lokalna depasivacija in

pojav prvih žarišč korozije. Njegova vrednost je odvisna od vrste jekla, velikosti obremenitve (jekla za prednapete konstrukcije so različno obremenjena), sestave betona, njegove pH vrednosti, pogojev uporabe itd.



Slika 9. Odvisnost potencial ( $\phi$ ) – gostota toka ( $i$ ) za mehko armaturo v nasičeni raztopini  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Pri laboratorijskih preiskavah v raztopini  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , ki običajno predstavlja beton, je bila določena kritična vrednost med 200 in 800 ppm  $\text{Cl}^-$ , kar velja za območje pH od 12 do 12,5. Hausmann navaja delež 0,60 mol/l (enačba 1). Kritični delež, potreben za pojav pittinga, ki je bil definiran na podlagi izkušenj, pridobljenih na armiranobetonskih konstrukcijah, znaša 0,5 do 1 %  $\text{Cl}^-$ /težo cementa. Ta vrednost je lahko tudi višja, če se uporablja cement z visokim deležem  $\text{C}_3\text{A}$ . Iz Pourbaix diagrama na sliki 8 pa lahko povzamemo, da se celo v 3,5 % raztopini  $\text{NaCl}$  (21.000 ppm  $\text{Cl}^-$ ) pojavi pasivacija v območju med pH 12 in 13. Pogosto se omenja dodatek 2 %  $\text{CaCl}_2$  (izražen na težo cementa) kot kritični delež, ki pa je bil znižan na 1,5 %  $\text{CaCl}_2$ /težo cementa. Prikazane kritične količine  $\text{Cl}^-$  ionov so tiste enkratne količine, ki so potrebne za lokalno depasivacijo, kar omogoča dvoje:



Slika 10. Odvisnost  $\phi - i$  za mehko armaturo v nasičeni raztopini  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , z različnim deležem kloridov

- nadaljnjo korozijo, če vsaj kritične količine  $\text{Cl}^-$  ionov še dotekajo,
- nadaljevanje korozijskega procesa na tako depasiviranih površinah z drugimi pospeševalci korozije, vendar v odstotnosti kloridov (njihov vpliv je bil torej le enkraten), ali pa enostavno nadaljevanje v prisotnosti vlage in kisika, kar je najbolj običajno.

Pri iskanju vzrokov za korozijske procese, še posebej tiste, ki potekajo z večjo hitrostjo, je potrebno analizirati korozijske produkte, ki so plod sekundarnih korozijskih reakcij. Najboljša je rentgenska analiza, ki daje mineralno sestavo. V primeru delovanja kloridnih ionov dobimo  $\text{FeCl}_2$ . Na elektronskem mikroanalizatorju pa ugotovimo le delež  $\text{Cl}$  v korozijskih produktih, na podlagi česar pa vendar lahko sklepamo o aktivnem delovanju teh v procesu rjavenja železa.

Laboratorijski poskusi v nasičeni raztopini  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  z visokotrdnostno patentirano žico, ki se uporablja v prednapetih konstrukcijah, pa sugerirajo delež 0,060 %  $\text{Cl}^-$ , ki že povzroča depasivacijo zaščitnega filma. Pogosto pa se za tovrstna jekla omenja delež 0,038 mol  $\text{Cl}^-$ /liter cementne suspenzije (0,2 %  $\text{CaCl}_2$  na težo cementa).

V prednapetih konstrukcijah dodatki  $\text{CaCl}_2$  niso dovoljeni, vendar pa kloridi lahko penetrirajo do kablov ob soljenju cest. Vpliv kloridov na pojav običajne in napetostne korozije ter vodikove krhkosti jekel za prednapeti beton pa bo podan v naslednji številki Gradbenega vestnika.

V boju proti delovanju kloridov je vgradnja gostih betonov z nizko permeabilnostjo ter dobra hidroizolacija na določ-

nih objektih (npr. voziščne plošče mostov) najuspešnejši postopek za preprečevanje korozije armature.

#### LITERATURA

1. H.K. Cook: Influence of Chloride in Reinforced Concrete, ASTM – STP 629.
2. E.A. Baker: Marine Corrosion Behavior of Bare and Metallic – Coated Steel Reinforcing Rods in Concrete, ASTM – STP 629.
3. R.I. Frascoia: Vermont's Experience with Bridge Deck Protective Systems, ASTM – STP 629.
4. P.K. Mehta: Effect of Cement Composition on Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete.
5. K. Tuutti: Corrosion of Steel in Concrete – Chloride Initiation.
6. W.L. Shrijter, P.C. Kreijger: Corrosion of Reinforcement in Concrete due to Calcium Chloride, Heron vol. 22/1977.
7. F.M. Burdekin, G.P. Rothwell: Survey of Corrosion and Stress Corrosion in Prestressing Components Used in Concrete Structures with Particular Reference to Offshore Applications.
8. FIP – Technical report/1982: Cover to Steel Reinforcement for Floating Concrete Structures.
9. W.H. Ailor: Handbook on Corrosion Testing and Evaluation, J. Wiley.

## ELEKTRIČNA ENERGIJA IN OKOLJE

UDK 351.824.11:504.06

LOJZE ŠUBIC

#### POVZETEK

Varstvo okolja postaja vedno pomembnejši dejavnik v razvoju energetike. Članek obravnava vplive na okolje, ki so posledica proizvodnje električne energije v termoelektrarnah in jedrskih elektrarnah kakor tudi možne vplive pri izkoriščanju obnovljivih virov energije. V luči ekoloških vplivov so obravnavane tudi možnosti proizvodnje električne energije v bodočnosti.

#### ELECTRICAL ENERGY AND THE ENVIRONMENT

#### SUMMARY

Care for the environment is now a major aspect of any energy development. The paper is concentrated on the environmental aspects of electricity generation, including the specific impacts associated with the use of coal and nuclear fuel and possible impacts of renewable energy sources utilization. The possibilities for the future electrical energy production are presented in the light of environmental effects.

#### 1. UVOD

Izgradnja kapitalno intenzivnih objektov za proizvodnjo in distribucijo električne energije ima praviloma daljnosežne posledice za človekovo okolje, zato nanjo ne smemo gledati samo kot na graditeljsko in energetske dejanje.

Z družbenim načrtovanjem dejavnosti in razvoja, ki obsega gospodarsko, prostorsko in socialno sestavino, se

skuša preseči konflikt med gospodarskimi težnjami po zagotovitvi poceni in zanesljive energije ter varstvom človekovega okolja, ki si prizadeva doseči ekološko optimalne in znosne energetske sisteme.

Relativno enostavna pretvorba električne energije v večino drugih oblik končne energije je med drugim razlog za vse večji pomen te energije, ki ga potrjuje tudi naraščajoča uporabnost elektrike pri večini tehnoloških in inovacijskih procesov. Zato lahko v zadnjih letih opazujemo pojav, da so nekatere razvite države po eni strani uspele stabilizirati porabo primarne energije, po drugi strani pa povsod narašča poraba električne energije, ki običajno spremlja rast družbenega bruto proizvoda.

Avtor:  
Lojze Šubic, dipl. inž. gr., IB Elektroprojekt, Hajdrihova 4,  
Ljubljana



Članek skuša s prikazom sedanjih in možnih bodočih načinov proizvodnje električne energije ter predvsem posledic, ki jih te proizvodnje imajo na okolje, predstaviti pogoje, v katerih se omenjeni konflikt dogaja oziroma se bo, glede na sedanje trende, zanesljivo še dogajal. Izdelan je bil na podlagi navedene literature, predvsem pa vira (1). Pričujoči je skrajšani del študije »Električna energija in okolje«, ki je bila izdelana v okviru Enote za razvoj in raziskave pri IB Elektroprojekt.

## 2. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IN OKOLJE

### 2.1. Načini proizvodnje električne energije

V naravi ni tehnično in gospodarsko uporabnih oblik in količin električne energije.

Električno energijo pridobivamo s pretvarjanjem nosilcev primarne energije, ki so v naravi (premog, nafta, zemeljski plin, uran, vodni tok, tok vetra, sevanje sonca ipd.), za kar v tehničnih procesih in napravah izkoriščamo naravne zakone. Neposredna ali posredna posledica teh procesov so mnogovrstni vplivi na okolje.

Po osnovnem fizikalnem zakonu o ohranitvi energije vemo, da tudi pri proizvodnji električne energije energija niti ne nastaja niti se ne izgublja, temveč se zgolj spreminja oblika pojavljanja energije (npr.: kemična vezna energija, jedrska vezna energija, kinetična energija vodnega toka, energija sevanja itd. v npr.: toplotno energijo, mehansko energijo, električno energijo)

Električno energijo lahko proizvajamo:

– z zaporednimi pretvorbami v korakih (večkratna sprememba energije) od naravne oblike primarne energije do

različnih oblik sekundarne energije, npr. kemično energijo v termično energijo, to v mehansko energijo in le-to v električno energijo. Primer: termoelektrarne na fosilna goriva (TE), jedrske elektrarne (JE), elektrarne s plinskimi turbinami, elektrarne z dieselskim pogonom;

– z direktno pretvorbo naravne oblike primarne energije neposredno v elektriko, npr. mehansko energijo v električno energijo ali sevanje sonca v električno energijo. Primer: hidroelektrarne (HE), elektrarne na veter, sončne elektrarne.

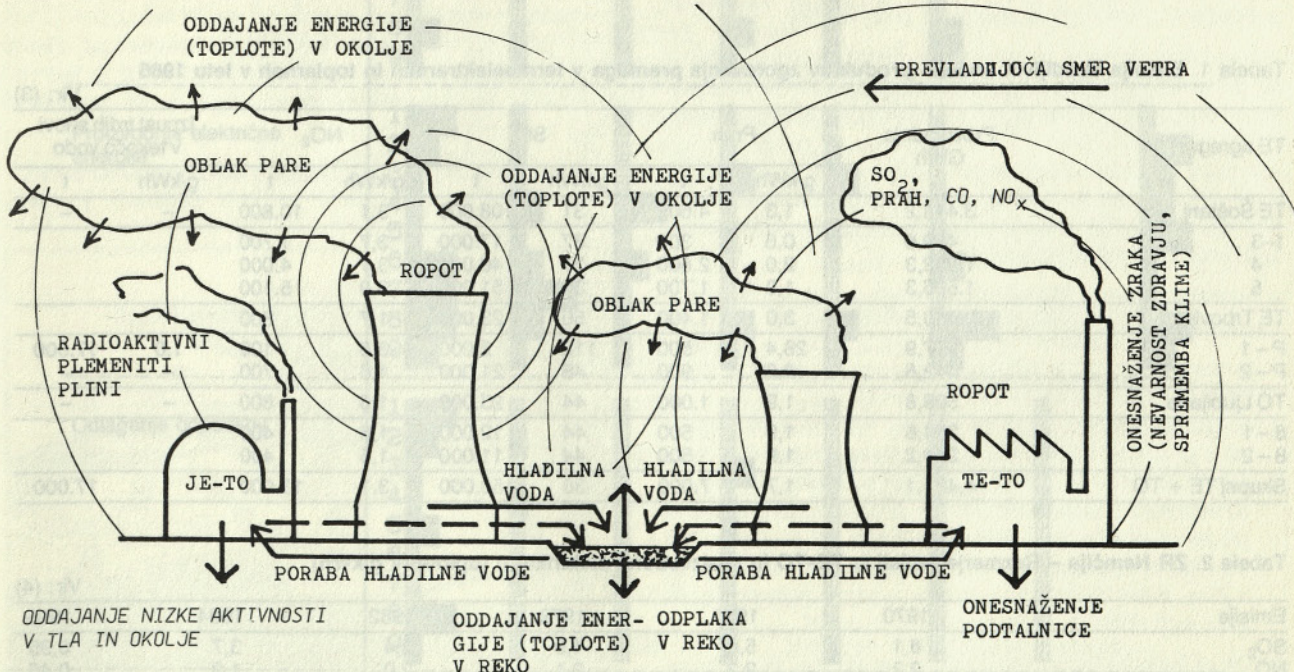
Današnja proizvodnja električne energije v velikem obsegu sloni predvsem na termoelektrarnah, hidroelektrarnah in jedrskih elektrarnah. Izmed energetskega sistema, ki izkoriščajo obnovljive vire, so v tem času konkurenčne le HE. Zaradi sistematike in perspektivnih možnosti podajamo v kasnejšem tekstu tudi vplive, ki bi jih imelo večje izkoriščanje sončnih elektrarn in elektrarn na veter.

### 2.2. Obremenitev okolja zaradi termoelektrarn

Vsaka pretvorba energije v večji ali manjši meri vpliva na okolje. Shematični prikaz pomembnejših vplivov, ki izvirajo iz termoelektrarn in jedrskih elektrarn, ki v širšem smislu sodijo k termoelektrarnam, je dan na sliki 1. Poraba zemljišča in vode ter polucija zraka, vode in tal so direktni vplivi na okolje, ki pravzaprav predstavljajo porabo naravnih dobrin. K posrednim vplivom, ki jih je v splošnem težje opredeliti, sodijo socialnoekonomski in estetski vplivi ter sprememba biocenoze.

#### 2.2.1. TE na fosilna goriva

Termoelektrarne oddajajo po naravnih zakonih v okolje približno 2/3 dovajane toplote (v obliki nizkotemperaturne odpadne toplote).



Slika 1. Vpliv termoelektrarn in jedrskih elektrarn na okolje

Vir: (2)

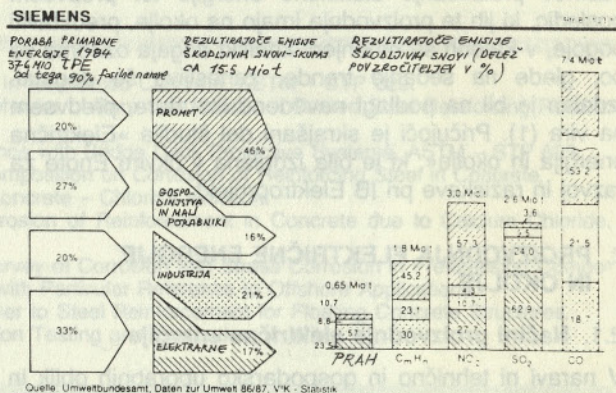
Pri elektrarnah na fosilna goriva ter jedrskih elektrarnah se ta neizkoriščena toplota večinoma oddaja v vodna telesa – **termalna polucija** reke oziroma morja ali pa neposredno v atmosfero (hladilni stolpi), kar lahko povzroči spremembe mikroklimi. Ta nizkotemperaturna neizkoriščena toplota oziroma vsaj njen del, ki ga bo določala ekonomičnost, naj bi se v bodoče v vedno večji meri uporabljala za potrebe daljinskega ogrevanja. Fosilne elektrarne na premog, nafto in plin poleg tega obremenjujejo okolje z **emisijami škodljivih snovi**: žveplov dioksid – SO<sub>2</sub>, dušikovi oksidi – NOx, prah, ogljikov monoksid – CO, ogljikov dioksid – CO<sub>2</sub> itd., s tem da je količina emisij iz plinskih elektrarn bistveno nižja. Treba je tudi reči, da se plin v primerjavi z drugimi fosilnimi gorivi manj uporablja kot gorivo v TE, glede na možnost njegove direktne uporabe v gospodinjstvih in industriji.

Fosilna goriva vsebujejo glede na vrsto in izvor različne elemente v majhnih količinah, kot npr.: arzen, kadmij, krom, svinec, mangan, nikelj, vanadij. Količine, ki se sproščajo pri zgorevanju, so odvisne tudi od tipa kotla in čistilnih naprav, ki so vgrajene za omejevanje drugih emisij. Njihovi vplivi na zdravje ljudi še niso dovolj raziskani.

**Hrup**, ki nastaja pri proizvodnji električne energije v TE, je z današnjimi tehničnimi ukrepi mogoče omejiti na zakonsko predpisane nivoje.

Kot ilustrativen primer je na sliki 2 prikazano stanje onesnaženosti zraka v ZR Nemčiji leta 1984 po skupinah škodljivih snovi (prah, ogljikovodiki, dušikovi oksidi, žveplov oksidi, ogljikov monoksid), povzročiteljih, med katerimi so tudi elektrarne ter po absolutnem in relativnem deležu onesnaženosti, ki ga povzročitelji prispevajo. Razmerja med prispevki različnih onesnaževalcev se lahko v

Poraba primarne energije in onesnaženje zraka v ZR Nemčiji (1984)



Slika 2. Poraba primarne energije in onesnaženje zraka v ZR Nemčiji (1984) Vir: (1a)

drugih državah oziroma predelih razlikujejo, velja pa, da so pri termoelektarnah običajno najbolj problematične emisije žveplovega dioksida in dušikovih oksidov, ki so tudi osrednji predmet zanimanja ekoloških analiz. V primeru je značilen majhen delež onesnaževanja, ki ga prispeva nemška elektroenergetika v primerjavi z visokim deležem primarne energije, ki jo porabi. Ta delež se še zmanjšuje, tako da termoelektarne npr. niso več največji vir emisije SO<sub>2</sub>.

