

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

LJUBLJANA, JANUAR-FEBRUAR-MAREC, 1988, LETNIK XXXVII, STR. 1-56

# GRADBENI VESTNIK

## 1-2-3

REGULACIJA VIPAVE





# GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE  
ŠT. 1-2-3 ● LETNIK 37 ● 1988 ● YU ISSN 0017-2774

## VSEBINA-CONTENTS

<b>Članki, študije, razprave</b> <b>Articles, Studies,</b> <b>Proceedings</b>	Janez Kokol: VODNO GOSPODARSTVO DANES IN JUTRI . . . . . 2 THE WATERS ECONOMY TODAY AND TOMOROW
	Dušan Legiša: PETDESETLETNICA HIDRAVLICNE RAZISKOVALNE DEJAVNOSTI V SLO- VENIJI (VODOGRADBENI LABORATORIJ 1937—1987) . . . . . 5 FIFTIETH ANNIVERSARY OF RESEARCH IN THE FIELD OF HYDRAULICS IN SLOVENIA (THE HIDRAULICS LABORATORY OF LJUBLJANA, 1937—1987)
	Janez Kokol: PROGRAM SANACIJE KAKOVOSTI VODE REKE SAVE V ZVEZI Z IZGRAD- NJO HE NA SAVI . . . . . 9 IMPROVEMENT PROGRAM FOR THE SAVA RIVER WATER QUALITY RE- GARDING CONSTRUCTION OF HYDRO-ELECTRIC POWER STATION
	Marijan Tomšič: REGIONALNI PRIMORSKI VODOVOD PROJEKTIRANJE IN GRADNJA . . . . 13 THE SLOVENE-LITTORAL REGIONAL WATER-SUPPLY SYSTEM
	Viktor Pirc: ZADRŽEVANJE VODA V POVODJU GRADAŠČICE . . . . . 17 WATER RETENTION IN THE GRADAŠČICA CATCHMENT AREA
	Mitja Rismal: VODNOGOSPODARSKA IN EKOLOŠKA REŠITEV ONESNAŽENJA Z GNO- JEVKO IZ PRAŠIČJE FARMER PODGRAD NA APAŠKEM POLJU . . . . . 21 WATER RESOURCES MANAGEMENT AND ECOLOGICAL SOLUTION OF MANURE DISPOSAL OF PIG FARM PODGRAD ON APAŠKO POLJE
	Vanja Tonin: RAZISKAVE HIDRODINAMIČNIH POGOJEV SLOVENSKEGA MORJA . . . . 26 RESEARCH INTO THE HYDRO-DYNAMIC CONDITIONS OF SLOVENE COASTAL WATERS
	Rudi Rajar, Matjaž Četina: MATEMATIČNO MODELIRANJE TURBULENTNE DIFUZIJE . . . . . 34 MATHEMATICAL MODELLING OF TURBULENT DIFFUSION
<b>Iz naših kolektivov</b> <b>From our Enterprises</b>	Lojze Cepuš . . . . . 40
	Jernej Pavšič: PRVO SLOVENSKO POSVETOVANJE O ARHITEKTONSKO-GRADBENEM KAMNU IN NJEGOVI UPORABI . . . . . 43
<b>Poročila Fakultete za</b> <b>arhitekturo,</b> <b>gradbeništvo in</b> <b>geodezijo Univerze</b> <b>Edvarda Kardelja</b> <b>v Ljubljani</b> <b>Proceedings of the</b> <b>Department of Civil</b> <b>Engineering</b> <b>University E. Kardelj</b> <b>Ljubljana</b>	R. Kladnik, A. Krainer, M. Klanjšek, B. Orel: VPLIV RADIACIJSKEGA HLAJENJA STREHE NA TOPLOTNI ODZIV ZGRADBE . . . . . 45 THE COOLING EFFECT OF THE THERMAL RADIATION EMISSION OF THE ROOF
<b>Informacije Zavoda za</b> <b>raziskavo materiala in</b> <b>konstrukcij Ljubljana</b> <b>Proceedings of the</b> <b>Institute for materials</b> <b>and structures research</b> <b>Ljubljana</b>	B. Hočevar: EPOKSIDNA LEPILA ZA ZAHTEVNEJŠA KONSTRUKCIJSKA LEPLJENJA 53