Za SR Slovenijo nimamo na razpolago tako kompletnih podatkov, vendar lahko v tabeli 1 vidimo pregled emisij škodljivih snovi – produktov izgorevanja premoga v termoelektarnah in toplarnah v letu 1986. Emisije so zelo visoke, kar se vidi iz dane primerjave s podatki za ZR Nemčijo (tabela 2). Opazno je, da so emisije dušikovih

Tabela 1. Emisija škodljivih snovi – produktov zgorevanja premoga v termoelektarnah in toplarnah v letu 1986

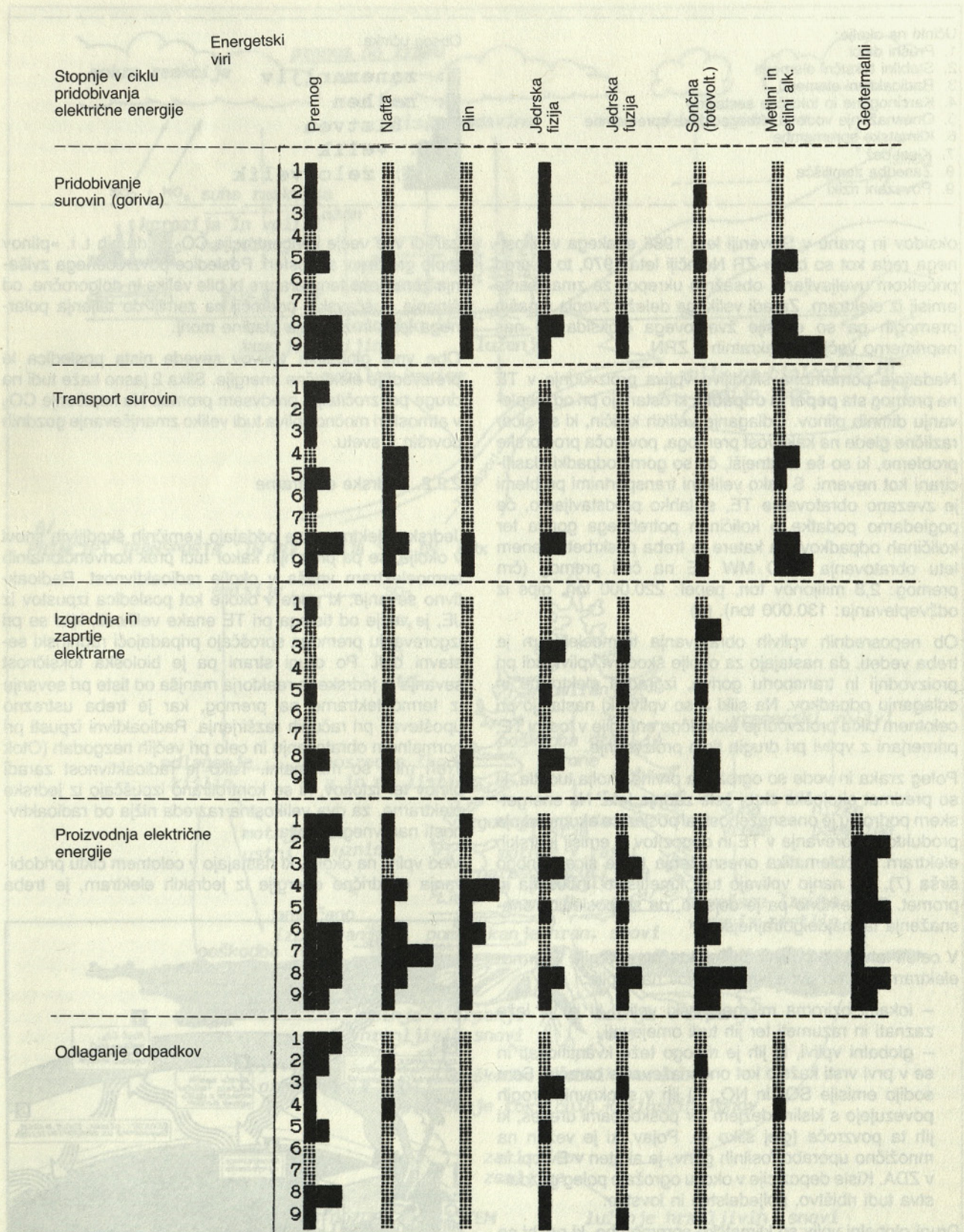
TE agregat	Proizvodnja GWh	Prah		SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>		Izpust trdih snovi v tekočo vodo	
		g/kWh	t	g/kWh	t	g/kWh	t	g/kWh	t
TE Šoštanj	3.448,2	1,3	4.600	31	108.000	3,1	10.800	–	–
1-3	469,6	0,6	300	37	17.000	3,7	1.700		
4	1.282,3	2,0	2.600	31	40.000	3,1	4.000		
5	1.696,3	1,0	1.700	30	51.000	3,0	5.100		
TE Trbovlje	460,5	3,0	1.400	50	23.000	1,7	800		
P-1	17,9	28,4	500	112	2.000	3,5	100	1,0	17.000
P-2	442,6	2,0	900	48	21.000	1,6	700	–	–
TO Ljubljana	508,8	1,9	1.000	44	23.000	1,5	800	–	–
8-1	264,6	1,9	500	44	12.000	1,5	400		
8-2	244,2	1,9	500	44	11.000	1,5	400		
Skupaj TE + TO	4.421,1	1,7	7.000	36	150.000	3,1	13.000		17.000

Vir: (3)

Tabela 2. ZR Nemčija – Razmerje emisij iz TE-TO in proizvodene elektrike in toplote (v g/kWh)

Emisije	1970	1974	1978	1982	1984	1995
SO <sub>2</sub>	6,1	5,6	4,9	4,4	3,7	0,95
NO	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	0,46
prah	1,0	0,57	0,43	0,36	0,36	0,16

Vir: (4)



Slika 3. Vpliv na okolje pri različnih energetskih virih

Vir: (6)

Učinki na okolje:

1. Prašni delci
2. Stabilni toksični elementi
3. Radioaktivni elementi
4. Karcinogene in toksične sestavine
5. Onesnaženje vode in hidrogeološke spremembe
6. Klimatske spremembe
7. Kisel dež
8. Zasedba zemljišča
9. Povezani riziki

oksidov in prahu v Sloveniji leta 1986 enakega velikostnega reda kot so bile v ZR Nemčiji leta 1970, to je pred pričetkom uveljavljanja obsežnih ukrepov za zmanjšanje emisij iz elektrarn. Zaradi velikega deleža žvepla v naših premogih pa so emisije žveplovega dioksida pri nas neprimerno večje od takratnih v ZRN.

Nadaljnja pomembna škodljiva vpliva proizvodnje v TE na premog sta **pepel in odpadki**, ki ostanejo pri odžveplevanju dimnih plinov. Odlaganje velikih količin, ki so sicer različne glede na kakovost premoga, povzročata prostorske probleme, ki so še akutnejši, če so gornji odpadki klasificirani kot nevarni. S kako velikimi transportnimi problemi je zvezano obratovanje TE, si lahko predstavljamo, če pogledamo podatke o količinah potrebnega goriva ter količinah odpadkov, za katere je treba poskrbeti v enem letu obratovanja 1300 MW TE na črni premog (črn premog: 2,8 milijonov ton, pepel: 220.000 ton, gips iz odžveplevanja: 130.000 ton). (5)

Ob neposrednih vplivih obratovanja termoelektarn je treba vedeti, da nastajajo za okolje škodljivi vplivi tudi pri proizvodnji in transportu goriva, izgradnji elektrarne in odlaganju odpadkov. Na sliki 3 so vplivi, ki nastajajo pri celotnem ciklu proizvodnje električne energije v fosilni TE, primerjani z vplivi pri drugih tipih proizvodnje.

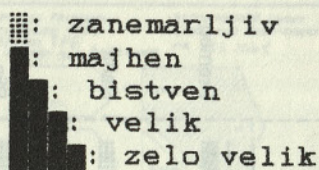
Poleg zraka in vode so ogrožena prvina okolja tudi tla, ki so predmet ekološke skrbi šele zadnja leta. Na energetskem področju je onesnaženost tal posledica akumuliranja produktov zgorevanja v TE in depozitov iz emisij jedrskih elektrarn. Problematika onesnaženja tal je sicer mnogo širša (7), saj nanjo vplivajo tudi kmetijstvo, industrija in promet. Pomembno pa je dejstvo, da so posledice onesnaženja tal najdaljotrajnejše.

V celoti lahko pri proizvodnji električne energije v termoelektarni ločimo dve vrsti učinkov na okolje:

- lokalni oziroma mikroekološki vplivi, ki jih je lažje zaznati in razumeti ter jih tudi omejevati,
- globalni vplivi, ki jih je mnogo težje kvantificirati in se v prvi vrsti kažejo kot onesnaževanje ozračja. Sem sodijo emisije  $SO_2$  in  $NO_x$ , ki jih v strokovnih krogih povezujejo s kislim dežjem ter poškodbami dreves, ki jih ta povzročata (glej sliko 4). Pojav, ki je vezan na množično uporabo fosilnih goriv, je akuten v Evropi in v ZDA. Kisle depozicije v okolju ogrožajo poleg gozdarstva tudi ribištvo, poljedelstvo in lovstvo.

Drugi globalni vpliv so klimatske spremembe, ki naj bi se pojavile zaradi učinka tople grede (slika 5), nastalega

Obseg učinka:



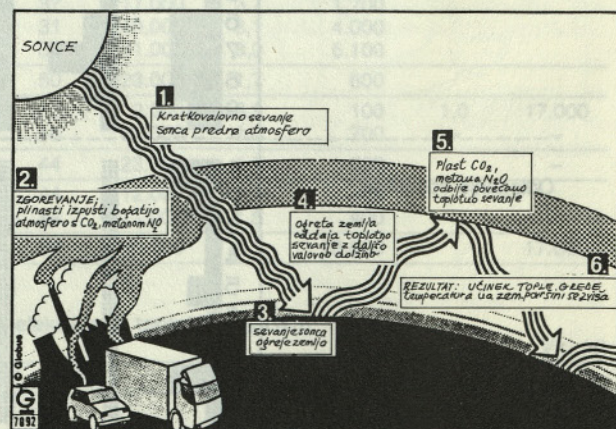
zaradi vse večje koncentracije  $CO_2$  in drugih t. i. »plinov tople grede« v atmosferi. Posledice povzročene zvišanja zemeljske temperature bi bile velike in dolgoročne, od širjenja puščavskih področij na zemlji do taljenja polarnega ledu in zvišanja gladine morij.

Obe vrsti globalnih vplivov seveda nista posledica le proizvodnje električne energije. Slika 2 jasno kaže tudi na druge povzročitelje, predvsem promet. Na kopičenje  $CO_2$  v atmosferi močno vpliva tudi veliko zmanjševanje gozdnih površin v svetu.

## 2.2.2. Jedrske elektrarne

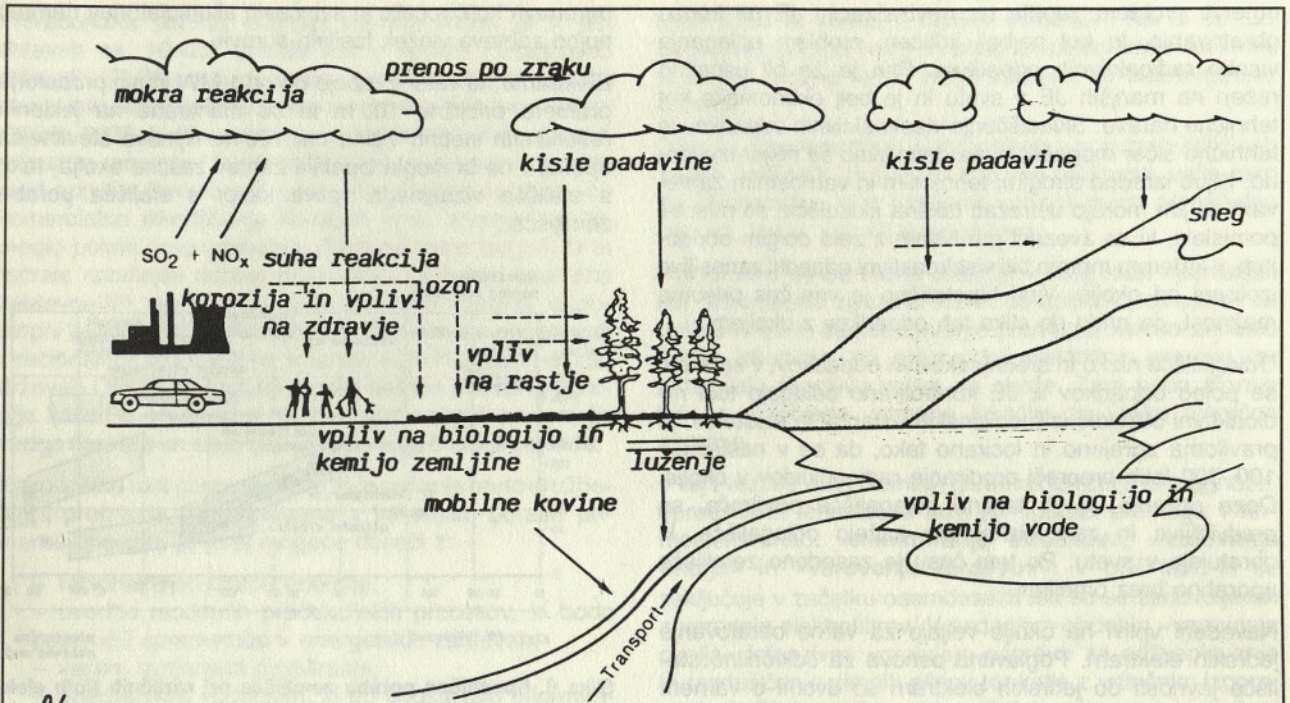
Jedrske elektrarne ne oddajajo kemičnih škodljivih snovi v okolje, se pa prek njih kakor tudi prek konvencionalnih termoelektarn vnaša v okolje radioaktivnost. Radioaktivno sevanje, ki pride v okolje kot posledica izpustov iz JE, je večje od tistega pri TE enake velikosti, kjer se pri izgorevanju premoga sproščajo pripadajoči rudninski sestavni deli. Po drugi strani pa je biološka toksičnost sevanja iz jedrskega reaktorja manjša od tiste pri sevanju iz termoelektarne na premog, kar je treba ustrezno upoštevati pri računih razširjenja. Radioaktivni izpusti pri normalnem obratovanju in celo pri večjih nezgodah (Otok Treh milj) so minimalni. Tako je radioaktivnost zaradi plinov ter iztokov, ki se kontrolirano izpuščajo iz jedrske elektrarne, za dva velikostna razreda nižja od radioaktivnosti naravnega okolja.

Med vplivi na okolje, ki nastajajo v celotnem ciklu pridobivanja električne energije iz jedrskih elektrarn, je treba

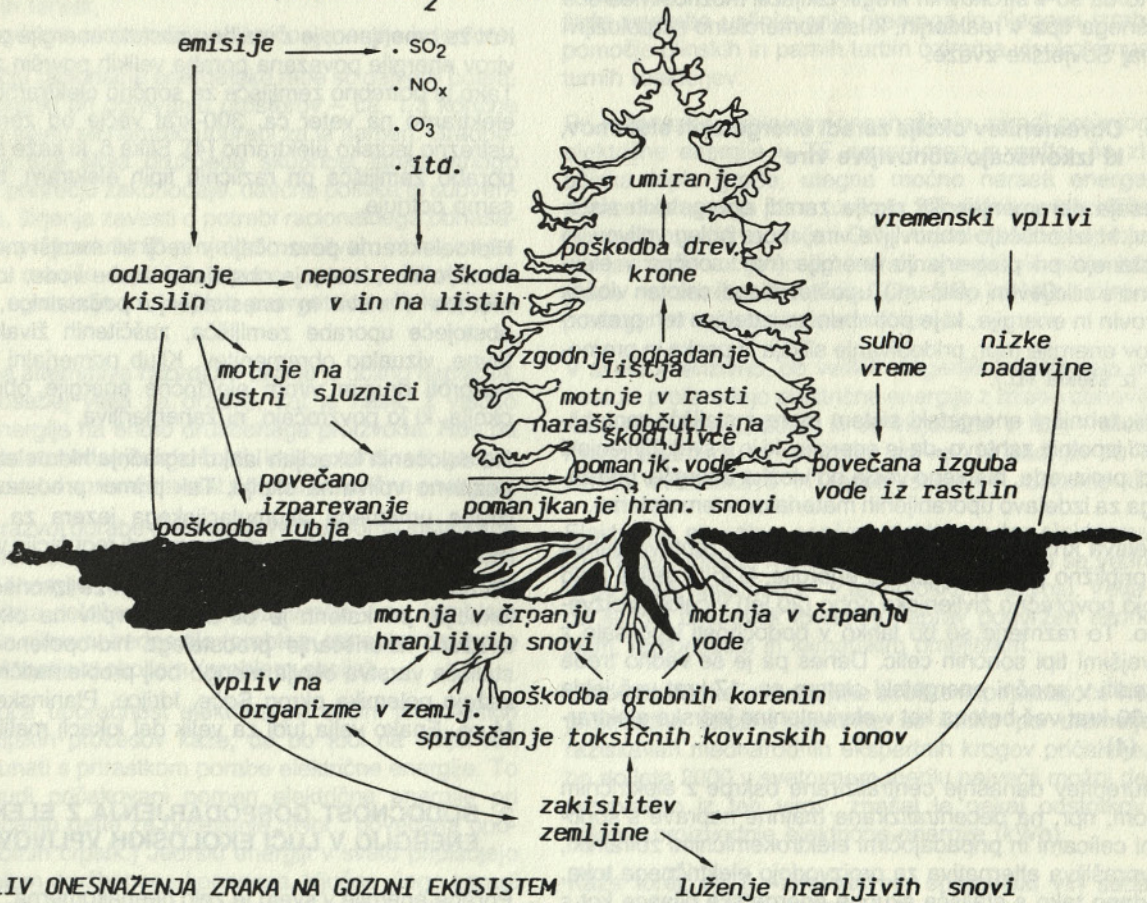


Slika 5. Učinek tople grede

Vir: (8)



A/ PRINCIPI TRANSPORTA IN ODLAGANJA SO<sub>2</sub> IN NO<sub>x</sub>



B/ VPLIV ONESNAŽENJA ZRAKA NA GOZDNI EKOSISTEM  
Slika 4

Vir: (6)

omeniti problem zaprtja ter nevtralizacije JE po koncu obratovanja, in kot najbolj kritičen, problem odlaganja visoko radioaktivnih odpadkov. Prvi je že bil uspešno rešen na manjših JE v svetu in je bolj ekonomske kot tehnične narave. Skladiščenje visokoaktivnih odpadkov je tehnično sicer mogoče, ni pa definitivno še nikjer izvedeno. Kljub izredno strogim, tehničnim in varnostnim zahtevam, ki jim morajo ustrezati takšna skladišča, so prisotni pomisleki, ki so zvezani predvsem z zelo dolgim obdobjem, v katerem morajo biti visokoaktivni odpadki zanesljivo izolirani od okolja. Vsaj hipotetično je ves čas prisotna možnost, da pride do stika teh odpadkov z okoljem.

Odlagališče nizko in srednjeaktivnih odpadkov, v katerem se poleg odpadkov iz JE kontrolirano odlagajo tudi radioaktivni odpadki iz medicinskih ustanov in institutov, je praviloma zgrajeno in locirano tako, da se v naslednjih 100–300 letih prepreči prodiranje radionuklidov v okolje. Doze sevanja, ki jih takšno odlagališče povzroča, so predvidljive in zelo nizke, kar kažejo odlagališča, ki obratujejo v svetu. Po tem času je zasedeno zemljišče uporabno brez omejitev.

Navedeni vplivi na okolje veljajo za varno obratovanje jedrskih elektrarn. Poglavitna osnova za odklonilno stališče javnosti do jedrskih elektrarn so dvomi o varnem obratovanju le-teh, ki so močnejši po Černobilu, ne glede na to da so v strokovnih krogih izključili možnost nesreče takšnega tipa v reaktorjih, ki so komercialno razpoložljivi zunaj Sovjetske zveze.

### 2.3. Obremenitev okolja zaradi energetskih sistemov, ki izkoriščajo obnovljive vire

Presoja obremenjenosti okolja zaradi energetskih sistemov, ki izkoriščajo obnovljive vire, mora poleg vplivov, ki nastanejo pri pretvarjanju energije (npr. sončna v električno s silicijevimi celicami), upoštevati tudi celoten vložek surovin in energije, ki je potreben za izdelavo teh pretvornikov energije (npr. pridobivanje silicija iz peska in premoaga, iz stekla itd.).

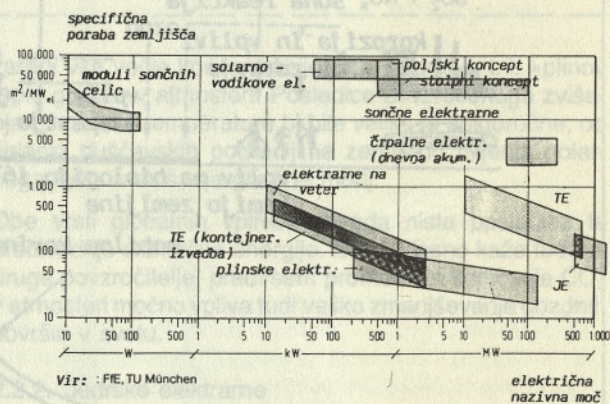
Velik tehnični energetski sistem mora s stališča rentabilnosti izpolniti zahtevo, da je energija, ki jo v svoji življenjski dobi proizvede, bistveno večja od vložka energije, potrebne za izdelavo uporabljenih materialov v tem sistemu.

Izdelava kristalnih silicijevih sončnih celic zahteva danes še približno polovico količine energije, ki jo te celice med svojo povprečno življenjsko dobo (20 let) v celoti proizvedejo. To razmerje se bo lahko v bodočnosti izboljšalo z novjšimi tipi sončnih celic. Danes pa je še vedno treba vgraditi v sončni energetski sistem ca. 17-krat več jekla ter 60-krat več betona kot v ekvivalentno jedrsko elektrarno. (4)

Preureditev današnje centralizirane oskrbe z električnim tokom, npr. na decentralizirane majhne naprave s sončnimi celicami in pripadajočimi elektrokemičnimi zbiralniki, je vprašljiva alternativa za proizvodnjo električnega toka, gledano tako s stališča skupne energetske bilance kot s stališča obremenitve okolja. Tehnični postopek pri izdelavi

ogromnih količin celic in svinčevih akumulatorjev namreč nujno zahteva vložek fosilnih surovin.

Elektrarne na veter z močjo okrog 1 MW imajo propelerje premera približno 100 m in so montirane na jeklenih rešetkastih stebrih višine ca. 100 m. Njihova številnejša uporaba ne bi mogla izpolniti zahtev zaščite okolja, tako s stališča vizualnega vpliva kakor s stališča porabe zemljišča.



Slika 6. Specifična poraba zemljišča pri različnih tipih elektrarn

Vir: (11)

Kot že omenjeno, je z majhno gostoto energije obnovljivih virov energije povezana poraba velikih površin zemljišča. Tako je potrebno zemljišče za sončno elektrarno oziroma elektrarno na veter ca. 300-krat večje od zemljišča za ustrezno jedrsko elektrarno (4). Slika 6, ki kaže specifično porabo zemljišča pri različnih tipih elektrarn, to dejstvo samo potrjuje.

Hidroelektrarne povzročajo v večji ali manjši meri motnje v mikroklimi, motenje obstoječe izrabe vode, toka, spremembe v višini in onesnaženju podtalnice, motenje obstoječe uporabe zemljišča, zaščitenež živalskih vrst, favne, vizualno obremenitev. Kljub primerjalni prednosti nasproti drugim virom električne energije obremenitev okolja, ki jo povzročajo, ni zanemarljiva.

Na določenih lokacijah lahko izgradnja hidroelektrarn tudi pozitivno vpliva na okolje. Tak primer predstavljata npr. izraba umetnega akumulacijskega jezera za turistične namene ter preprečitev poplav zaradi regulacije vodotoka.

Za Slovenijo velja, da so v večji meri že izkoriščene tiste lokacije, pri katerih je bil škodljiv vpliv na okolje manj izražen. Izkoriščanje preostalega hidropotenciala bo s stališča varstva okolja mnogo bolj problematično, na kar kažejo polemike okrog Soče, Idrijce, Planinskega polja, Mure. Enako velja tudi za velik del lokacij malih HE.

### 3. BODOČNOST GOSPODARJENJA Z ELEKTRIČNO ENERGIJO V LUČI EKOLOŠKIH VPLIVOV

Poraba energije v svetu je zelo neenakomerna: 76 % ljudi v nerazvitih državah porabi samo 24 % vse energije.

Preračunana poraba energije na prebivalca je v teh državah ca. 10-krat manjša kot v razvitih industrijskih državah. (9) Ob predvideni demografski rasti prebivalstva se v svetu ocenjuje tako veliko povečanje porabe energije do leta 2030, ki bi v primerjavi z razpoložljivimi zalogami primarne energije že predstavljalo potencialni konflikt med razvitim Severom in nerazvitim Jugom, še zlasti, če komercialno izkoriščanje novejših virov energije ne bo moglo pokriti povpraševanja. Da bi se temu izognili, bi si morale razvitejše države prizadevati za izrabo kapitalno zahtevnejših virov, ki so težje dostopni oziroma nedostopni tehnološko manj razvitim državam ter nadaljevati z racionalno rabo energije, ki je npr. v ZR Nemčiji in drugih državah OECD že zaustavila rast porabe primarne energije. (10) Povpraševanje po električni energiji pri tem še vedno narašča ter sledi rasti družbenega bruto proizvoda.

Kakovostno rast gospodarstva, to je večanje bruto družbenega proizvoda, ki ni zvezano z večanjem porabe primarne energije, je torej mogoče doseči z:

- racionalnejšo izrabo energije,
- uvedbo modernih produkcijskih procesov, ki bodo povzročili spremembe v energetskih zahtevah,
- večjim uvajanjem recikliranja,
- energetskim vodenjem, ki bo upoštevalo informiranje uporabnikov in uporabo modernih merilnih in regulacijskih tehnik,
- integrirano proizvodnjo električne energije in toplote.

Na področju racionalne energetske rabe so največji potencialni prihranki pri ogrevanju prostorov – ca. 1/3 končne energije v svetu se namreč uporabi za ta namen. Gradbeništvo, pa tudi širša družbena skupnost lahko mnogo storita na področju zakonodaje, davčne politike in subvencioniranja, širjenja zavesti o potrebi racionalnega obnašanja in tudi pri konkretnih projektnih rešitvah, ki naj zagotovijo čim manjše toplotne izgube, uporabo izboljšanih sistemov ogrevanja in nasploh energetske učinkovitejše zgradbe.

Enostavna alternativa **razvoj ali okolje** je očitno napačna, kar še posebej velja za države, kot je naša, z visoko porabo energije na enoto družbenega proizvoda. Res pa je, da je po dosedanjih izkušnjah kakovostno rast gospodarstva povsod spremljala rast porabe električne energije.

Prihodnji razvoj porabe elektrike (kWh) oziroma instalirane moči v elektrarnah (MW) in pripadajoči vložek nosilcev primarne energije (vodna sila, premog, plin, nafta, jedrska goriva) bosta določena z razpoložljivostjo virov (problem količine), z njihovo vrednostjo (problem cene) ter z njihovo kompatibilnostjo z okoljem (problem okolja).

Naraščajoča uporabnost elektrike pri večini tehnoloških in inovacijskih procesov kaže, da bo tudi na daljši rok treba računati s prirastkom porabe električne energije. To potrjuje tudi pričakovani pomen električne energije pri nadomeščanju nafte za ogrevanje. (Npr.: povečana uporaba toplotnih črpalk.) Jedrski energiji v svetu pripisujejo pod pogojem družbenega konsenza, ključno vlogo zaradi cenovno ugodnejše proizvodnje električne energije v pasu, to je osnovnega dela energije, ki mora biti na razpolago

vseh 8760 ur v letu. Z njenim uvajanjem naj bi se tudi zmanjšala poraba nafte in plina za proizvodnjo elektrike in bi bila možna njuna večja uporaba za neenergetske potrebe.

Dejstvo, da premoga ni na razpolago v poljubnih količinah zaradi omejenih izkopov in uvoznih možnosti, velja tako za ZR Nemčijo, ki jo jemljemo kot nekakšno primerjalno osnovo, kakor tudi za našo državo.

Dolgoročno se bo moral premog v večji meri uporabljati kot nadomestilo za nafto in plin ob uporabi postopkov za uplinjevanje in utekočinjevanje premoga, kar bo prineslo boljše izkoristke pri proizvodnji električne energije ter zmanjšalo škodljive vplive na okolje. Zato bodo morale biti na razpolago ustrezne lokacije za velike tehnične naprave.

V tej zvezi so v ZR Nemčiji, glede na izkušnje in prognoze, opredelili tri tehnološke faze pri uporabi premoga v termoelektarnah: »**minimiranje stroškov**«, »**varovanje okolja**« in »**varovanje resursov**«. V prvi fazi, ki se zaključuje v začetku osemdesetih let, so se zadovoljevali z vgradnjo elektrofiltrov. V sedanjem obdobju »varovanja okolja« intenzivno vgrajujejo naprave za odžvepljevanje in razdušičenje dimnih plinov ter kotle z vrtninim izgorevanjem. Ob koncu devetdesetih let napovedujejo prehod v obdobje »varovanja resursov«, ki naj bi ga omogočila širša uporaba uplinjevanja premoga in njegova izraba s pomočjo plinskih in parnih turbin oziroma visokotemperaturnih reaktorjev.

Pri reševanju problemov onesnaženja zaradi proizvodnje električne energije v TE na premog in nafto, še zlasti učinka tople grede, utegne močno narasti energetski pomen naravnega plina (uvoz iz SZ, Alžirije). Izkoriščanje plina, ob manjših emisijah CO<sub>2</sub>, ni podvrženo nasprotovanju javnosti, kot je to pri jedrski energiji, ki sicer lahko, glede na odsotnost emisij CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> in NO<sub>x</sub>, bistveno pomaga pri reševanju teh problemov.

V svetu intenzivno, ob velikih vlaganjih, raziskujejo možnost za proizvodnjo električne energije z izrabo obnovljivih naravnih virov. Države, ki so vključene v IEA – Mednarodno agenturo za energijo, so npr. v zadnjih 10 letih vložile v raziskave in razvoj skoraj 4 milijarde USD.

Elektrarne na veter, sončne elektrarne ter elektrarne, ki izkoriščajo toploto morske vode in zemlje, so še vedno – in še nekaj časa bodo – v tehnološkem razvoju. Velja pa, da je tudi prispevek tovrstnih naprav podvržen ekonomskim, regionalnim in klimatskim omejitvam.

Glede na visoke investicijske stroške in pripadajoče visoke proizvodne stroške elektrike se lahko po utemeljenih raziskavah mednarodnih ekspertnih krogov pričakuje, da bo do leta 2000 v svetovnem merilu največji možni delež, proizveden iz teh virov, znašal le nekaj odstotkov od celotne proizvodnje električne energije (kWh).

Kaže torej, da ti »alternativni« energetski viri sedaj in dolgoročno sicer ne nudijo prave alternative, predstavljajo pa pri dani gospodarnosti dobrodošel dodatni vir energije.

Možnosti za oskrbo z energijo v naslednjem tisočletju je analiziral IIASA – Mednarodni institut za uporabne sistemске analize, katerega sklep je bil, da je problem energije mogoče rešiti. Vrsta energetskega oprijema (premog v velikem obsegu, oplodni reaktorji v velikem obsegu, sončna energija, fuzija, geotermična energija), ki jih navajajo (4), bi z uvedbo prispevala tudi k reševanju problemov okolja in surovin. Prvi pogoj za njihovo uveljavitev pa je angažiranje vseh razpoložljivih virov energije, kapitala, dela in znanosti. Najnovejše ugotovitve na tem področju (Haefele), ki upoštevajo tudi nujno potrebo po zmanjšanju emisij CO<sub>2</sub> zaradi preprečitve učinka tople grede, pristajajo že samo pri dveh osnovnih strateških opcijah, in sicer:

- »trda« sončna energija, tj. široka uporaba sončne energije s sončnimi kolektorji na ogromnih puščavskih ali sicer nezanimivih področjih in
- jedrska energija, tj. izkoriščanje cepitve jeder v oplodnih reaktorjih in jedrska fuzija.

Med obnovljivimi viri je torej najbolj obetavna sončna

energija, in sicer njena izraba v decentraliziranih napravah, kjer bo proizvodnja električne energije s pomočjo fotovoltlnih celic povezana s pridobivanjem vodika (11). Na ta način bi tehnično rešili ključni problem shranjevanja pridobljene energije, medtem ko ostane problem ekonomičnosti še odprt. Pridobljeni vodik ima širok spekter uporabe; z gorivnimi celicami ali prek generatorja ga je mogoče spreminjati v električno energijo, uporaben je kot pogonsko gorivo in toplotni vir. Po ekološki plati je pomembno dejstvo, da pri zgorevanju vodika s kisikom ne nastajajo spojine, ki onesnažujejo okolje. Uporaba solarno-vodikovega projekta v okviru osnovne energetske opcije (»trda« sončna energija) bo omejena zaradi nujne prisotnosti vode.

Predvidevanja o tem, kako se bo razvijala poraba energije v svetu, se sicer zelo razlikujejo. Razlike v ocenah porabe primarne energije leta 2020 (8) so več kot 100-odstotne, kar bo seveda bistveno vplivalo na ekološko obremenitev okolja.

## LITERATURA

1. Umwelt und Energie, Handbuch fuer betriebliche Praxis, zvezek 1, poglavje 3/86b – Strom (Franck 1981), Haufe Verlag, Freiburg 1980.
- 1a. ibid, zvezek 5, pogl. 3/86b – Strom (Reiter–1988).
2. Symposium Kriterien und Verfahren fuer die Wahl von Kraftwerkstandorten, Stuttgart 1978; Landschaftsoekologische Aspekte bei der Standortwahl von thermischen Kraftwerken, U. Bernard, G. Kaule.
3. Podatki Splošnega združenja za energetiko, 1987.
4. Umwelt und Energie, zvezek 2, poglavje 8-Energieversorgung (Reiner Kuba 1986).
5. Umweltschutz in Waermekraftwerken, Basisthema Strom, Informationzentrale der Elektrizitaetswirtschaft, e.V., 6000 Frankfurt 70.
6. World Energy Conference Cannes 1986, Synthesis of the Proceedings, TS 2,4 Energy and Environment.
7. Revija za razvoj št. 2 1988, L. Peterle: Ali smo padli na trda tla?
8. Energie Spektrum, avgust 1988.
9. Energie & Automation, št. 9 1987, Siemens, K. Barthelt: Entwicklungsperspektiven in der Nuklearindustrie.
10. Environmental Effects of Electricity Generation: A Report in the Compass Series, OECD, Paris 1985.
11. Strom aus regenerativen Energien, Beispiel: Photovoltaik, HEA – Arbeitskreis Schulinformation Energie, Frankfurt/Main.

## Navodila za pripravo člankov in poročil za Gradbeni vestnik

Verzija: 15. 11. 1987

1.

Avtor s spremnim pismom predloži original in dve kopiji besedila uredniku Gradbenega vestnika na FAGG. V spremnem pismu označi naravo besedila (članek, poročilo). Urednik s pismom potrdi, da je besedilo prejel.

2.

Besedilo mora biti napisano v slovenščini. Tipično besedilo je takole sestavljeno:

- Naslov prispevka.
- Seznam avtorjev (brez nazivov; najprej ime, nato priimek; če je več avtorjev, jih

razmejimo z vejicami – brez »in«; vse velike črke).

- Naslov **Povzetek**, nato povzetek v slovenščini (Pozor: ne »izvleček«).
- Naslov **Summary**, nato naslov prispevka v angleščini (velike črke).
- Povzetek v angleščini.
- Naslov UVOD in besedilo.
- Naslovi POGLAVIJ (RAZDELKOV) in besedila

(Pozor: naslovi poglavij/razdelkov, velike črke!)

- Literatura (male črke, podčrtano oziroma polkrepko).

– Zahvale (male črke, podčrtano oziroma polkrepko).

– Dodatki.

(Pozor: VSI naslovi so poravnani na levi rob!)

Na prvi strani na spodnjem robu pod črto je dodatno:

**Avtor(ji):**

Ime in priimek avtorja (avtorjev), strokovni nazivi, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD gradbeništvo in geodezija, *katedra oziroma interna enota*. Opomba: pravilno je dipl. gradb. inž.!



3.

Besedilo mora biti natipkano na bel papir dimenzij  $21 \times 29,7$  cm. Širina besedila je obvezno največ 54 znakov na vrstico (vkjučeni so presledki in ločila). Med vrsticami je velik razmik (prostor za lektoriranje). Priporočamo 34 vrstic na stran. Strani besedila naj bodo oštevilčene od 1 dalje.

Novi odstavki začnejo v 1. stolpcu, brez odmika! Nov odstavek nakažemo z eno dodatno prazno vrstico pred odstavkom.

4.

Če je mogoče, prikazati slike (diagrame, preglednice, fotografije – črno bele) na posebnih listih enakih dimenzij kot besedilo. Priporočljiva, a ne obvezna širina slik je 16 cm. Če bo mogoče, bodo slike pred natisom pomanjšane na širino stolpca, to je na 8 cm (dvakratna pomanjšava). Avtor lahko na osnovi teh predpostavk sam izračuna število vrstic, ki jih bo v članku zavzemala slika. Slike morajo biti oštevilčene in morajo imeti ustrezne podnapise. Podnapis izgleda takole:

#### Slika 5. Upogibnica prostoležečega nosilca

(Za številko slike je pika; podčrtano besedilo označuje polkrepke črke.) Povprečna 8 cm široka slika zavzema brez podnapisa okrog 20 vrstic. Preglednice morajo imeti naslov, na primer

#### Preglednica 1: Vrednosti faktorja dušenja.

5.

Dolžina poročila je – vključno s povzetkoma, literaturo, slikami, zahvalami in dodatki – omejena na 200 vrstic s po 54 znaki, kar znaša okrog 6 strani s po 34 vrsticami. Dolžina članka je ob enakih predpostavkah omejena na 15 strani.

6.

Seznam uporabljenih in citiranih del naj bo oštevilčen po vrstnem redu nastopanja in naj bo narejen v skladu s priloženimi primeri. Avtor se v besedilu sklicuje na ta dela s citiranjem številke dela v *oglatem* oklepaju. (Lahko je tudi okrogli oklepaj, če se ne meša z oznakami enačb ali opomb.) Če seznam ne bo narejen v skladu s primeri, besedilo ne bo moglo biti objavljeno.