Glavni in odgovorni urednik: FRANC ČAČOVIČ

Tehnični urednik: DANE TUDJINA — Lektor: IRENA PUHAR

Uredniški odbor: SERGEJ BUBNOV, VLADIMIR ČADEŽ, VOJTEH WŁODYGA, STANE PAVLIN,  
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. Tek. račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska Tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Letna naročnina, skupaj s članarino znaša 6000 din, za študente in upokojenca 3000 din, za podjetja, zavode in ustanove 48.000 din, za inozemske naročnike 50 US dolarjev. Revija izhaja ob finančni pomoči Raziskovalne skupnosti Slovenije, Splošnega združenja gradbeništva in IGM Slovenije, Zveze vodnih skupnosti Slovenije, Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana in Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani.

## Vodno gospodarstvo danes in jutri

UDK 622.5

JANEZ KOKOL

### Povzetek

Gospodarjenje z vodami je pomembna gospodarska dejavnost. Dejavnosti, s katerimi se zagotavljajo čim boljše vzdrževanje, urejanje in razvoj vodnega režima ter se omogočata racionalna raba in izkoriščanje voda, pa so dejavnosti posebnega družbenega pomena.

Družbeni plani SR Slovenije in občin ter plani vodnih skupnosti so v planskem obdobju določili prioriteta vlaganja v vodno gospodarstvo, ki morajo omogočiti zadostni obseg vzdrževanja vodnega režima, izboljšanje kakovosti voda, zlasti v rekah Savinji, Savi in Notranjski reki ter meddržavnih in medrepubliških vodah, povečanje varnosti pred poplavami pomembnejših urbaniziranih površin ter realizacijo programa osuševanja in namakanja kmetijskih površin.

Razmere v gospodarstvu ne omogočajo zagotavljanja sredstev, potrebnih za doseganje vseh postavljenih ciljev. Zato bo treba izvesti rebalans planov vodnih skupnosti pa tudi preveriti udeležbo vodnega gospodarstva v delitvi ustvarjenega družbenega proizvoda.

Da se zagotovi čim bolj racionalna poraba razpoložljivih finančnih sredstev, bo treba v vodnem gospodarstvu izvesti pomembne organizacijske spremembe, zagotoviti postopno prenovo strokovnih kadrov ter omogočiti delovanje ekonomskih zakonitosti tržišča. Gledano dolgoročno pa bo treba ponovno preveriti status vodnega gospodarstva v družbi ter izboljšati zakonske osnove in druge regulativne predpise, ki urejajo določena strokovna področja.

Gospodarjenje z vodami je pomembna gospodarska dejavnost, ki naj zagotavlja tako vzdrževanje, urejanje in razvoj vodnega režima, da bo mogoče vode čim bolj racionalno uporabljati oziroma izkoriščati, varovati vodo pred škodljivimi posegi v vodni režim ter varovati življenje ljudi in živali, naravno in kulturno dediščino ter družbeno premoženje pred škodljivim delovanjem voda. Ker je voda pomembna za obstoj življenja, razvoj gospodarskih aktivnosti ter za varovanje in razvoj naravnega okolja, Ustava SR Slovenije določa, da je pod posebnim družbenim varstvom. Dejavnosti, s katerimi se zagotavljajo čim boljše vzdrževanje, urejanje in razvoj vodnega režima ter se omogočata racionalna raba in izkoriščanje voda, so zato dejavnosti posebnega družbenega pomena.

Kulturni in gospodarski razvoj družbe povečuje potrebe po vodnih količinah, spreminja ravnotežne pogoje v okolju in pomeni nove nevarnosti za

*Avtor:*

Janez Kokol, dipl. inž. geod., pomočnik predsednika RKVOUP

### THE WATERS ECONOMY TODAY AND TOMORROW

#### Summary

The waters management is important economic activity. The activities, which provide better maintenance, arranging and development of water regime, make possible the rational use and exploitation of waters are the activities of particular social importance.

The social plans of SR Slovenia and communities and plans of water communities determine the priority of investing in water economy, which must enable sufficient size of maintenance of the water regime, improve the quality of waters, especially on the rivers Savinja, Sava, Notranjska reka and on the interstate and interpublic waters, increase the safety in front of floods on more important urban area and realize the programme of irrigation and drainage on agricultural areas.