#### Primeri:

1. F. Vodopivec, Trigonometrično višino-merstvo, učbenik, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 98 strani (1985).
2. A. Krainer, Energija v zgradbi, publikacija Katedre za stavbe in konstrukcijske elemente, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, številka 11, 31 strani +5 strani prilog (1985).
3. F. Kržič, G. Nenadić, Adaptacije, rekonstrukcije i sanacije čeličnih konstrukcija, posvetovanje Zveze društev gradbenih konst-

rukterjev Jugoslavije, Simpozijum 1985, Dubrovnik, 23.–26. 4. 1985, zbornik del GR-3, strani 52–56 (1985).

4. B. Majes, D. Battelino, Effect on surface reinforcing of soft soils, 11. mednarodni kongres za mehaniko tal in temeljenje, San Francisco, ZDA, 12.–16. 8. 1985, zbornik del, strani 1729–1734 (1985).

5. M. Saje, S. Srpič, Large deformations of in-plane beam, International Journal of Solids and Structures, Pergamon Journals Ltd., vol. 21, No. 12, str. 1181–1191 (1985).

6. Specifications for the design, fabrication and erection of structural steel for buildings, Amer. Inst. Steel Const., Chicago, Ill., ZDA (1978).

7. B. Majes, Hkratna analiza deformacij in stabilnosti tal v ravninsko deformacijskih pogojih, magistrska naloga, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 175 strani (1985).

8. T. Kastelic, J. Štublar, T. Maher, D. Zupančič. Optimalno upravljanje semafornih naprav vzdolž arterije, raziskovalna naloga, Posebna raziskovalna skupnost Slovenije za promet in zveze, pogodba 07-2157-792, 88 strani (1985).

9. H. Yamanuchi, v zasebnem pogovoru (1981).

10. M. Marinček, Fundamentalne lastnosti kovin, predavanje na seminarju za podiplomske študente na VTOZD Fizika, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 24. 5. 1985.

11. J. Novak, neobjavljeno delo (1987).

7.

V besedilu je možna uporaba normalnega tiska, krepkega tiska, poševnega tiska, grških črk, matematičnih simbolov, oglatih oklepajev, indeksov (spodnjih in zgornjih) itd.

8.

#### Napotki za pisanje besedila

Uporabljate:

- *povzetek* namesto izvleček;
- *preglednica* namesto tabela;
- *summary* namesto abstract;
- *inz.* namesto ing.;
- *sklepi* namesto zaključki;
- *maks* namesto max;
- *decimalno vejico* namesto pike (na primer 3,141592 namesto 3.141592); če imamo raje decimalno piko, naj bo ta pozicionirana zgoraj, na primer 3.141592;
- pri oštevilčenju enačb nič pikic pred enačbo (torej NE na primer ... (11), pravilno samo (11));
- za naslove razdelkov in poglavij **VELIKE** tiskane črke, razen za Literaturo, Zahvale in Dodatek, kjer uporabimo male podčrtane (ali polkrepke) črke;
- če so poglavja oštevilčena, za številko postavimo piko, na primer

1.0. UVOD

3.2. Raziskave tržišča

– pri postavljanju ločil (vejice, pike, pomišljaji, klicaji) je priporočljivo enačbe v besedilu upoštevati na enak način kot besede:

če je na primer enačba na koncu stavka, ima piko, če zaključuje odvisni stavek, ima vejico itd.;

– v seznamu literature posamezne postavke v celoti poravnamo na levi rob – glejte primere v točki 6 zgoraj.

9.

#### Avtorjevi napotki tiskarjem

Avtor naj na originalu s svinčnikom na rob ali nad nenavadnim znakom napiše tiste napotke za tiskarje, ki bodo povečali razumevanje besedila in uporabljenih oznak. Nekaj primerov:

– odvodi, parcialni odvodi, variacije, spremembe, na primer

$x, dF, dt, \Delta o,$

bodo natisnjeni s prevelikim presledkom, približno takole

$x, d F, d t, \Delta o,$

če ne bomo na originalu s svinčnikom napisali veznih znakov

$x, dF, dt, \Delta o;$

– časovni odvodi, ki jih označujemo s piko nad odvajano funkcijo, bodo najbrž natisnjeni s piko, ki bo predaleč od znaka, če s svinčnikom ne nakažemo, da mora biti pika blizu znaka;

– tiskarji ne bodo pisali ločil za enačbami (glej točko 8), četudi so v originalu; če želimo, da so ločila natisnjena, moramo na začetek rokopisa na vidno mesto napisati »Ločila po rokopisu!«;

– stopinje Celzija (itd.) ( $^{\circ}C$ ) bo tiskar postavil tako, da bo med številko in  $^{\circ}C$  presledek, med  $^{\circ}$  in C pa ne bo presledka; če želimo drugače, to s svinčnikom napišemo;

– čela v besedilu uporabljamo neobičajne črke (grške, hebrejske, cirilico, gotico itd.), jih na robu opišemo, na primer: veliki grški omega;

– tiskarji bodo stavili decimalne vejice, četudi so v rokopisu uporabljene decimalne pike; če želimo decimalne pike, napišemo opombo »Staviti decimalne pike, ne vejic!«.

10.

Članki so recenzirani in ocenjeni. Recenzijo in oceno opravi dva, avtorju anonimna recenzenta. Ocena je opisna in izbira med naslednjimi izjavami:

a) objaviti;

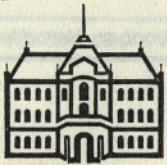
b) pogoje objaviti: predhodno popraviti (skrajšati, dopolniti, izboljšati besedilo, jezik ali tehnično izvedbo itd.); ponovna recenzija ni potrebna;

c) pogojno objaviti: predhodno popraviti in ponovno predložiti v recenzijo;

d) ne objaviti.

Če sta mnenji recenzentov nasprotujoči, lahko o objavi odloča urednik. Skupno mnenje recenzentov in urednika je dokončno. Odločitev o objavi in kopije recenzij dobi avtor v pisni obliki brž, ko so na voljo. Pritožbe niso mogoče in ne bodo upoštevane. Seznam dosedanjih recenzentov poročil in člankov je na voljo pri uredniku.

Uredniški odbor



## PROGRAM DIMJ ZA KONTROLO NOSILNOSTI JEKLENIH KONSTRUKCIJ

UDK 624.014:519.68

JURE BANOVEC, DARKO BEG, MATJAŽ MARTINČIČ

### POVZETEK

V prispevku so podane osnove računskega postopka za dimenzioniranje jeklenih konstrukcij po jugoslovanskih standardih za stabilnost jeklenih konstrukcij. Navedene so bistvene značilnosti računalniškega programa DIMJ, ki omogoča kontrolo nosilnosti jeklenih konstrukcij.

### A COMPUTER PROGRAM DIMJ FOR DIMENSIONING OF STEEL STRUCTURES

### SUMMARY

In this article the basis of dimensioning of steel structures according to the Yugoslav standards for stability of steel structures are given. The main characteristics of the computer program DIMJ for dimensioning of steel structures are presented.

### UVOD

Računalniški program DIMJ je namenjen dokazu nosilnosti samostojnih jeklenih elementov, elementov neprekinjenih nosilcev, nepomičnih in pomičnih okvirov. Element, ki ga želimo dimenzionirati s programom DIMJ, izrežemo iz konstrukcije (slika 1) in ga obremenimo z notranjimi silami, ki so rezultat predhodne analize konstrukcije. Pri tem upoštevamo pozitivne smeri notranjih sil, kot so prikazane na sliki 2. Obtežbo z notranjimi silami podajamo na konceh in v polju elementa. Tak element je pripravljen za dimenzioniranje s programom DIMJ. Program dopušča dimenzioniranje elementov z dvojno

in enojno simetričnimi I prerezi in škatlastimi prerezi (slika 2). Višina stojine je lahko konstantna ali pa se vzdolž elementa linearno spreminja. Zgornji in spodnji pas sta vzdolž elementa konstantna. Program v več prerezih vzdolž elementa kontrolira napetosti, preveri kompaktnost prerezov (lokalno izbočenje) in oceni stabilnost elementa glede na upogibna uklona (glavni vztrajnostni osi) in bočno zvrnitev.

Vnos podatkov pri programu DIMJ je v celoti podprt s programskim paketom MIGS (2). Pri izbrani geometriji, obtežbi in podpiranju elementa lahko vnašamo podatke interaktivno prek zaslona ali paketno prek datoteke. Program dopušča hkratno dimenzioniranje pri učinkovanju različnih (do treh) obtežb. Ves čas lahko pri interaktivnem načinu poljubno spreminjamo podatke in jih po želji pregledujemo. Navodila se pri vsakem ukaznem stavku izpišejo na zaslon, podrobnejše informacije pa so dosegljive s posebnim ukaznim stavkom. Program teče na oseb-

#### Avtorji:

Jure Banovec, prof. dr., dipl. gradb. inž., Darko Beg, asist. mag., dipl. gradb. inž., Matjaž Martinčič, dipl. gradb. inž., Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD gradbeništvo in geodezija, Katedra za Metalne konstrukcije.

DIMENZIONIRANJE - JUS

STRAN 1

KATEDRA ZA METALNE KONSTRUKCIJE IN GRADIVA - FAGG, Jamova 2, Ljubljana  
JUNIJ 1988

DVOOSNI UPOGIB Z OSNO SILO 12.12.1988

\*\*\*\*\*  
\* GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE IN MATERIAL :  
\*\*\*\*\*

* PREREZ	A - cm <sup>2</sup>	IX - cm <sup>4</sup>	IY - cm <sup>4</sup>	WX - cm <sup>3</sup>
*	G - Kg/m	IW - cm <sup>6</sup>	IT - cm <sup>4</sup>	WY - cm <sup>3</sup>
* ZACETNI PREREZ	53.00	12398.58	1067.30	677.52
*	42.40	341568.80	9.35	106.73
* KONCNI PREREZ	53.00	12398.58	1067.30	677.52
*	42.40	341568.80	9.35	106.73

\* DOLZINA ELEMENTA - cm: 400.00

\* MEJA PLASTICNOSTI..... 24.00 kN/cm<sup>2</sup>  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
\* OBTEZBA PO TEORIJI I. REDA - 1. OBTEZNI PRIMER :  
\*\*\*\*\*

* PREREZ	N	Mx	Qy	My	Qx
* ZACETNI PREREZ	-400.00	.00	20.00	.00	5.00
* KONCNI PREREZ	-400.00	.00	-20.00	.00	-5.00
* SREDINA	-400.00	4000.00		500.00	
* z = 200.0	-400.00	4000.00			

\*\*\*\*\*  
\* KONTROLA KOMPAKTNOSTI :  
\*\*\*\*\*

\* VITKOST =1.04 > 0.70.....VITEK ELEMENT

\* NAPETOSTNA KONTROLA :  
\*\*\*\*\*

\* SIGMAmax = -18.14 kN/cm<sup>2</sup> <= SIGMAmej = 24.00 kN/cm<sup>2</sup>.....ZADOSCA  
\* TAUmax = -1.02 kN/cm<sup>2</sup> <= TAUmej = 13.86 kN/cm<sup>2</sup>.....ZADOSCA  
\* SIGpri,max = 18.14 kN/cm<sup>2</sup> <= SIGMAmej = 24.00 kN/cm<sup>2</sup>.....ZADOSCA  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
\* KONTROLA STABILNOSTI - UPOGIBNI UKLON MOCNA - x OS :  
\*\*\*\*\*

\* STABILNOST .85 <= 1.00 ..... ZAGOTOVLJENA

\* KONTROLA STABILNOSTI - UPOGIBNI UKLON SIBKA - y OS :  
\*\*\*\*\*

\* STABILNOST 1.01 > 1.00 ..... NI ZAGOTOVLJENA

\* KONTROLA STABILNOSTI - BOCNA ZVRNITEV :  
\*\*\*\*\*

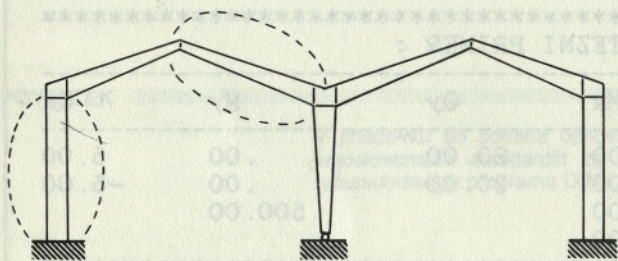
\* MXmer = 4000.00kNcm <= 16999.81 = MKD kNcm.....ZADOSCA  
\*\*\*\*\*

nih mikroročunalnikih. Rezultati računa so dostopni v krajši in daljši obliki in si jih lahko ogledamo, preden zaključimo račun. Krajši izpis rezultatov je namenjen za prilogo statičnemu računu (glej preglednico 1).

## 1.0. OSNOVE RAČUNSKEGA POSTOPKA

Osnove računskega postopka predstavljajo novi jugoslovanski standardi za stabilnost jeklenih konstrukcij. V veljavi so od aprila 1987, prinesli pa so mnogo novosti in sodobnejši način reševanja problematike stabilnosti jeklenih konstrukcij glede na neustrezne standarde iz 1980. leta.

Še vedno pa mnoge nejasnosti in slaba vsebinska povezava med razdelki novih standardov otežujejo inženirsko delo. Tako je ponekod govora o dopustnih napetostih, drugod o mejni nosilnosti, nekje pa o metodi mejnih stanj. Ni enovitih oznak za delovno in faktorirano obtežbo. Zato smo morali pri svojem delu uporabiti tudi napotke tujih predpisov in rezultate lastnih raziskav.



Slika 1. Tipični elementi za dimenzioniranje

Glede na jugoslovanske standarde za stabilnost jeklenih konstrukcij ugotavljamo nosilnost konstrukcije po elastičnosti teoriji drugega reda. Pri tem upoštevamo ekvivalentne geometrijske nepopolnosti, s katerimi zajamemo nenatančnost izdelave in montaže ter vpliv zaostalih napetosti. V nadaljnjem bomo prikazali vse potrebne kontrole, ki jih opravi program DIMJ. V prispevku bomo podrobneje obravnavali le probleme, ki v standardih niso zadovoljivo obdelani.

### 1.1. Izolirane palice konstantnega prereza

Izolirane palice so dvostransko podprti nosilci (slika 4), kar pomeni, da lahko sem uvrščamo tudi elemente neprekinjenih nosilcev in nepomičnih okvirov.

#### 1.1.1. Napetostna kontrola

Obravnavamo prostorski upogib z osno silo. Statične količine določamo po teoriji prvega reda pri faktorirani obtežbi. Pri tem privzamemo, da učinkuje prečna obtežba pri nesimetričnih prerezih v strižnem središču. Kontroliramo normalne, strižne in

primerjalne napetosti. Glede na dogovorjene smeri učinkovanja statičnih količin (slika 2) dobimo za normalne napetosti naslednji izraz:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + \frac{M_X^*}{I_X} y - \frac{M_Y^*}{I_Y} x \leq \sigma_V \quad (1)$$

$\sigma_V$  — napetost na meji elastičnosti

$A$  — velikost prečnega prereza

$I_X, I_Y$  — vztrajnostni moment glede na os  $X, Y$ .

Odločujoče normalne napetosti so v enem od zunanjih vogalov prereza (slika 2):

$$\sigma_N^* + \sigma_{MX}^* + \sigma_{MY}^* \leq \sigma_V,$$

kjer pomeni

$$\sigma_N^* = \left| \frac{N^*}{A} \right|; \sigma_{MX}^* = \left| \frac{M_X^*}{W_X} \right|; \sigma_{MY}^* = \left| \frac{M_Y^*}{W_Y} \right|,$$

$W_X, W_Y$  — odpornostni moment glede na os  $X, Y$ .

Uvedemo brezdimenzionalno obliko zgornje enačbe:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_N + \bar{\sigma}_{MX} + \bar{\sigma}_{MY} \leq 1,0 \quad (2)$$

$$\bar{\sigma}_N = \frac{\sigma_N^*}{\sigma_V}; \bar{\sigma}_{MX} = \frac{\sigma_{MX}^*}{\sigma_V}; \bar{\sigma}_{MY} = \frac{\sigma_{MY}^*}{\sigma_V}.$$

Pri kontroli strižnih napetosti predpostavimo, da prečna sila  $Q_Y^*$  povzroči le strig v stojini, prečna sila  $Q_X^*$  pa strig v pasnicah obravnavanih prerezov (slika 2):

$$\bar{\tau}_i = \frac{\tau_i^*}{\tau_V} \leq 1,0 \quad (3)$$

$$i = x, y; \tau_V = \frac{\sigma_V}{\sqrt{3}}$$

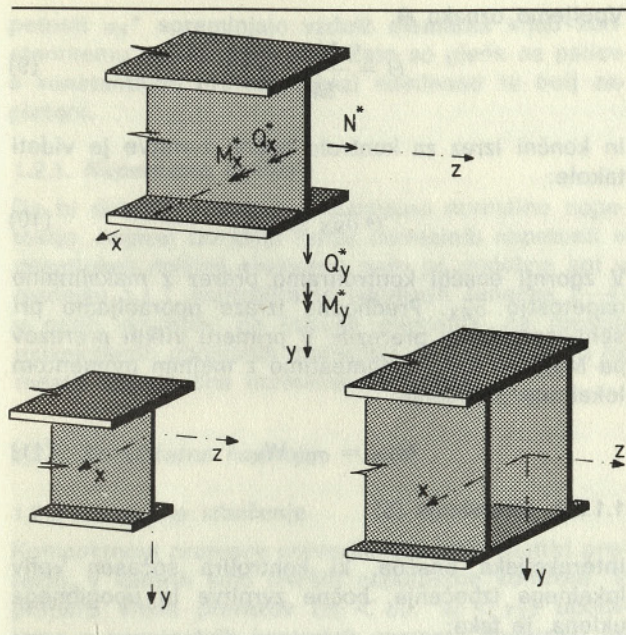
$$\tau_X^* = \frac{Q_X^* S_Y}{I_X dy}; \tau_Y^* = \frac{Q_Y^* S_X}{I_Y dx}$$

$S_X, S_Y$  — statični moment dela ploskve na os  $X, Y$   
 $dx, dy$  — širina prereza na obravnavanem mestu  
 $y = \text{konst.}, x = \text{konst.}$

Primerjalne napetosti so izračunane z Misesovim pojmom tečenja

$$\sigma_{PR} = \sqrt{(\sigma^*)^2 + \left( \tau_i^* \frac{\sigma_V}{\tau_V} \right)^2} \leq \sigma_V \quad (4)$$

V zgornji enačbi je pri semikompaktnih prerezih razmerje  $\sigma_V/\tau_V$  enako  $\sqrt{3}$ , pri vitkih prerezih pa je drugačno (glej tč. 1.1.2.1.). Napetostne kontrole



Slika 2

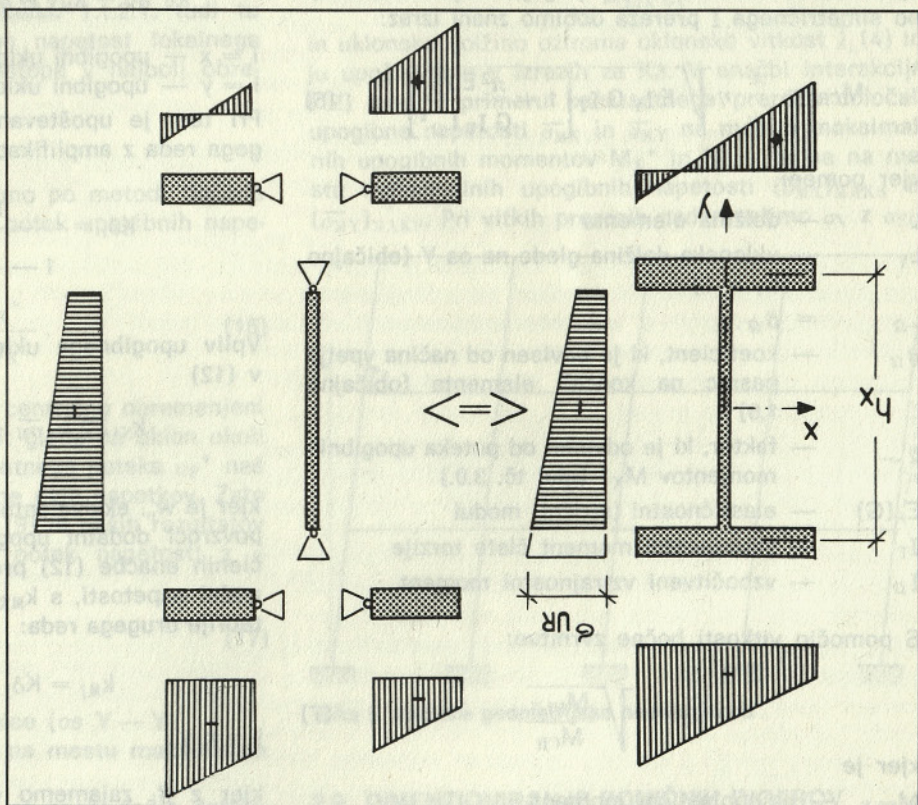
prezov (nevarnost lokalnega izbočenja), kontrolo bočne zvrnitve ter interakcijo lokalnega izbočenja, bočne zvrnitve in upogibnega uklona.

1.1.2.1. Lokalno izbočenje

Pri dimenzioniranju po naših standardih ločimo dve vrsti prezov. Pri semikompaktnih prezeh definira nosilnost preseza začetek plastifikacije. Pri vitkih prezeh pa pride do izbočenja segmentov preseza že prej in nosilnost preseza definira začetek izbočenja kritičnega segmenta preseza. Kontrolo izvršimo po (8) tako, da analiziramo vse segmente preseza (slika 3). Če je mejna napetost izbočenja  $\sigma_U$  manjša od  $\sigma_V$ , imamo opravka z vitkim prezeom:

$$\sigma_U < \sigma_V \text{ ali } \tau_U < \tau_V. \quad (5)$$

Takrat moramo v napetostni kontroli (enačbe 2—4) tega preseza nadomestiti  $\tau_V$  s  $\tau_U$  in  $\sigma_V$  z ustrezno napetostjo  $\sigma_{UR}$  (slika 3). Kontrolo izbočenja opravi mo v istih petih prezeh kot napetostne kontrole.



Slika 3. Mejne napetosti lokalnega izbočenja

(enačbe 2—4) izvrši program na obeh koncih in v sredini elementa ter na mestih maksimalnih upogibnih momentov  $M_X^*$  in  $M_Y^*$ , torej v petih prezeh. V primerih, ko je to potrebno, je mogoče mesto največje normalne napetosti natančneje določiti.

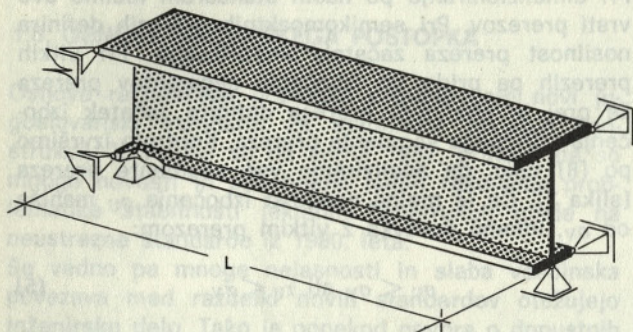
1.1.2. Stabilitetne kontrole

V tovrstne kontrole uvrščamo kontrolo kompaktnosti

Tako imamo lahko v splošnem opravka s petimi različnimi  $\sigma_{UR}$ . Pri nadaljnem računu bočne zvrnitve in interakcije uporabljamo pri vitkih prezeh le eno »ekvivalentno« mejno napetost lokalnega izbočenja  $\sigma_{EQ}$ . To je napetost  $\sigma_{UR}$  v najbolj obremenjenem prezeu, ki ga definira največja napetost  $\bar{\sigma}$  (enačba 2).

## 1.1.2.2. Bočna zvrnitev

Pri upogibu z osno silo kontroliramo nevarnost bočne zvrnitve posebej. Ker obravnavamo izolirano palico, mora biti element na koncih bočno in torzijsko podprt (slika 4). Elastični kritični moment  $M_{CR}$



Slika 4. Primer izolirane palice

določimo s pomočjo izraza 6 (10). Izraz je glede na standard o bočni zvrnitvi (6) razširjen tako, da lahko upoštevamo različne mejne pogoje. V primeru dvojno simetričnega I prereza dobimo znani izraz:

$$M_{CR} = \frac{\pi}{L_Y} \eta \sqrt{E I_Y G I_T \left[ 1 + \frac{\pi^2 E I_\Omega}{G I_T L_\Omega^2} \right]} \quad (6)$$

kjer pomeni

- $L$  — dolžina elementa
- $L_Y$  — uklonska dolžina glede na os Y (običajno  $L_Y = L$ )
- $L_\Omega$  —  $\beta_\Omega \cdot L$
- $\beta_\Omega$  — koeficient, ki je odvisen od načina vpetja pasnic na koncih elementa (običajno 1,0)
- $\eta$  — faktor, ki je odvisen od poteka upogibnih momentov  $M_X^*$  (glej tč. 3.0.)
- $E, (G)$  — elastični (strižni) modul
- $I_T$  — vztrajnostni moment čiste torzije
- $I_\Omega$  — vzbočitveni vztrajnostni moment.

S pomočjo vitkosti bočne zvrnitve:

$$\bar{\lambda}_D = \sqrt{\frac{M_{PLX}}{M_{CR}}} \quad (7)$$

kjer je

$M_{PLX}$  — polnoplastični moment,  
določimo mejni moment bočne zvrnitve  $M_D$ :

$$M_D = \alpha_M \varphi M_{PLX} \leq \sigma_V W_X = M_{VX} \quad (8)$$

$$\alpha_M = \frac{1}{(1 + \bar{\lambda}_D^5)^{0.4}}$$

kjer je

$\varphi$  — faktor, ki upošteva višino prijemališča prečne obtežbe (6).

Vpeljemo oznako  $\theta$

$$\theta = \frac{M_{VX}}{M_D} \geq 1,0 \quad (9)$$

in končni izraz za kontrolo bočne zvrnitve je videti takole:

$$\theta \bar{\sigma}_{MX} \leq 1,0. \quad (10)$$

V zgornji enačbi kontroliramo prerez z maksimalno napetostjo  $\bar{\sigma}_{MX}$ . Predhodne izraze uporabljamo pri semikompaktnih prerezih. V primeru vitkih prerezov pa  $M_{PLX}$  in  $M_{VX}$  nadomestimo z mejnim momentom lokalnega izbočenja

$$M_{UX} = \sigma_{EQ} W_X. \quad (11)$$

## 1.1.2.3. Interakcija (5)

Interakcijska enačba, ki kontrolira sočasen vpliv lokalnega izbočenja, bočne zvrnitve in upogibnega uklona, je taka:

$$k_N \bar{\sigma}_N + k_{MX} \theta \bar{\sigma}_{MX} + k_{MY} \bar{\sigma}_{MY} \leq 1,0 \quad (12)$$

$i = x$  — upogibni uklon okoli osi X

$i = y$  — upogibni uklon okoli osi Y.

Pri tem je upoštevana poenostavljena teorija drugega reda z amplifikacijskim faktorjem

$$K\delta_i = \frac{1}{1 - \frac{N^*}{N_{CRi}}} = \frac{1}{1 - \bar{\sigma}_N \bar{\lambda}_i^2} \quad (13)$$

Vpliv upogibnega uklona je zajet s prvim členom v (12)

$$k_{Ni} \bar{\sigma}_N = \bar{\sigma}_N + K\delta_i \frac{N^* w_{oi}}{\sigma_V W_i} \leq 1,0, \quad (14)$$

kjer je  $w_{oi}$  ekvivalentna geometrijska nepopolnost, ki povzroči dodatni upogibni moment. V drugih dveh členih enačbe (12) predstavljata  $\bar{\sigma}_{MX}$  in  $\bar{\sigma}_{MY}$  maksimalni napetosti, s  $k_{MX}$  in  $k_{MY}$  pa je upoštevan vpliv teorije drugega reda:

$$k_{Mj} = K\delta_j \beta_j = \frac{\beta_j}{1 - \bar{\lambda}_j^2 \bar{\sigma}_N} \quad (15)$$

$j = x, y,$

kjer z  $\beta_j$  zajamemo obliko momentnega diagrama (glej tč. 3.0.). Tako kot pri bočni zvrnitvi tudi tu v primeru vitkih prerezov namesto  $\sigma_V$  upoštevamo  $\sigma_{EQ}$  v enačbah 12 do 15.

## 1.2. Izolirane palice s spremenljivim prerezom

Pri elementih s spremenljivim prerezom — vutah (slika 1) v splošnem maksimalne upogibne napetosti  $\sigma_{MX}^*$  ne nastopajo v prerezu, kjer učinkuje maksimalni upogibni moment  $M_X^*$ . Podobno se tudi na-

petosti  $\sigma_N^*$  spreminjajo vzdolž elementa kljub konstantnemu poteku osne sile. Zato so glede na palice s konstantnimi prerezi dokazi nosilnosti tu bolj zapleteni.

1.2.1. Napetostna kontrola

Da bi določili prerez z maksimalno normalno napetostjo, najprej izvršimo račun normalnih napetosti v desetinkah dolžine elementa, nato pa podobno kot v razdelku 1.1.1. kontroliramo napetosti (enačbe 2—4) v petih prerezih: na koncih elementa, na mestih maksimalnih upogibnih momentov  $M_X^*$  in  $M_Y^*$  in na mestu maksimalne normalne napetosti.

1.2.2. Stabilitetne kontrole

1.2.2.1. Lokalno izbočenje

Kompaktnost prerezov preverjamo v istih (petih) prerezih, v katerih smo izvršili napetostne kontrole. V primeru vitkih prerezov ( $\sigma_U < \sigma_V$ ,  $\tau_U < \tau_V$ ) uporabimo v napetostnih kontrolah namesto napetosti na meji elastičnosti ustrezne mejne napetosti lokalnega izbočenja. Podobno kot v razdelku 1.1.2.1. tudi tu predstavlja ekvivalentno mejno napetost lokalnega izbočenja  $\sigma_{EQ}$  tista  $\sigma_{UR}$ , ki nastopa v najbolj obremenjenem prerezu.

1.2.2.2. Bočna zvrnitev

Kontrolo bočne zvrnitve izvršimo po metodi tlačene pasnice (6). Najprej določimo potek upogibnih napetosti v pasnicah (slika 3):

$$\sigma_P^* = \pm \frac{M_X^*}{W_X} \tag{16}$$

Pasnici nato obravnavamo kot centrično obremenjeni palici in kontroliramo nosilnost glede na uklon okoli osi Y (3). V primeru nekonstantnega poteka  $\sigma_P^*$  naš standard o bočni zvrnitvi (6) ne daje napotkov. Zato v smislu švicarskih predpisov (9) in naših rezultatov (11) zajamemo nekonstanten potek napetosti z  $\eta$  (glej 1.1.2.2. in tč. 3.0.):

$$\lambda = \frac{L_Y}{i_P \sqrt{\eta}} \tag{17}$$

$i_P$  ... vztrajnostni polmer pasnice (os Y — Y)  
 $\lambda$  ... uklonska vitkost pasnice na mestu maksimalne napetosti  $\sigma_P^*$ .

Ko poznamo uklonsko vitkost, na znani način določimo mejno (uklonsko) napetost bočne zvrnitve  $\sigma_{KD}$ :

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_V}, \quad \lambda_V = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_V}} \tag{18}$$

$$\sigma_{KD} = 1,14 \kappa_C \sigma_V \leq \sigma_V, \tag{19}$$

kjer je  
 $\kappa_C = \kappa_C(\bar{\lambda})$  ... uklonski brezdimenzionalni koeficient (uklonska krivulja C /3/).

Če vpeljemo oznaki:

$$\bar{\sigma}_{MX} = \frac{|\sigma_P^*|_{MAKS}}{\sigma_V}; \quad \Theta = \frac{\sigma_V}{\sigma_{KD}} \geq 1,0 \tag{20}$$

dobi končna enačba bočne zvrnitve naslednjo obliko:

$$\Theta \bar{\sigma}_{MX} \leq 1,0. \tag{21}$$

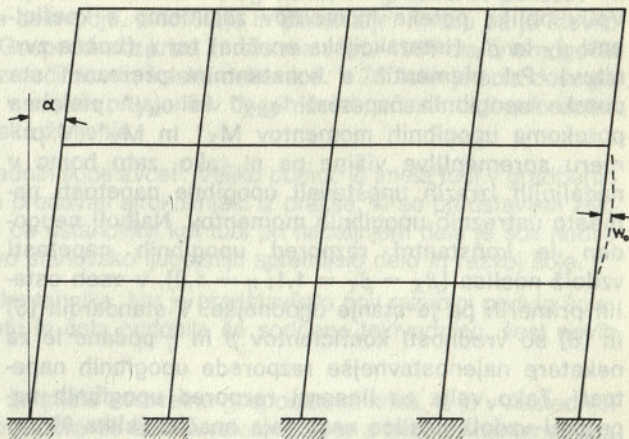
Pri vitkih prerezih enako kot v razdelku 1.1.2.2. nadomestimo  $\sigma_V$  z  $\sigma_{EQ}$ .

1.2.2.3. Interakcija

Ko računamo amplifikacijski faktor  $K\delta$  (enačba 13), moramo biti v primeru nekonstantnega poteka napetosti  $\sigma_N^*$  zelo pazljivi. Opravka imamo namreč tudi s spremenljivim potekom uklonske dolžine oziroma uklonske vitkosti, kar je razvidno iz primerjave imenovalcev v enačbi (13). Pri kontroli uklona je odločujoč prerez z maksimalno napetostjo  $\sigma_N^*$  oziroma z  $A_{MIN}$ . Tako za ta prerez določimo dvoje: napetost

$$\bar{\sigma}_N = \frac{N^*}{A_{MIN} \sigma_V} \tag{22}$$

in uklonsko dolžino oziroma uklonsko vitkost  $\bar{\lambda}_i$  (4) in ju upoštevamo v izrazih za  $K\delta$ . V enačbi interakcije (12) smo v primeru konstantnega prereza določali upogibne napetosti  $\bar{\sigma}_{MX}$  in  $\bar{\sigma}_{MY}$  na mestih maksimalnih upogibnih momentov  $M_X^*$  in  $M_Y^*$ , tu pa na mestu maksimalnih upogibnih napetosti ( $\bar{\sigma}_{MX}$ )<sub>MAKS</sub> in ( $\bar{\sigma}_{MY}$ )<sub>MAKS</sub>. Pri vitkih prerezih nadomestimo  $\sigma_V$  z  $\sigma_{EQ}$ .



Slika 5. Začetne geometrijske nepopolnosti

2.9. DIMENZIONIRANJE POMIČNIH OKVIROV

Pomične okvire je potrebno računati po teoriji drugega reda tako, da upoštevamo ekvivalentne geometrijske nepopolnosti, kot to zahteva standard o stabilnosti okvirnih konstrukcij (7). V splošnem govorimo o lokalni nepopolnosti, ki jo definira  $w_0$  in o globalni nepopolnosti  $\alpha$  (slika 5). Ravnamo tako, da najprej pri globalni nepopolnosti določimo statične količine pri faktorirani obtežbi po elastičnosti teoriji drugega reda. Tako analizo podpirajo računalniški

programi, kot je na primer NONFRAN, ki omogoča nelinearno analizo ravninskih okvirov.

### 2.1. Dokazi nosilnosti

Dokaze nosilnosti opravimo za posamezne elemente okvira. Pri tem so napetostne kontrole, preverjanje kompaktnosti prerezov in kontrola bočne zvrnitve enake kot pri izoliranih palicah, s tem da pravilno opišemo torzijsko in bočno podpiranje elementa.

#### 2.1.1. Interakcija

Ker določamo statične količine po teoriji drugega reda (v ravnini okvira, upogib glede na os X—X, slika 2) z upoštevanjem globalne geometrijske nepopolnosti, sta v enačbah interakcije  $k_{NX}$  in  $k_{MX}$  enaka 1,0. V tem primeru je potrebno izvršiti naslednji kontroli:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_N + \theta \bar{\sigma}_{MX} + k_{MY} \bar{\sigma}_{MY} &\leq 1,0 \\ k_{NY} \bar{\sigma}_N + \theta \bar{\sigma}_{MX} + k_{MY} \bar{\sigma}_{MY} &\leq 1,0. \end{aligned} \quad (23)$$

Če je potek napetosti  $\sigma_{MX}^*$  vzdolž elementa enakega predznaka in skoraj konstanten ( $\psi \geq 0,9$ , tč. 3.0.), upoštevamo v enačbah interakcije tudi lokalno nepopolnost  $w_0$ , ki nastopa v izrazu za  $k_{NXL}$ . V računu  $k_{NXL}$  upoštevamo dolžino elementa:

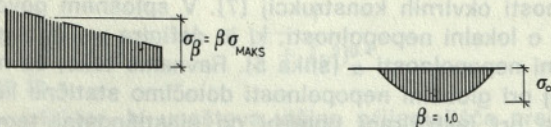
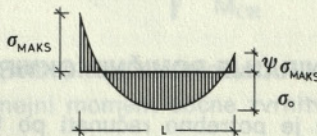
$$\begin{aligned} k_{NXL} \bar{\sigma}_N + \theta k_{MXL} \bar{\sigma}_{MX} + k_{MY} \bar{\sigma}_{MY} &\leq 1,0 \\ k_{NY} \bar{\sigma}_N + \theta k_{MXL} \bar{\sigma}_{MX} + k_{MY} \bar{\sigma}_{MY} &\leq 1,0. \end{aligned} \quad (24)$$

V primeru vitkih prerezov pa v zgornjih enačbah namesto  $\sigma_V$  upoštevamo  $\sigma_{EQ}$ .