Conditions in the economy don't enable the means necessary for reaching all the set aims. Therefore it will be necessary to rebalance the plans of water communities and check up the participation of water economy in the division of created national product.

To make sure the rational use of the financial means, it will be necessary to make important changes in the organisation of water economy, to assure gradually renew of the professional specialists and to enable the acting of economic laws on the market. Looking forward, it would be necessary to verify the status of water economy in the society and to improve the lawful fundamentals and other regulative subscriptions which arrange certain branches areas.

vodo v naravi. Raba pitne vode, izkoriščanje voda v razne gospodarske namene ter potreba po povečevanju varnosti prostora pred škodljivim delovanjem voda so danes že tako porasli, da jih je mogoče obvladovati le z izvajanjem del, ki so med seboj usklajena in upoštevajo temeljne zakonitosti gibanja voda v naravi. Vse to pa je mogoče doseči le v sistemu hkratnega in kontinuiranega procesa družbenega planiranja.

Družbeni plani SR Slovenije in občin za dolgoročno obdobje 1986—2000 in srednjeročno obdobje 1986—1990 nalagajo vodnemu gospodarstvu vrsto nalog, ki so pogoj za doseg nekaterih temeljnih ciljev družbenega razvoja v teh obdobjih. V srednjeročnem planskem obdobju 1986—1990 so tako temeljni cilji vodnega gospodarstva tile:

— postopno izboljševanje labilnih ravnotežnih pogojev v povirjih voda, in sicer tako, da se bodo odpravljali vzroki za naraščanje erozijskih procesov, ter vzdrževanje naravnih vodotokov ter vodnogospodarskih objektov in naprav v obsegu, ki zagotavlja vzdrževanje stanja vodnega režima;

— varovanje kakovosti voda v obsegu, ki bo zagotovil izboljšanje njihove kakovosti v najbolj ogroženih odsekih vodotokov, na katerih so predvideni večji posegi v vodni režim (izgradnja HE na Savi), preprečil slabšanje kakovosti voda, ki so namenjene za oskrbo s pitno vodo, ter zagotovil postopno izboljševanje kakovosti voda v meddržavnih in medrepubliških vodotokih (v skladu s sprejetimi obveznostmi);

— zadrževanje vodnih količin v prostoru tako, da se bodo postopoma zmanjševale poplavne konice med intenzivnimi padavinami in ohranjale vodne količine za zadovoljevanje potreb po pitni in tehnološki vodi ter vodi za namakanje kmetijskih površin;

— zavarovanje kmetijskih površin pred škodljivim delovanjem voda, da se omogoči izvajanje hidromelioracij na teh površinah (osuševanje in namakanje). Na še ogroženih urbaniziranih površinah je predvideno povečanje varnosti pred poplavami (Nova Gorica, Ljubljana).

V tretjem letu tekočega srednjeročnega planskega obdobja postaja vse bolj očitno, da vseh nalog in ciljev, predvidenih s planskimi akti, v tem času ne bo mogoče doseči. Vzroki so predvsem tile:

— upadanje reproduktivne sposobnosti slovenskega gospodarstva, ki že bistveno zmanjšuje obseg osnov za financiranje vodnega gospodarstva. Rastoča inflacija pa povzroča, da se zmanjšuje tudi planirana udeležba vodnega gospodarstva v realiziranem družbenem proizvodu, in to s predvidenih 0,65 odstotkov družbenega proizvoda na realiziranih 0,43 odstotkov družbenega proizvoda z vidnim nadaljnjim upadanjem;

— obstoječa samoupravna organiziranost vodnega gospodarstva, ki otežuje sporazumevanje pri usklajevanju prioritet; le-te so v širšem družbenem interesu ter so pomembne za doseganje temeljnih nacionalnih ciljev v gospodarjenju z vodami. Še vedno so močni lokalni ali parcialni interesi, ki ne zagotavljajo racionalnega usmerjanja razpoložljivih finančnih sredstev. Slabosti v organiziranosti strokovnih služb teh skupnosti pa nadalje otežujejo odločanje uporabnikov;