### 3.0. KOEFICIENTI OBLIKE MOMENTNE LINIJE

Vpliv oblike poteka momentov zajamemo s koeficienti  $\beta_X$  in  $\beta_Y$  (interakcijska enačba) ter  $\eta$  (bočna zvrnitev). Pri elementih s konstantnim prerezom sta poteka upogibnih napetosti  $\sigma_{MX}^*$  in  $\sigma_{MY}^*$  podobna potekoma upogibnih momentov  $M_X^*$  in  $M_Y^*$ . V primeru spremenljive višine pa ni tako, zato bomo v nadaljnjih izrazih upoštevali upogibne napetosti namesto ustreznih upogibnih momentov. Najbolj neugoden je konstantni razpored upogibnih napetosti vzdolž nosilca ( $\beta_X = \beta_Y = 1,1$ ;  $\eta = 1,0$ ), v vseh ostalih primerih pa je stanje ugodnejše. V standardih (5) in (6) so vrednosti koeficientov  $\beta$  in  $\eta$  podane le za nekatere najenostavnejše razporede upogibnih napetosti. Tako velja za linearni razpored upogibnih napetosti vzdolž nosilca naslednja enačba (slika 6):

$$\beta = 0,66 + 0,44 \psi \geq 0,44. \quad (25)$$



Slika 6. Določanje koeficienta

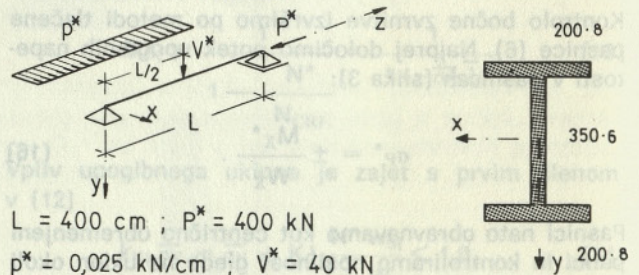
V splošnem imamo opravka z mejnimi napetostmi  $\sigma_{MAKS}$  in  $\psi \sigma_{MAKS}$  ter s prečno obtežbo. V tem primeru lahko koeficient  $\beta$  ocenimo le približno. V programu DIMJ iz mejnih napetosti izračunamo  $\beta$  po enačbi (25) in ustrezno napetost  $\sigma_\beta = \sigma_{MAKS} \beta$  primerjamo z največjo napetostjo v polju  $\sigma_0$ , če je ta drugačnega predznaka kot  $\sigma_{MAKS}$ . Odločilna je večja od obeh vrednosti (slika 6). Na podoben način ocenimo vrednosti za koeficient  $\eta$ , ki ga potrebujemo pri računu elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve. Pri linearnem razporedu napetosti uporabimo enačbo iz (9)

$$\eta = 1,75 - 1,05 \psi + 0,3 \psi^2 \leq 2,35,$$

ki velja za  $-0,5 \leq \psi \leq 1,0$ . Za momente v polju privzamemo (smo na varni strani)  $\psi = 1,13$  pri zvezni obtežbi in  $\psi = 1,35$  pri točkovni sili v polju. Kolikor poznamo natančnejše vrednosti koeficientov  $\beta$  in  $\eta$ , jih lahko podamo pri vnosu podatkov in se upoštevajo pri analizi stabilnosti.

Pri pomičnih okvirih ima koeficient  $\beta_X$  vrednost 1,0 saj se zaradi vpliva teorije drugega reda povečajo mejni momenti in ima razpored momentov vpliv le pri upoštevanju lokalne nepopolnosti ( $k_{NXL}$ ,  $k_{MXL}$ , en. 24). Koeficienta  $\beta_Y$  in  $\eta$  se določita tako kot pri izoliranih palicah, in sicer za posamezne dele okvira med bočnimi in torzijskimi podporami.

### 4.0. RAČUNSKI PRIMER



Slika 7. Računski primer

Na sliki 7 so prikazani podatki za primer prostorskega upogiba z osno silo. Preglednica 1 pa predstavlja krajši izpis rezultatov programa DIMJ.

### 5.0. SKLEP

Prikazani računski postopek pojasnjuje in bistveno dopolnjuje uporabo jugoslovanskih standardov za stabilnost jeklenih konstrukcij. Tako omogoča kontrolo nosilnosti elementov z nekonstantnimi in vitkimi prerezi pri poljubnih potekih upogibnih momentov. Iz opisanega postopka je razvidno, da potrebne napetostne in stabilitetne kontrole vzamejo konstruktorju statiku precej časa. Predstavljena programska oprema je namenjena predvsem za uporabo v praksi, ker razbremenuje konstruktorja in mu omogoča večjo kreativnost pri projektiranju. Program DIMJ smo zasnovali tako, da ga bomo lahko posodabljali. Nameravamo ga dopolniti s sodobnejšim računom lokalnega izbočenja, pri katerem bo upoštevana postkritična nosilnost vitkih pločevin (metoda sodelujoče širine).



## OB JUBILEJU GRADBENE SREDNJE ŠOLE V MARIBORU

V šolskem letu 1986/87 je gradbena srednja šola »Borisa Kraigherja« v Mariboru praznovala 25-letnico svojega delovanja. Termin je bil izbran v kompromisu med več možnostmi, ki jih nudi pestra zgodovina nastanka gradbene srednje šole v Mariboru. Šola je namreč nastala z združevanjem več šol, in sicer: gradbene šole za kvalificirane delavce, ustanovljene leta 1959, gradbenega oddelka tehniške srednje šole, ustanovljenega leta 1960 ter soboslikarsko-pleskarske šole, ustanovljene leta 1945 kot »šola učencev v gospodarstvu za razne stroke« (ki je v drugi obliki delovala že med obema vojnama). Za delovanje prve od navedenih šol je bil v letih 1958/59 zgrajen delavniški trakt, v letih 1961–1963 pa šolsko poslopje z učilnicami ter drugimi funkcionalnimi prostori. Leta 1962 sta se združili gradbena poklicna in tehniška šola in sta od 1. 1. 1963 dalje delovali kot »gradbeni šolski center«. S 1. 9. 1963 se je priključila še slikopleskarska šola, tako da je bilo izobraževanje vseh kadrov za gradbeništvo v severovzhodni Sloveniji združeno na enem mestu. Iz navedenega je razvidno, da je bila določitev termina za praznovanje 25-letnice obstoja šole možna v nekajletnem časovnem razponu; če pa bi pri tem upoštevali še delovanje gradbenega oddelka pri t. i. »delavskem tehnikumu« v letih 1948–1953, bi bil ta časovni razpon še večji.

V teh 25 letih dela je gradbena srednja šola v Mariboru doživljala različna obdobja, uspešna in manj uspešna, kot so bila tudi obdobja v razvoju naše družbe, gospodarstva in gradbeništva. Družbene in gospodarske razmere so se odražale v delu in predvsem v razvoju šole. Prva leta so bila leta hitrega razvoja; o tem pričajo lepi in funkcionalni šolski prostori, zgrajeni na ugodni lokaciji. Število učencev se je hitro večalo. Poleg osnovnih gradbenih poklicev in gradbenih tehnikov je šola pričela izobraževati tudi gradbene delovodje, avtoličarje in dimnikarje. Kmalu se je število učencev povečalo do te meje, da so prostori postali pretesni. Gospodarska kriza in reforma v letu 1965 sta onemogočili nadaljnje dograjevanje potrebnih prostorov in nakup opreme za učilnice in šolske delavnice. V 70. letih je šola dosegla največji obseg; zaradi pomanjkanja prostora je pouk potekal v najetih prostorih v drugih šolah, včasih tudi zelo daleč od matične. To je oviralo delo in onemogočalo normalno šolsko življenje.

Kadrovske probleme je šola reševala s pridobivanjem novih rednih sodelavcev. Veliko pomoč je imela tudi v gradbenih organizacijah združenega dela, iz katerih so prihajali na šolo predavati strokovnjaki iz prakse, ki so predstavljali živo vez med šolo in delom, med teorijo in prakso. Veliko pomoč ob ustanovitvi kot tudi pri nadaljnjem delu je šoli nudilo Društvo gradbenih inženirjev in tehnikov Maribor, ki je s pravo stanovsko ljubeznijo spremljalo delo in razvoj šole.

V šolskem letu 1979/80 so v šoli pričeli izobraževati geodetske tehnike, kar je predstavljalo nov razvojni podvig šole, ki se je odzvala potrebam širšega okolja. V tem šolskem letu je šola pridobila še sodobno telovadnico, šest novih učilnic ter pomožne prostore.

Žal pa so šola v 80. letih čakale hude preizkušnje. Na vrata je že trkala trdovratna gospodarska kriza, ki je v naslednjih letih pričela ožiti obseg delovanja šole. Dodatne težave je povzročila še šolska reforma, ki je z uvedbo usmerjenega izobraževanja radikalno spremenila tedanji način šolanja kadrov na srednji stopnji. Vpis učencev na gradbeno srednjo šolo se je pričel nenavadno hitro zmanjševati, kar je povzročilo vrsto problemov. Ko je šola rešila vprašanje kadrov za poučevanje splošno-izobraževalnih in strokovno-teoretičnih predmetov, je nastopil problem z njihovo zaposlitvijo. Ta problem je šola reševala najprej z odpuščanjem honorarnih predavateljev, pozneje pa tudi s posegi pri rednem kadru (dopolnjevanje učne obveze na drugih srednjih šolah, zaposlovanje za določen čas...).

Zmanjšanje števila učencev je bilo nekoliko omiljeno s povečanjem števila ur splošnih in strokovno-teoretičnih predmetov na poklicnih smereh (IV. zahtevnostna stopnja). Poleg novih učnih načrtov je šolska reforma z uvedbo usmerjenega izobraževanja prinesla veliko novosti na področju organizacije izobraževanja, v nazivih in drugih, predvsem formalnih spremembah.

programe, kot je na primer NOKRAN, to omogoča  
matematično analizo ravninskih okvirov.

ovira. Pri tem se napovedna kontrola, preverjanje  
kompaktnosti prerezov in kontrola bočne zvrstive  
škala kot pri kontrolni palici, s tem da pravilno  
povzame turizma in bočno podpirajo elemente

#### 2.1.7. Interakcija

Kar je dokazano statistično po statistični  
analizi, ki je bila opravljena v okviru študijskega  
projekta, ki je bil namenjen raziskovanju  
vpliva različnih dejavnikov na uspešnost  
izobraževanja študentov, so bili ugotovljeni  
vplivi različnih dejavnikov na uspešnost  
izobraževanja študentov, ki so bili  
statistično preverjeni s pomočjo  
statističnih metod.

Reforma izobraževanja je zahtevala še tesnejše sodelovanje šole z organizacijami združenega dela. Proizvodno delo opravljajo učenci praviloma v organizacijah združenega dela, ki so se morale organizacijsko pripraviti na sprejem velikega števila učencev. Potrebni so posebej usposobljeni inštruktorji, potrebne so večje zmogljivosti pomožnih prostorov na gradbišču in osebna zaščitna sredstva. Tudi ob tej priložnosti velja poudariti, da šola brez velike pomoči in razumevanja gradbenih OZD na našem območju svojega dela ne bi mogla tako uspešno opraviti.

Uvedba usmerjenega izobraževanja je prinesla tudi nekatere strokovno vprašljive rešitve v sistem šolanja proizvodnih poklicev. Število ur splošno-izobraževalnih in strokovno-teoretičnih predmetov se je močno povečalo na škodo praktičnega pouka in proizvodnega dela. Kljub prizadevanjem, da bi se ob prenovi srednjega usmerjenega izobraževanja v letu 1986 ta napaka vsaj delno popravila, v posebni izobraževalni skupnosti gradbeništva s tem nismo uspeli v zadostni meri (v drugih PIS so bili uspešnejši, npr. v kovinarskem).

Od šolskega leta 1981/82 se je vpis na gradbeno srednjo šolo vsako leto zmanjševal, v letošnjem šolskem letu pa je čutilo rahlo izboljšanje, in sicer predvsem pri usmeritvi »gradbeni tehnik«. Žal pa smo z letošnjim šolskim letom prenehali vpisovati v usmeritev »geodetski tehnik« zaradi težav z zaposlovanjem tega profila oziroma zaradi mnenja uporabnikov, da trenutno ni potreb po tem profilu.

#### Podatki o številu učencev na šoli v času 1963–1988

	Tipična šolska leta					
	63/64	67/68	71/72	75/76	81/82	88/89
Vpis v 1. letnik	303	369	532	609	391	253
Skupno število učencev	619	1133	1430	1165	994	636
Število diplomantov GTŠ	50	114	62	137	114	30

Navedeni podatki ne potrebujejo komentarja, ker nazorno prikazujejo negativne trende v zadnjem desetletju. Resnici na ljubo je treba priznati, da je bilo naraščanje števila učencev v letih 1967 do 1973 pretirano in je bilo prav gotovo posledica splošnih teženj po ekstenzivnem zaposlovanju, kar je v končni fazi pripeljalo do predimenzioniranja gradbeništva. V teh letih se je pojavil tudi problem zmanjšanja zanimanja mladine s področja SR Slovenije za proizvodne poklice v gradbeništvu. Zaradi velikih potreb so gradbena podjetja povečala »uvoz« učencev za te poklice iz drugih republik. Zaradi jezika in posebnosti okolja, iz katerega so učenci prihajali, je bilo delo predvsem v 1. letniku za učitelje zelo naporno.

V šolskem letu 1988/89 ima šola 26 oddelkov s skupaj 636 učenci v sedmih smereh. Podrobnejši prikaz podajam z naslednjo tabelo:

## INFORMACIJE

285

Smer	1. letnik	2. letnik	3. letnik	4. letnik	Skupaj
gradbeni tehnik	56	29	16	30	131
geodetski tehnik	—	20	12	16	48
gradbinec (IV. z. stopnja)	93	71	66	—	230
gradbinec skr.	42	45	—	—	87
slikopleskar	23	18	15	—	56
avtoličar	27	19	10	—	56
dimnikar	12	6	10	—	28
skupaj	253	208	129	46	636

Razveseljiv je podatek, da vpis za usmeritev »gradbeni tehnik« po šestih letih upadanja znova narašča, in sicer kljub določenim težavam v gradbeništvu ter kljub negativnim ocenam bodočega razvoja te panoge, ki jih objavljajo sredstva javnega obveščanja. Veljalo bi opozoriti tudi na različna stališča posameznih organizacij združenega dela s področja gradbeništva do ustreznosti profila »gradbeni tehnik« za gradbeništvo prihodnosti.

Šola se ne more strinjati z nekaterimi mnenji, da poklic gradbenega tehnika v sodobnem gradbeništvu ne bo več potreben. Smatramo, da tudi zakonska določba o omejitvi možnosti za samostojno vodenje gradnje objektov po letu 1995 ni zadosten razlog, da bi prenehali z izobraževanjem tega profila. V gradbeni operativi, pripravi dela, kalkulacijah in projektivi je dovolj delovnih opravil, ki jih lahko povsem zadovoljivo opravlja gradbeni tehnik. Res je splošna tendenca v naši družbi, da se naj izobrazbena raven delavcev neprestano zvišuje, vendar to ni vedno v skladu z načelom racionalnosti. Močna želja po čim višji formalni izobrazbi, ki naj bi sama po sebi zagotavljala boljši družbenoekonomski položaj človeka v bodočem življenju, sili marsikoga preko meja dejanskih sposobnosti. V realnih družbenoekonomskih razmerah takšna pričakovanja niso uresničljiva, ker je napredovanje v pretežni meri povezano z dejanskimi sposobnostmi posameznika. Prepričani smo, da je šolanje profila »gradbeni tehnik« še naprej potrebno, in sicer tako za delo kot za nadaljevanje študija. Predmet strokovne analize družbenih potreb po teh kadrih pa je, kolikšen naj bo vpis v to usmeritev ter kolikšen del absolventov tega programa naj bi nadaljeval študij na višji in visoki stopnji. Popolnoma neosnovana pa je trditev o relativno manjši uspešnosti absolventov gradbene tehniške šole pri nadaljevanju študija v primerjavi z absolventi splošno-izobraževalnih šol. Če bi primerjali učence z enakim učnim uspehom in če upoštevamo še določena strokovna znanja, ki jih je gradbeni tehnik pridobil na srednji stopnji ter jih absolvent splošno-izobraževalne šole težko nadoknadi, navedena pavšalna trditev ne bi vzdržala strokovne kritike.

Še vedno pa ostaja odprto vprašanje izjemno slabega zanimanja slovenske mladine za proizvodne poklice v gradbeništvu. O tem je bilo izgovorjenih in napisanih že mnogo besed, vendar se stanje ni izboljšalo. V tem trenutku je problem nekoliko manj pereč, ker gradbeništvo zmanjšuje svoje zmogljivosti, kljub temu pa tudi sedaj ne moremo napolniti z učenci iz SR Slovenije več kot 30–35 % vpisnih zmogljivosti v gradbenih šolah. Nerazumljivo je takšno kadrovanje, ki omogoča masovno proizvajanje kadrov za poklice, za katere je značilna kronična nezaposlenost, za druge pa je potrebno pridobivati kadre v drugih republikah. (O tej problematiki sem pisal že v GV 9/1985, vendar na sestavek ni bilo nikakršnega odziva.)

Takšno je torej stanje, v katerem se nahaja gradbena srednja šola v Mariboru med 25. in 30. obletnico njenega obstoja. Šola je s svojimi zmogljivostmi sposobna izobraževati nekoliko večje število učencev kot jih ima sedaj. Razpolaga s 4600 m<sup>2</sup> koristne površine z 21 učilnicami (od tega 5 funkcionalnih), z lepo telovadnico, s tesarsko, zidarsko in avtoličarsko delavnico. Objekti so v sorazmerno dobrem stanju, le starejši del je potreben delne obnove (okna, ravna streha). Na šoli je trenutno zaposlenih 42 strokovnih delavcev (učiteljev splošno-izobraževalnih in strokovno-teoretičnih predmetov ter praktičnega pouka).

V interesu slovenskega gradbeništva in širše družbene skupnosti bi moralo biti, da bi bil takšen objekt kot tudi strokovni kader optimalno izkoriščen. V bodočnost gledamo z optimizmom, čeprav tudi razlogov za pesimizem ne manjka.