— obstoječa organiziranost stroke, ki je dolžna zagotavljati strokovne osnove za racionalno odločanje ter uveljavljati racionalnost v posameznih naložbah ni optimalna. Tako ni bilo mogoče zagotoviti racionalnejše izbire obstoječih strokovnih kadrov, zagotoviti njihove hitrejše strokovne rasti in boljše izkoriščenosti informacij ter njihovega znanja. Prav tako ni ustrezno rešeno financiranje izobraževanja novih strokovnjakov ter izpopolnjevanje znanja obstoječih. Zato je priliv novih strokovnjakov premajhen in ne pokriva vseh potreb. Te probleme še otežuje slaba kadrovska struktura v obstoječih vodnogospodarskih organizacijah. Čezmerna zasedenost delovnih mest z nekvalificira-

nimi in polkvalificiranimi delavci ter z delavci, s samo priznano strokovno izobrazbo, obremenjuje materialne možnosti, ki bi bile potrebne za tehnološko prenovo teh organizacij, ter zadržuje uvajanje modernejših tehnologij.

Ob takem stanju se je potrebno vprašati, kako bomo v tekočem planskem obdobju do leta 1991 zagotovili doseganje temeljnih planskih ciljev, pravočasno pripravili strokovne podlage za oblikovanje razvojnih odločitev v naslednjem planskem obdobju ter zagotovili nadaljnji razvoj samoupravnih odnosov v vodnih skupnostih ob uveljavljanju ekonomskih zakonitosti v delovanju sistema.

Glede na odprtost problemov bo treba takoj konkretno ukrepati, tako da se zagotovi realizacija sprejetih planskih nalog ter izvede politika postopnega dograjevanja obstoječe samoupravne in strokovne organiziranosti.

S konkretnimi ukrepi bi bilo treba:

1. Izvesti rebalanse vseh planov vodnega gospodarstva z opredelitvijo prioritetnih nalog, ki so v skladu s temeljnimi usmeritvami družbenih planov družbenopolitičnih skupnosti za obdobje 1986—1990. Prioritete bi morale biti določene tako, da se zagotovi:

— minimalni potrebni obseg osnovne vodnogospodarske dejavnosti (enostavna reprodukcija), ki še omogoča vzdrževanje stanja vodnega režima;

— doseganje najpomembnejših planskih prioritet na področju varstva kakovosti voda, izvajanja hidromelioracij kmetijskih površin in zagotavljanja vodnih virov za oskrbo s pitno vodo.

V planih vodnih skupnosti bo treba skrbno pretehtati ostale planske odločitve in ugotoviti, kate-re od njih je treba prenesti kot prioritete v naslednje plansko obdobje.

2. Ponovno proučiti nasprotja med razvojnimi potrebami v družbenih planih družbenopolitičnih skupnosti in materialnimi možnostmi vodnega gospodarstva v skladu s procesom rebalansov planskih aktov vodnega gospodarstva.

Ukrepati bo treba tako, da se vodnemu gospodarstvu zagotovi planirana udeležba v delitvi ustvarjenega družbenega proizvoda. Ob tem bi bilo potrebno, da vodne skupnosti v večji meri upoštevajo usmeritve Skupščine SR Slovenije in v skladu z njimi v čim večji meri uvajajo v sistem financiranja vodnega gospodarstva instrumente ekonomske cene vode za rabo vodnih količin, izpuščanje škodljivih snovi v vode in varovanje površin pred škodljivim delovanjem voda.

3. Zagotoviti realizacijo le optimalnih tehničnih rešitev in izbor najprimernejših izvajalcev z uvajanjem tržnih odnosov in drugih instrumentov

za uvajanje ekonomskih zakonitosti v vodno gospodarstvo.

4. Reorganizirati strokovne službe vodnih skupnosti tako, da bodo v celoti sposobne omogočiti čim bolj učinkovito sprejemanje in realizacijo sprejetih odločitev v okvirih vodnih skupnosti.