**INŽENIRINGBIRO P.O. MARIBOR**

**MARIBOR, VITA KRAIGHERJA 10**

Telefoni: Centrala 26 561, Direktor 25 940, Inženiring 26 584,  
Projektiva 26 340

**SMO ENOVITA DELOVNA  
ORGANIZACIJA Z DEJAVNOSTJO**

## **INŽENIRING**

**NUDIMO KOMPLEKSNO VODENJE  
INVESTICIJ GOSPODARSKIH  
IN DRUŽBENIH OBJEKTOV  
OD INVESTICIJSKE ZASNOVE,  
PROJEKTIRANJA, VODENJA  
IZGRADNJE DO OBRATOVANJA.**

**CELOVITOST PONUDBE DOSEGAMO  
Z LASTNIM STROKOVNIM KADROM,  
OB SODELOVANJU USTREZNIH  
INSTITUCIJ IN DRUGIH ZUNANJIH  
SODELAVCEV.**

**KO SE ODLOČATE O INVESTICIJI, SE POSVETUJTE Z NAMI**

## VPLIV KAKOVOSTI IZVEDBE GRADBENIH DEL NA ZVOČNO ZAŠČITO STANOVANJSKIH ZGRADB

UDK 699.88:534.843

SAVO VOLOVŠEK

### POVZETEK

Po zahtevah naših predpisov je treba za vsako novo stanovanjsko zgradbo s preiskavami ugotoviti, ali zvočna zaščita ustreza zahtevam, določenim s standardom JUS U.J6.201. Opravljene preiskave v zadnjem času pa kažejo, da zvočna zaščita naših stanovanjskih zgradb pogosto odstopa od predpisane. Vzroki za neustrezno zvočno zaščito izvirajo deloma že iz projektne dokumentacije, večinoma pa je zanje kriva slaba in nestrokovna izvedba gradbenih del.

THE INFLUENCE OF THE QUALITY OF CONSTRUCTION ON ACHIEVABLE SOUND-INSULATION CONDITIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

### SUMMARY

In the case of new residential buildings, the Yugoslav technical regulations require that tests be carried out to determine whether or not the sound-insulation conditions in these buildings meet the requirements of the JUS Standard, U.J6.201. The results of recent investigations indicate that the required level of defence against airborne and impact sound is frequently not achieved. This is sometimes the consequence of unsatisfactory design methods, but mostly due to the poor quality of execution of different items of building works (floating floors, etc.).

### 1. UVOD

Hrup, ki v bivalnem okolju narašča iz dneva v dan, je posledica sodobnega načina življenja. Hiter razvoj prometa, gradnja novih cest, industrializacija proizvodnje in gosta naseljenost mest bistveno vplivajo tudi na povečanje hrupa. Človek mu je izpostavljen na delovnem mestu, v urbanem okolju, pogosto pa tudi v bivalnem stanovanjskem okolju in celo v stanovanjih. Zato je ena bistvenih nalog stanovanjske gradnje tudi ta, da zagotovi stanovalcem zadovoljivo zaščito pred hrupom vsaj v stanovanjskih bivalnih prostorih in tako omogoči v njih nemoteno bivanje, razvedrilo in počitek. Problematiko zvočne zaščite stanovanjskih zgradb pa so v zadnjem času zaostriili še zakoni in predpisi, ki določajo normativne vrednosti dovoljenih ravni hrupa in predpisujejo potrebno zvočno zaščito. Zvočna zaščita zgradbe je odvisna predvsem od ustreznosti projektne dokumentacije, v veliki meri pa tudi od kakovosti izvedbe gradbenih del. Preiskave zvočne zaščite, ki smo jih v zadnjih nekaj letih opravili v novozgrajenih stanovanjskih zgradbah, so pokazale, da zvočna zaščita zgradb pogosto ne ustreza predpisanim zahtevam prav

zaradi slabe in nestrokovne izvedbe zaključnih gradbenih del [1].

Nekaj značilnih ugotovitev, dobljenih na podlagi omenjenih raziskav, bomo navedli v tem prispevku.

### 2. ZAHEVE ZA ZVOČNO ZAŠČITO STANOVANJSKIH ZGRADB

Zvočna zaščita stanovanjskih zgradb je pri nas predpisana s pravilnikom o jugoslovanskih standardih s področja akustike v gradbeništvu oziroma s standardom JUS U.J6.201 z naslovom Tehnične zahteve za projektiranje in gradnjo zgradb (Ur. l. SFRJ, št. 14/82). Standard določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene pri projektiranju, gradnji in rekonstrukciji zgradb; uporaba standarda je obvezna. Zahteve za zvočno izolirnost konstrukcij stanovanjskih zgradb, ki jih predpisuje ta standard, so prikazane v preglednici I.

### 3. UGOTOVITVE, KI SO JIH DALE RAZISKAVE ZVOČNE ZAŠČITE STANOVANJSKIH ZGRADB V LETIH 1983–1986

#### 3.1. Zvočna zaščita ločilnih sten med stanovanji

Avtor:  
Savo Volovšek, inž. fiz..., višji raziskovalni sodelavec

Večina od 482 ločilnih sten med stanovanji, katerih zvočno zaščito smo preiskali, je bila iz armiranega betona (70%). Sten iz opečnih ali betonskih votlakov je bilo 12%, sten iz polne opeke (NF) pa 3%. Ostalih sten, v glavnem akustično neustreznih sestav, je bilo 15%. Rezultati preiskav za nekaj vrst sten, ki se pri nas največ uporabljajo, so prikazani v preglednici I.

Kako je zvočna izolirnost sten iz armiranega betona odvisna od izvedbe gradbenih del, zelo nazorno prikazuje diagram na sliki 1; na njem je prikazana statistična porazdelitev zvočne izolirnosti betonskih sten debeline

15 cm. Iz teorije pa tudi iz preiskav zvočne izolirnosti takih sten v laboratoriju je znano, da znaša indeks izolirnosti betonskih sten debeline 15 cm pred zvokom v zraku od +1dB do +2dB. Preiskave zvočne izolirnosti takih sten na zgradbah pa so pokazale, da je indeks zvočne izolirnosti v mejah od -8dB pa do +7dB. Srednja vrednost indeksa zvočne izolirnosti znaša +1,5dB, standardna deviacija  $\delta$  pa 2,6 dB (slika 1).

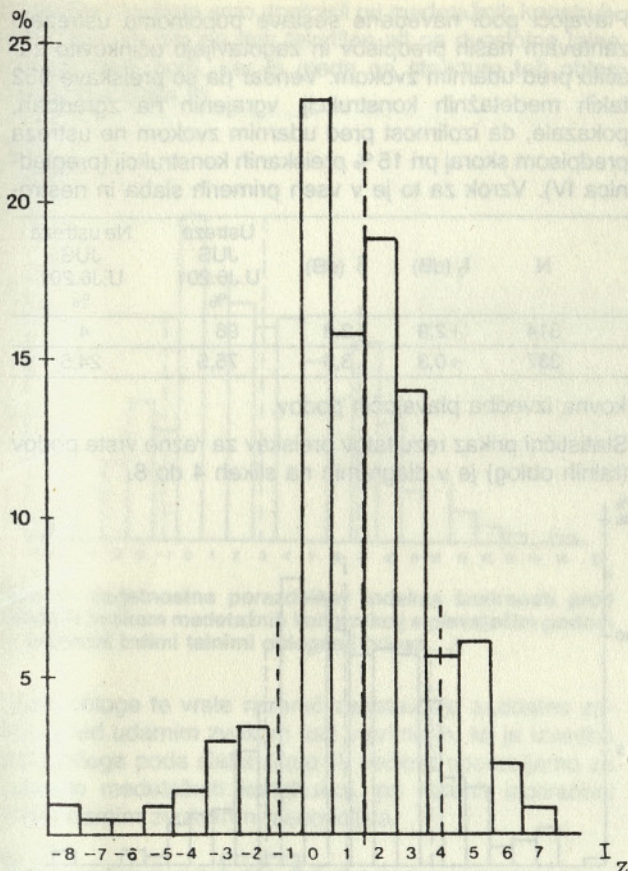
Vzroka za tako velika odstopanja rezultatov preiskav od srednje vrednosti (ta se z dejansko zvočno izolirnostjo dobro ujema) sta v glavnem dva: prvi je vrsta sklopa

**Preglednica I**

Vrsta ločilne konstrukcije	Predpisana zvočna izolirnost	
	$I_z$	$I_u$
1.1 ločilna stena med dvema stanovanjema	0	-
1.2 ločilna stena med stanovanjem in skupnimi hodniki oziroma stopniščem	0	-
1.3 pregradna konstrukcija (z vrati) med bivalnimi prostori stanovanja in skupnim hodnikom	0	0
1.4 stranski zid ali zid proti avtomobilskemu prehodu	+3	-
1.5 ločilna stena med stanovanjem in prostori za druge namene (poslovni prostori)	+3	-
1.6 stene med stanovanjema v dveh individualnih zgradbah	+3	-
1.7 stene med stanovanjem in voznim jaškom dvigala	0	-
1.8 stene med stanovanjem in hrupnim stopnišnim prostorom	+5	-
1.9 medetažna konstrukcija med dvema stanovanjema	0	0
1.10 medetažna konstrukcija med stanovanjem in prostori za druge namene nad stanovanjem	+3	+5
1.11 medetažna konstrukcija med stanovanjem in prostori za druge namene pod stanovanjem	+3	0
1.12 medetažna konstrukcija med stanovanjem in kletjo, shrambami, vhodnimi prostori	0	0
1.13 medetažna konstrukcija med stanovanjem in avtomobilskim prehodom	+3	0
1.14 medetažna konstrukcija med teraso ali ložo enega stanovanja in stanovanji spodaj	-	0
1.15 medetažna konstrukcija med skupno teraso in stanovanjem pod teraso	-	+5
1.16 medetažna konstrukcija med stanovanjem in hrupnimi stojničnimi prostori	+5	-

**Preglednica II**

Vrste ločilne stene	N	$I_z$ (dB)	$\delta$ (dB)	Ustreza JUS U.J6.201 %	Ne ustreza JUS U.J6.201 %
armirani beton d = 14 cm	13	+0,5	2,4	62	38
armirani beton d = 15 cm	234	+1,5	2,6	72	28
armirani beton d = 16 cm	9	+2,2	1,5	100	0
armirani beton d = 18 cm	10	+5,0	1,4	100	0
armirani beton d = 19 cm	15	+0,5	1,3	67	33
armirani beton d = 20 cm	68	+4,2	2,7	98,5	1,5
modularna opeka d = 19 cm	17	+0,3	3,0	59	41
modularna opeka d = 29 cm	24	+1,6	2,3	92	8
opeka NF d = 24 cm	15	+1,0	2,6	80	20
ostale ločilne stene	77	+0,5	4,5	67	33
vse stene skupaj	482	+1,7	3,2	84	16

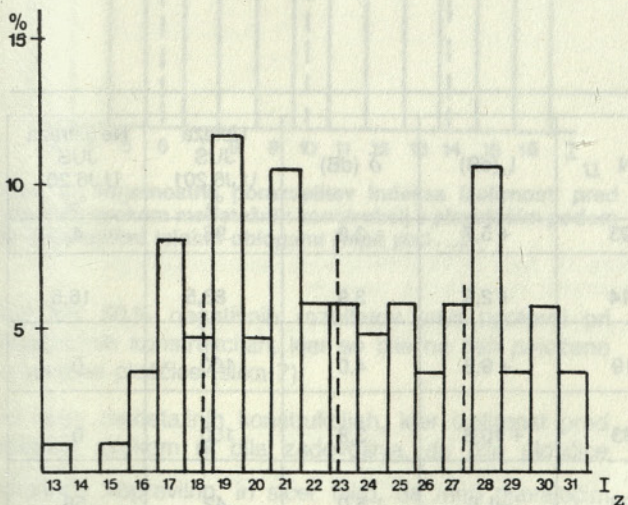


Slika 1. Verjetnostna porazdelitev indeksa izolirnosti pred zvokom v zraku za betonske stene debeline 15 cm

stranskih (bočnih) konstrukcij, v katerem je bila vgrajena preiskana ločilna stena, drugi pomembnejši pa je kakovost izvedbe gradbenih del. Sem sodita predvsem tesnjenje stene z bočnimi konstrukcijami in izvedba raznih odprt in prebojev v steni. Od 234 preiskanih sten iz armiranega betona debeline 15 cm jih kar 66 ni ustrezalo zahtevam predpisov glede zvočne zaščite.

### 3.2. Zvočna zaščita stanovanjskih vhodnih vrat

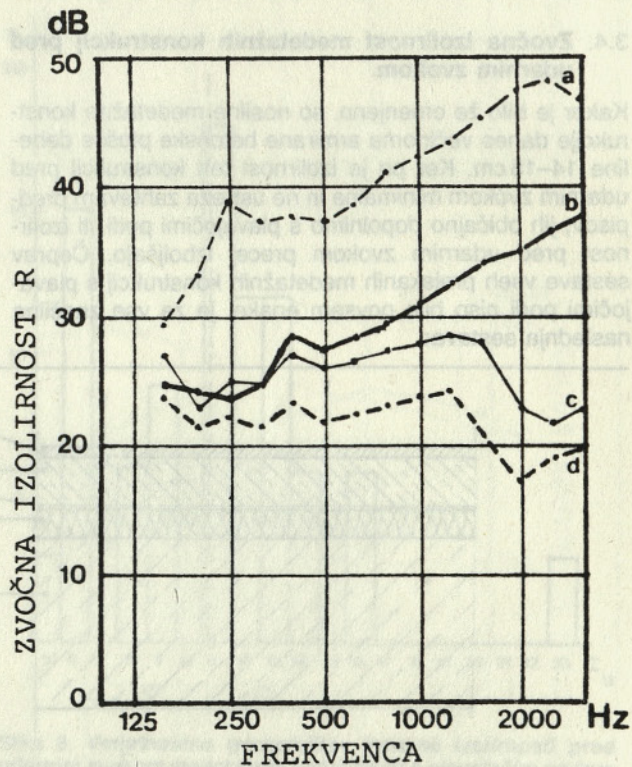
Zvočna izolirnost stanovanjskih vhodnih vrat je danes eden največjih problemov glede zvočne zaščite stanovanj-



Slika 2. Verjetnostna porazdelitev zvočne izolirnosti stanovanjskih vhodnih vrat

skih zgradb, ki povzročajo gradbenikom – izvajalcem velike težave. Kakšno je stanje na tem področju, je prikazano v diagramu na sliki 2. Iz njega je razvidno, da zvočna izolirnost velike večine (91%) od 86 preiskanih vrat ne ustreza predpisom. Srednja vrednost zvočne izolirnosti vrat znaša samo 22,9 dB, standardna deviacija  $\delta$  pa 4,6 dB. Pri tem je treba povedati, da morajo imeti stanovanjska vhodna vrata po naših predpisih zvočno izolirnost najmanj 30 dB (slika 2).

Analiza vzrokov za tako majhno zvočno izolirnost vhodnih vrat, vgrajenih na zgradbah, je pokazala, da že zvočna izolirnost samih vratnih kril večinoma ni bila dovolj velika in ni ustrezala predpisom. Večina naših gradbenikov vgrajuje za stanovanjska vhodna vrata kar običajna sobna vrata, katerih zvočna izolirnost ne presega 24 dB. Poleg tega pa so preiskave pokazale, da tudi pri večini vhodnih vrat, kjer je bila zvočna izolirnost samih kril dovolj velika (večja od 32 dB), ta ni ustrezala zahtevam. Vzrok sta bili slaba izvedba in vgraditev vrat, zaradi česar vrata niso dovolj tesnila. Kako močno vpliva tesnjenje na zvočno izolirnost vrat, je prikazano v diagramu na sliki 3.



Slika 3. Odvisnost zvočne izolirnosti vrat od tesnjenja pripir

Krivulja a je zvočna izolirnost vratnega krila, izmerjena v laboratoriju (42 dB). Krivulja b pomeni zvočno izolirnost istega vratnega krila, vgrajenega na zgradbi, ko so bile vse pripire med krilom in podbojem zatesnjene s kitom (31 dB). Zvočno izolirnost istih vrat, opremljenih z razmeroma dobrim tesnilom (vendar tesnjenje ni popolno), prikazuje krivulja c (26 dB). Krivulja d prikazuje zvočno izolirnost istih vrat, vendar z neustreznim tesnilom (21 dB) [2].

### 3.3. Zvočna izolirnost medetažnih konstrukcij pred zvokom v zraku

Medetažne konstrukcije so danes večinoma armiranobetonске s površinsko maso, večjo kot  $400 \text{ kg/m}^2$ ; tako je njihova izolirnost pred zvokom v zraku načeloma dovolj

velika. Izjema so nekatere lažje konstrukcije (npr. montažni rebrasti ali votli stropi), ki pa se večinoma uporabljajo samo v individualni stanovanjski gradnji. Rezultati raziskav, ki smo jih opravili na zgradbah in so prikazani v preglednici III, pa kažejo, da zvočna zaščita nekaterih stropov kljub pravilni zasnovi (dovolj veliki površinski masi) ne ustreza zahtevam predpisov (preglednica III).

**Preglednica III**

Medetažne konstrukcije	N	$I_z$ (dB)	$\delta$ (dB)	Ustreza JUS U.J6.201 %	Ne ustreza JUS U.J6.201 %
med sobami	314	+2,9	2,8	96	4
med kuhinjami	337	+0,3	3,6	75,5	24,5

Analiza negativnih rezultatov je pokazala, da sta za to večinoma krivi nepravilna izvedba hišnih instalacij, deloma pa tudi slaba izvedba gradbenih del. Očitna je tudi razlika v zvočni izolirnosti stropov v sobah in v kuhinji. Zvočna izolirnost stropov v sobah je v glavnem zadovoljiva, saj jih samo 4 % ne ustreza zahtevam. V kuhinji je stropov z neustrezno zvočno izolirnostjo precej več (25 %). Vzrok je nepravilna izvedba sistemov za prezračevanje.