Odgovornost hidrotehnične stroke in drugih strok, ki morajo dati vodnemu gospodarstvu novo vsebino in ponuditi boljše rešitve za doseg razvojnih ciljev, je zelo velika. Z boljšim medsebojnim sodelovanjem vodnogospodarskih podjetij, z Vodnogospodarskim inštitutom in Hidrometeorološkim zavodom je treba zagotoviti racionalno izrabo in boljši razvoj obstoječih kadrov. Ti nosilci pa se morajo v večji meri kot doslej povezati s tehničnimi visokimi šolami in z drugimi strokovnimi institucijami, ki so sposobne zagotoviti potrebno znanje za interdisciplinarno reševanje kompleksnih problemov.

V sklopu procesov postopnega dograjevanja vodnega gospodarstva sta v ospredju dve najpomembnejši nalogi:

1. Urejanje temeljnih vprašanj o položaju vodnega gospodarstva in sistema upravljanja z vodami v družbi ter nadaljnje dograjevanje samoupravnih interesnih skupnosti za gospodarjenje z vodami.

Dosedanja praksa pri gospodarjenju z vodami in problemi, ki spremljajo razvoj samoupravnih interesnih skupnosti v vodnem gospodarstvu, vse bolj odpirajo vprašanje, kako optimalno uveljaviti določila 102. člena ustave SR Slovenije, ki določa, da so zemljišča, vode, vodotoki, morje in morska obala dobrine splošnega družbenega pomena in pod posebnim družbenim varstvom.

V delovanju obstoječih vodnih skupnosti se vse bolj pogosto soočata dva interesa:

— splošni družbeni interes, ki temelji na varovanju in razvijanju vodnega režima kot dobrine splošnega pomena;

— skupni interes uporabnikov, ki se združujejo v vodnih skupnostih predvsem zato, da skupno in na optimalni način zadovoljujejo svoje potrebe po rabi in izkoriščanju voda, varstvu pred njihovim škodljivim delovanjem in racionalni dispoziciji odpadnih voda.

V soglasju z razrešitvijo teh temeljnih vprašanj bo treba reševati še ostalo odprto problematiko dograjevanja samoupravnih interesnih skupnosti.

2. Dograjevanje zakonodaje in uveljavljanje pravnega reda, s katerim se v vodnem gospodarstvu določajo temeljni pogoji za uveljavljanje tistih ustavnih določil, ki so podlaga za zakonsko ureditev varstva voda, urejanja vodnega režima in gospodarjenja z vodami.

V primerjavi s tehnološko zelo razvitimi in dinamičnimi ekonomsko uspešnimi državami je vodnogospodarska regulativa v SFR Jugoslaviji in SR Sloveniji nepopolna. Zlasti so pomanjkljivi izvedbeni predpisi, odloki in smernice, ki dajejo osnovne tehnične kriterije za usmerjanje aktivnosti; ti posredno ali neposredno zadevajo problematiko gospodarjenja z vodami v najširšem pomenu besede.

Na koncu je treba ugotoviti, da je strokovnost dela v vodnem gospodarstvu kljub vsem navedenim problemom v obdobju zadnjih desetih let bistveno napredovala. Uspešne rešitve težkih strokovnih problemov in nalog, realiziranih v zadnjem obdobju, so priznanje za strokovne delavce, ki ustvarjajo v različnih delovnih organizacijah in v različnih delovnih razmerah. To pa je prav gotovo dobra osnova za rešitev težkih problemov, ki jih vodnemu gospodarstvu nalaga razvoj v težkih gospodarskih razmerah.

## Petdesetletnica hidravlične raziskovalne dejavnosti v Sloveniji (Vodogradbeni laboratorij 1937—1987)

UDK 626.627:6161.6»1937—1987«

DUŠAN LEGIŠA

### Povzetek

Vodogradbeni laboratorij je v letu 1987 slavil 50-letnico, odkar je po nekaj letnih pripravah začel delovati — sprva sicer v skromnih razmerah — februarja 1937, kot prva eksperimentalna hidravlična ustanova v Jugoslaviji. Medtem ko je v začetku spadal neposredno k univerzi, se je leta 1954 povsem osamosvojil (tudi finančno), čeprav je kasneje še naprej stalno sodeloval s prvotnim ustanoviteljem. V letu 1977 je Laboratorij začel razširjati svojo dejavnost na druga področja hidrotehnike in vodnega gospodarstva ter kmalu zrasel v Vodnogospodarski inštitut, v katerem je Vodogradbeni laboratorij s svojim imenom in prvotno dejavnostjo ostal le še eden od oddelkov nove organizacije.