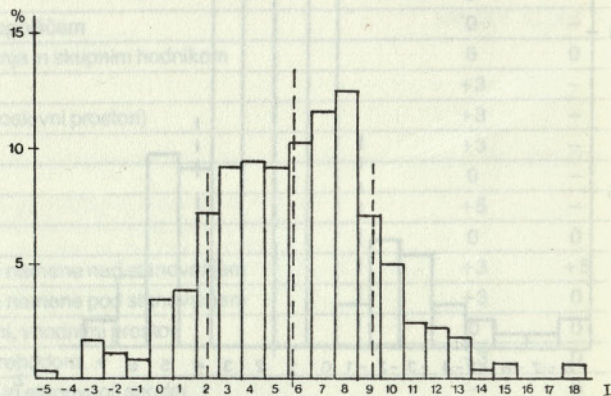
### 3.4. Zvočna izolirnost medetažnih konstrukcij pred udarnim zvokom

Kakor je bilo že omenjeno, so nosilne medetažne konstrukcije danes večinoma armirane betonske plošče debeline 14–18 cm. Ker pa je izolirnost teh konstrukcij pred udarnim zvokom minimalna in ne ustreza zahtevam predpisov, jih običajno dopolnimo s plavajočimi podi; ti izolirnost pred udarnim zvokom precej izboljšajo. Čeprav sestave vseh preiskanih medetažnih konstrukcij s plavajočimi podi niso bile povsem enake, je za vse značilna naslednja sestava:

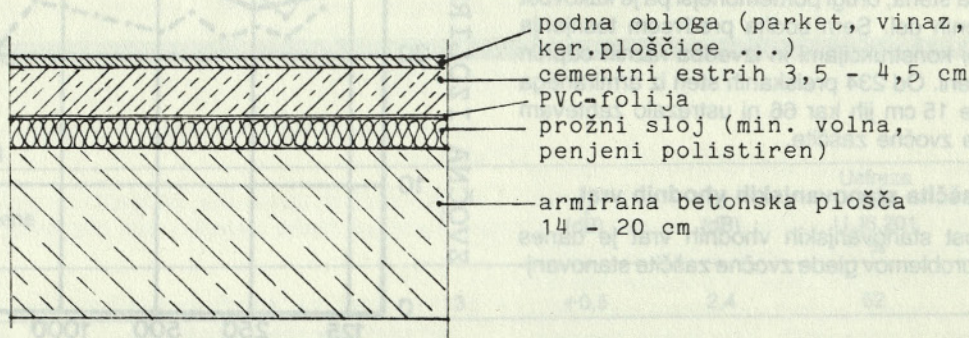
Plavajoči podi navedene sestave popolnoma ustrezajo zahtevam naših predpisov in zagotavljajo učinkovito zaščito pred udarnim zvokom. Vendar pa so preiskave 952 takih medetažnih konstrukcij, vgrajenih na zgradbah, pokazale, da izolirnost pred udarnim zvokom ne ustreza predpisom skoraj pri 15 % preiskanih konstrukcij (preglednica IV). Vzrok za to je v vseh primerih slaba in nestro-

kovna izvedba plavajočih podov.

Statistični prikaz rezultatov preiskav za razne vrste podov (talnih oblog) je v diagramih na slikah 4 do 8.



Slika 4. Verjetnostna porazdelitev indeksa izolirnosti pred udarnim zvokom medetažnih konstrukcij s plavajočim podom – talna obloga: parket

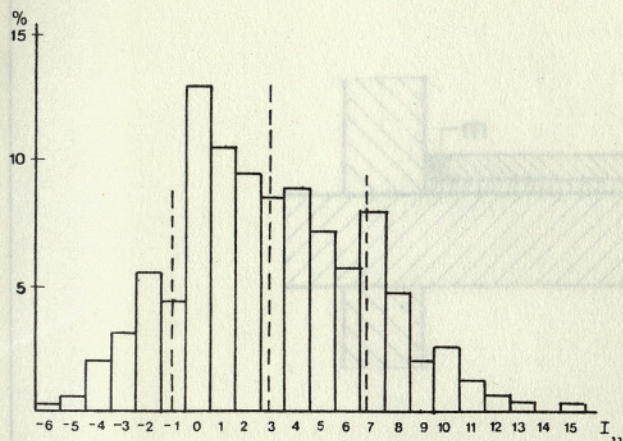


**Preglednica IV.**

Talna obloga	N	$I_u$ (dB)	$\delta$ (dB)	Usteza JUS U.J6.201 %	Ne ustreza JUS U.J6.201 %
Parket	393	+ 5,7	3,6	96	4
Enojne trde obloge (vinaz)	414	+ 2,9	3,9	83,5	16,5
Dvoslojne obloge (topli pod, ...)	19	+ 9,8	4,0	100	0
Tekstilne obloge (tapison, ...)	33	+ 10,8	3,8	100	0
Keramične ploščice	93	-1,5	5,0	42	58
Skupaj	952	-	-	85,5	14,5

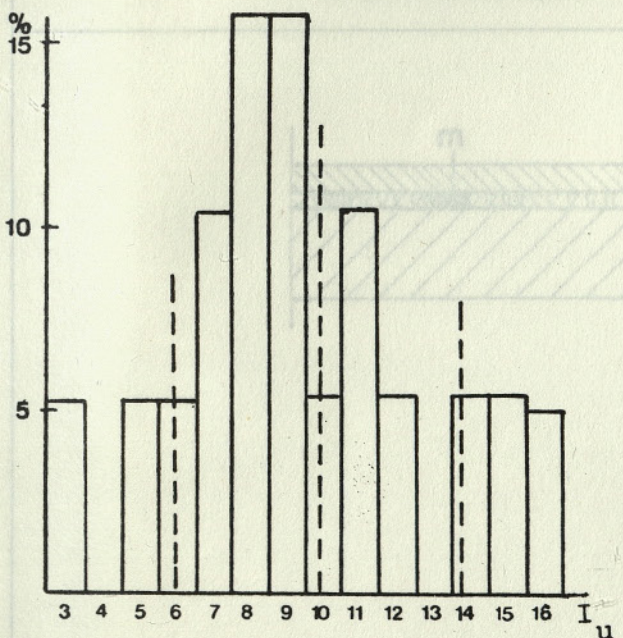


Najboljše rezultate smo ugotovili pri medetažnih konstrukcijah, kjer so bile na tleh tekstilne ali pa dvoslojne talne obloge (topli pod), kar je glede na strukturo teh oblog razumljivo (slika 8).



Slika 5. Verjetnostna porazdelitev indeksa izolirnosti pred udarnim zvokom medetažnih konstrukcij s plavajočim podom in enojnimi trdnimi talnimi oblogami (vinaz...)

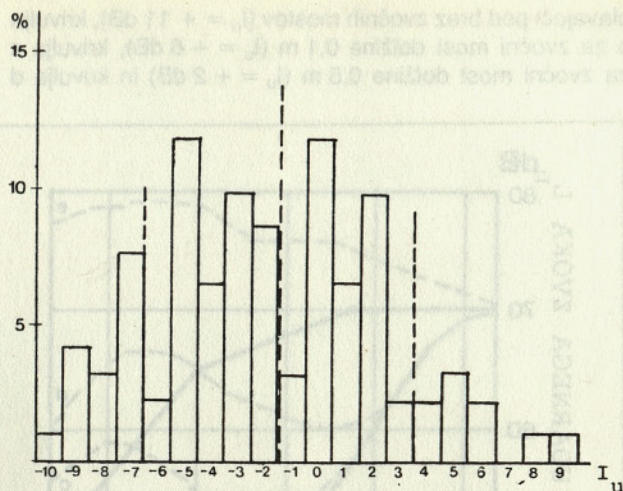
Talne obloge te vrste namreč zagotavljajo zadostno zaščito pred udarnim zvokom tudi v primerih, ko je izvedba plavajočega poda slaba. Zato jih večkrat uporabljamo za sanacijo medetažnih konstrukcij, pri katerih izoliranost pred udarnim zvokom ni zadovoljiva.



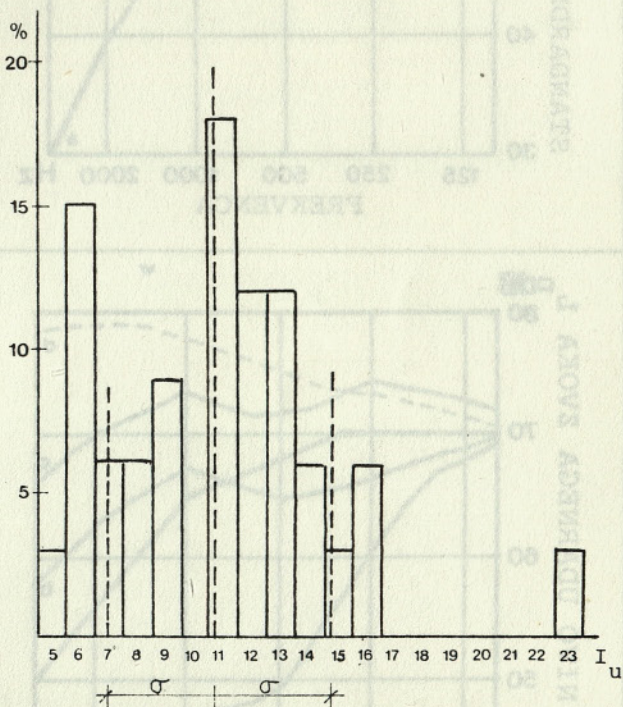
Slika 6. Verjetnostna porazdelitev indeksa izolirnosti pred udarnim zvokom medetažnih konstrukcij s plavajočim podom in dvoslojnimi talnimi oblogami (topli pod...)

Več kot 50% negativnih rezultatov smo ugotovili pri medetažnih konstrukcijah, kjer so bile na tleh položene keramične ploščice (slika 7).

Pri vseh medetažnih konstrukcijah, kjer izoliranost pred udarnim zvokom ni bila zadovoljiva, so bile ploščice položene nepravilno, in sicer tako, da med plavajočim podom in stranskimi stenami ni bilo dilatacije, ki prepreči prenos udarnega zvoka na stranske stene.



Slika 7. Verjetnostna porazdelitev indeksa izolirnosti pred udarnim zvokom medetažnih konstrukcij s plavajočim podom in keramičnimi ploščicami



Slika 8. Verjetnostna porazdelitev indeksa izolirnosti pred udarnim zvokom medetažnih konstrukcij s plavajočim podom in tekstilnimi talnimi oblogami (tapison...)

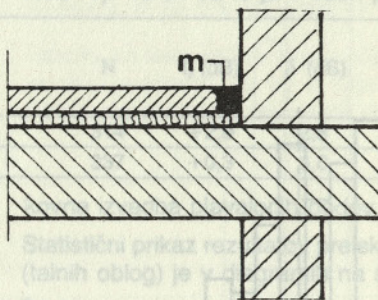
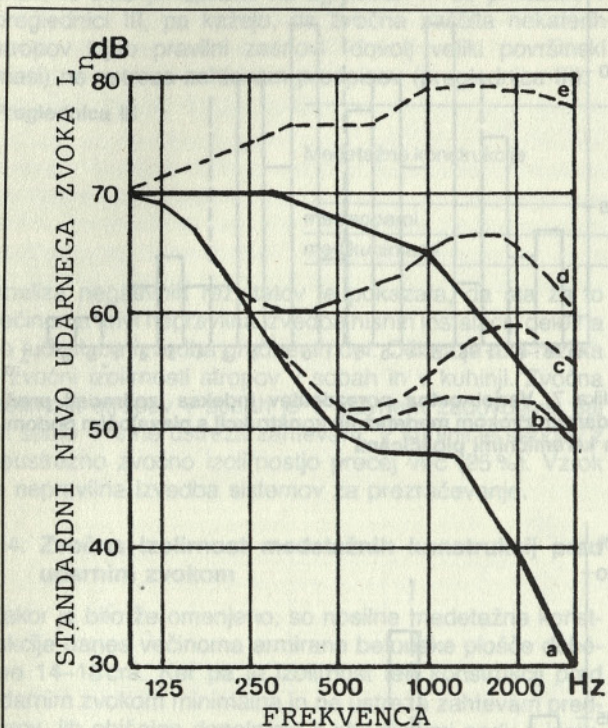
Vpliv nepravilne izvedbe plavajočega poda (zvočnih mostov) na izoliranost pred udarnim zvokom je prikazan na slikah 9 in 10. [3]

Na sliki 9 so zvočni mostovi pod plavajočim podom. Površina enega zvočnega mostu je okrog  $7 \text{ cm}^2$ . Krivulja a na diagramu velja za plavajoči pod brez zvočnih mostov ( $I_u = + 11 \text{ dB}$ ), krivulja b za pod z enim zvočnim mostom ( $I_u = 0 \text{ dB}$ ) in krivulja c za 10 zvočnih mostov ( $I_u = - 7 \text{ dB}$ ). Krivulja d velja za stropno ploščo brez plavajočega poda.

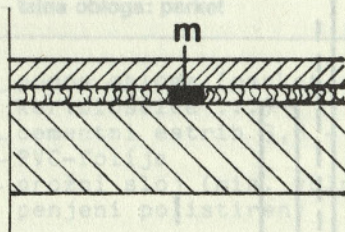
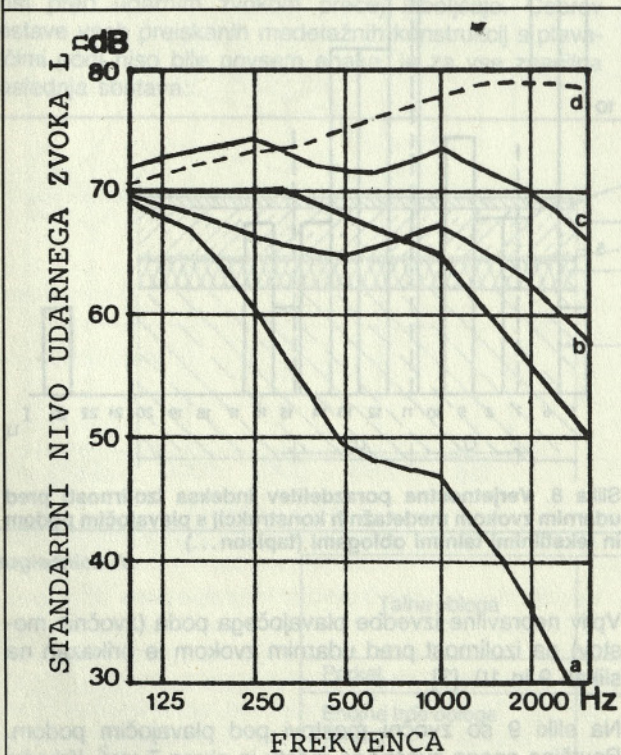
Na sliki 10 so zvočni mostovi med plavajočim podom in stranskimi stenami. Krivulja a na diagramu velja za

plavajoči pod brez zvočnih mostov ( $I_u = +11$  dB), krivulja b za zvočni most dolžine 0,1 m ( $I_u = +6$  dB), krivulja c za zvočni most dolžine 0,5 m ( $I_u = +2$  dB) in krivulja d

za zvočni most dolžine 2,5 m ( $I_u = -4$  dB). Krivulja e velja za strop brez plavajočega poda ( $I_u = -16$  dB).



Slika 9. Vpliv zvočnih mostov pod plavajočim podom na izolirnost pred udarnim zvokom



Slika 10. Vpliv zvočnih mostov ob robu plavajočega poda na izolirnost pred udarnim zvokom

#### LITERATURA

- [1.] Volovšek S., Ramšak M.: Raziskave vzrokov odstopanja zvočne zaščite stanovanjskih zgradb od predpisanih zahtev. Raziskovalna naloga ZRMK Ljubljana 1986.
- [2.] Sälzer E., Moll W., Wilhelm H.: Schallschutz elementierter Bauteile, Wiesbaden und Berlin, 1979.
- [3.] Gösele K., Schüle W.: Schall, Wärme, Feuchtigkeit, Wiesbaden – Berlin, 1980.

# hrast

**OBRTNA ZADRUGA**  
**68000 NOVO MESTO, ADAMIČEVA 2**  
**tel.: 068 22-802**

Proizvaja:

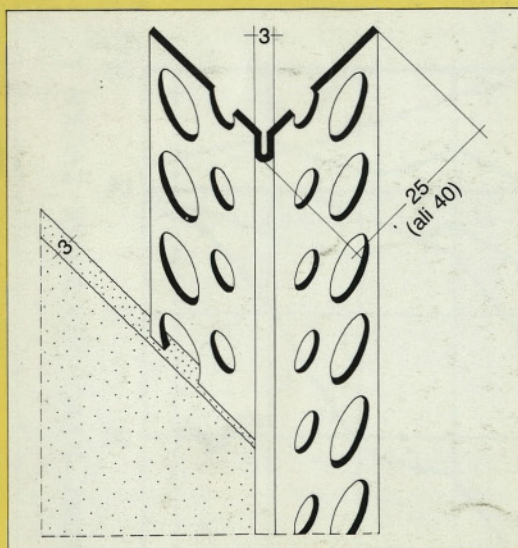
**ROLETARSTVO**  
**IN KOVINSKI PREDMETI**

**MEDLE**

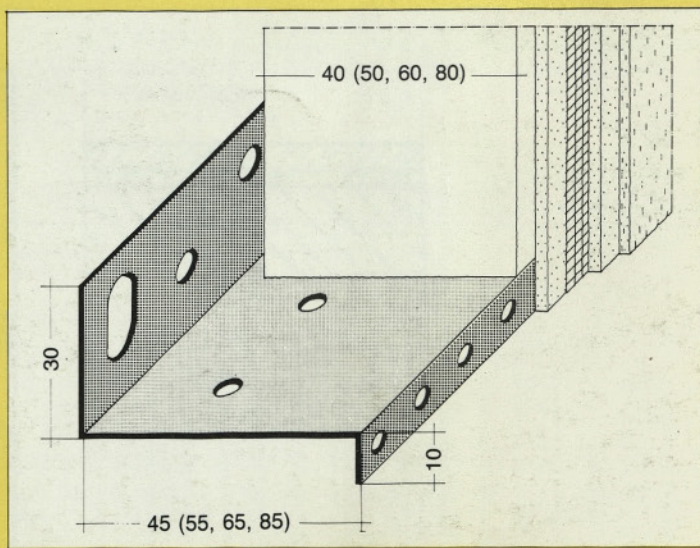
68000 NOVO MESTO, Žabja vas 47  
Tel.: 068 23-673

## Al profili za fasade novost na našem tržišču

### kotni profil



### spodnji robni profil



Profile za fasade uporabljamo pri različnih sistemih kompaktnih fasad (Novoterm, Demit, Jubizol, Fasaterm, Kombifas, itd.).

Vogalni profili ščitijo in ojačajo:

- robove odprtin in vogale objekta;
- izpostavljene robove stebrov in raznih prehodov;
- robove pri tankoslojnih notranjih ometih;
- instalacijske kable.

Montiramo jih v prvi sveži nanos malte pred vtisnjenjem steklene mrežice.

Robni profili ojačajo in ščitijo spodnje robove objekta. Montiramo jih na steno pred polaganjem izolacijskih plošč kot vodilo spodnjega roba.

Profile za fasade izdelujemo iz Al pločevine, zaščitene z lakom, ki zagotavlja obstojnost proti agresivnosti malt do pH 13. Proizvodna dolžina vogalnih profilov je 2,50 m in spodnjih robnih profilov 2,00 m.

Oblika profilov zagotavlja ustrezno togost in ravnost roba, razporeditev lukenj pa omogoča zadostno sprijemljivost z osnovo.

Z uporabo profilov za fasado prihranimo čas pri izvedbi ometov in dosežemo zahtevano ravnost linij robov.