V članku je poleg prvotnih začetkov delovanja prikazano tudi nekaj statističnih podatkov o sodelavcih, opravljenih delih, naročilih in publicistični dejavnosti v tem času.

Dosedaj še ni raziskano, kdaj so začeli razmišljati o uporabi pomanjšanih modelov za študij hidravličnih pojavov: brez dvoma pa zelo daleč nazaj v zgodovino. Vemo le za Leonarda da Vincija (1452—1519), ki je reproduciral tok vode z namenom, da ga je študiral in da bi ugotovil, kako prenesti ta fenomen na večje ali manjše razmere.

Podobnost kriterijev je prvi teoretično obdelal I. Newton (1642—1727). Mehanično podobnost dveh sistemov ali dogajanj je analiziral v znamenitem delu *Philosophie naturalis principia mathematica*.

Anglež J. Smeaton (1724—1792) je prvi začel uporabljati modelne poizkuse, da bi tako rešil praktični problem natoka na mlinska kolesa. Za svoje izsledke sicer še ni razvil matematičnih enačb, vendar pa je že opozoril na uporabnost modelov za reševanje določenih problemov.

Prvi, ki je uporabil podobnostni kriterij pojavov za rešitev problemov v praksi, je bil F. Reech. Pri študiju upora ladij na modelih je ugotovil zakon prenosa hitrosti in sil iz modela na prototip.

Avtor:  
DUŠAN LEGIŠA, dipl. ing.

### FIFTIETH ANNIVERSARY OF RESEARCH IN THE FIELD OF HYDRAULICS IN SLOVENIA (THE HYDRAULICS LABORATORY OF LJUBLJANA, 1937—1987)

#### Summary

In 1987 the Hydraulic Laboratory of Ljubljana celebrated the fiftieth anniversary of its establishment, which took place in 1937 after several years of preparation, in relatively difficult conditions. It was the first experimental hydraulic research institute to be established in Yugoslavia. At the start, the research institute formed a part of the University of Ljubljana, but in 1954 it became completely independent, in the financial sense, too, although it continued to cooperate permanently with its original founder. In 1977 the Laboratory began to broaden the scope of its activities to include other fields of hydraulic engineering and water management. Soon it grew into the Water Management Institute, in which the Hydraulic Laboratory, with its name and original range of activities, has become one of the departments of the new organization.

In the paper a description is given of the history of the laboratory, as well as some statistical data about its researchers, their achievements, orders placed and works published during this period.

Še bolj znane so W. Froudove raziskave na modelih ladij: po njem je v hidravliki znano Froudovo število.

Velik gospodarski razvoj v 19. stol. je pospešil obsežnejša dela na regulacijah vodotokov. Tako je J. Fargue želel na modelu odseka Garonne pokazati pravilnost svojega projekta regulacije. Zanimivo pri tem je, da je uporabil distorzijo (merili za dolžine in višine sta bili različni).

Prvo modelno raziskavo regulacije je izvedel O. Reynolds (1885) pri čemer je razmerje med karakterističnimi količinami za model in naravo izrazil matematično. V nadaljnjih študijah je določil karakteristiko laminarnega in turbulentnega toka (znano Reynoldsovo število).

Spoznanje o koristnosti in potrebi izvajanja modelnih preiskav za reševanje premnogih hidravličnih problemov je ob vedno večji izgradnji hidrotehničnih objektov in študiju hidravlike privedlo do postavitve prvega hidravličnega laboratorija v Dresdenu še pred koncem preteklega stoletja, in sicer 1898. Temu so sledili: 1901 — Karlsruhe, 1903 — Berlin, 1907 — Leningrad in Wilhelmshafen, 1908 Toulouse in Darmstadt, 1912 Graz in Berlin — Charlottenburg, 1913 Dunaj, 1917 Stockholm in

Brno, 1926 Budimpešta, 1930 Praga itd. Število novih laboratorijev pa se je močno povečalo takoj po koncu druge svetovne vojne.

Slovenska univerza, ustanovljena leta 1919, je že od samega začetka vključevala v okviru tehnične fakultete tudi gradbeni oddelek (1. in 2. letnik). Hidravlika in hidravlične predmete (v višjih letnikih) je honorarno predaval inž. Petrič. Ti predmeti pa so prav zaživeli šele s prihodom izrednega profesorja inž. Cirila Žnidaršiča leta 1925. Kot zelo razgledan hitrotehnični strokovnjak je kmalu spoznal potrebo po osnovanju hidravličnega laboratorija v Ljubljani; s tem bi olajšali in posodobili tako pouk hidravlike kakor tudi omogočili eksperimentalno delo na bazičnih modelih in na modelih za zunanje uporabnike. Za uresničitev te zamisli je ogrel takratnega svojega asistenta (redno zaposlenega od leta 1931), inž. Milovana Goljevščka, ki je v naslednjem obdobju prevzel iniciativo in organizacijsko delo.

Ustanovitvi »Društva za izgradnjo Hidrotehničnega laboratorija v Ljubljani« leta 1933 so sledile razne akcije, tako v javnosti kot v strokovnih krogih. Mestna občina ljubljanska je že istega leta poklonila v last parcelo ob Gradaščici za postavitev Hidrotehničnega laboratorija. Pripravljeni so bili že tudi prvi načrti za gradnjo, vendar se je ustavilo pri sredstvih, ki niso dopuščala zamišljene gradnje.

Želja, da se kljub vsemu nekaj uresniči, je bila tako velika, da so z adaptacijo zgradbe v okviru opekarne na Viču na Cesti dveh cesarjev vendarle uspeli priti do slovenskega hidravličnega laboratorija in s tem tudi do prvega takega laboratorija v Jugoslaviji. Svečana otvoritev je bila 20. februarja 1937. Prof. Žnidaršič je žal istega leta umrl: vse breme, tako predavanj kakor tudi laboratorija, je sčasoma ne samo formalno, temveč tudi dejansko prešlo na prof. Goljevščka.

V novem laboratoriju so se takoj začele vaje iz hidravlike za študente, medtem ko se je že naslednje leto pojavil prvi naročnik — Občina mesta Celje — z uporabno nalogo. Tako je bil zgrajen prvi model — strešni jez na Savinji v Celju.

Prvim uspešno izvedenim nalogam je sledilo zatišje med vojno, čeprav delo za razne študije ni povsem zamrlo. Takoj po vojni pa so ogromne potrebe po elektrifikaciji nujno vključile v priprave za gradnjo elektrarn po Jugoslaviji tudi laboratorij.

Zaradi mnogih nalog je bilo treba najprej povečati obstoječi laboratorij na Viču. Prve uspešno izvedene modelne naloge pa so kmalu prepričale tudi pristojne, da je izgradnja prvotno zastavljenega večjega laboratorija upravičena in nujna. Tako so leta 1946 začeli graditi današnje stavbe laboratorija na lokaciji, dobljeni pred vojno. Že jeseni leta 1948 je bil zgrajen prvi model, tokrat za HE Jablanica. Z vselitvijo je laboratorij dobil končno današnje ime — Vodogradbeni laboratorij.

Laboratorij je bil postavljen kot univerzitetna ustanova in ji je pripadal do leta 1954, ko je hkrati z nekaterimi drugimi inštituti pri univerzi ter Slovenski akademiji znanosti in umetnosti postal finančno samostojna ustanova. Tako so kmalu prenehale vsakršne subvencije, ki jih je prej dobival, in je postal odvisen le od naročil zunanjih interesentov.

Stari laboratorij na Viču je ostal še naprej v okviru univerze oz. Hidrotehnične smeri TOZD FAGG. Kasneje, ko je bil v pritličju in kleti šolskega dela stavbe na Hajdrihovi 28 urejen novi šolski laboratorij, so starega na Cesti dveh cesarjev opustili. Novi laboratorij je prevzel ime Laboratorij za mehaniko tekočin in rabi tako za pedagoške namene, kakor tudi za naročene preiskave, in sicer v mejah, ki jih dovoljujejo konkretne razmere.

Kot prvi v Jugoslaviji je bil laboratorij sprva močno obremenjen z deli na objektih drugod po Jugoslaviji. Kasneje so začeli postopoma graditi laboratorije v vseh večjih univerzitetnih središčih in ti so prevzemali dela na svojih območjih. Ljubljanski laboratorij se je moral vedno bolj omejevati na dela slovenskih naročnikov: s tem ni povečeval kapacitet v svoji dejavnosti, ampak je v celoti ostajal na velikosti, za katero je praksa kazala, da povsem zadostuje.

Sčasoma se je pokazalo, da je racionalno razmišljati o tem, da se z razširitvijo dejavnosti na ostala vodnogospodarska področja zagotovi tudi boljša perspektiva za nadaljnji obstoj laboratorija. Hkrati je v okviru Zveze vodnih skupnosti nastajala potreba po osnovanju nove organizacije za študije in projekte z raznih področij vodnega gospodarstva. Tako je z vključitvijo večje skupine inženirjev in tehnikov iz ZVSS v Vodogradbeni laboratorij leta 1977, kot že obstoječo organizacijo in kasneje Biroja za projektiranje Luke Koper ter posameznih strokovnjakov, nastala osnova za ustanovitev Vodnogospodarskega inštituta (1. 1978), kjer je ostal Vodogradbeni laboratorij enota (za raziskave) — z ohranjeno dosedanjo dejavnostjo predvsem pa z dolgoletno tradicijo.

Za bralca bodo najbrž zanimivi tudi nekateri statistični podatki.

V celotnem obdobju 50 let je v laboratoriju sodelovalo 27 diplomiranih inženirjev. Tu je mišljeno tudi pedagoško osebje fakultete, ki je bilo do leta 1954 do neke mere v celoti vključeno v raziskave, medtem ko so kasneje sodelovali le še posamezniki.

Le nekateri od stalnih sodelavcev Laboratorija so ostali zvesti do upokojitve (5), nekateri so postali profesorji na fakulteti, nekateri pa so odšli na ustreznejša delovna mesta. Najpogosteje je naenkrat delovalo v delovnem procesu laboratorija sedem stalnih in šest honorarnih sodelavcev (1952—1954), sicer pa je število sodelavcev z visoko izobrazbo nihalo med pet in sedem.

Specifičnost raziskovalnega dela je bila vzrok, za razmeroma majhno število tehnikov. Vsega skupaj jih je bilo 19 in le redki so vztrajali dalj časa (nek določen čas se jih je nekaj med njimi ukvarjalo v glavnem samo s fotografijo). Leta 1963 jih je bilo hkrati največ šest, v zadnjem času pa se je njihovo število ustalilo na tri.

Priprava modelov je bila in je še v celoti delo laboratorijskih delavnic (ne glede na material: les, beton, kovine, plastika itd.). V celotnem obdobju je bilo v delavnicah zaposlenih 40 ljudi (s snažilkami vred). Hkrati največ 13 (1949, 1952, 1960—1963), sedaj pa jih je šest.

V tem oddelku je bilo redno zaposlenih 26 administrativnih delavcev, največ v letih 1955—1956, sedaj pa so trije. Zanimivo je, da je bila največja prav fluktacija te skupine.

Največ zaposlenih je bilo, gledano v celoti, leta 1968, in sicer 30. S temi je honorarno sodelovalo še šest strokovnjakov. V lanskem letu pa jih je bilo 17, pri čemer je bilo sicer število rednih uslužbencev z visoko izobrazbo praktično isto. Vendar je potrebno poudariti, da so bila vmes obdobja, ko nismo uspeli pridobiti za delo v laboratoriju ustreznega strokovnjaka. To se je pokazalo v pomanjkanju ustreznega srednjega kadra. V zadnjem času je stanje mnogo ugodnejše: mladi se raje posvečajo raziskovalnemu delu, čeprav je specifična dela drugačna, kot na ostalih delovnih mestih v gradbeništvu.

Vodogradbeni laboratorij v Ljubljani spada med manjše laboratorije. V Jugoslaviji je bil zgrajen prvi, vendar so se po drugi svetovni vojni zaradi zelo velikih potreb kmalu pojavili tudi novi in to kot samostojne ustanove, največkrat pa v okviru univerz (Beograd — Inštitut Jaroslav Černi, Beograd — FAG, Zagreb — najprej pri Elektroprojektu, kasneje pri FAG, Sarajevo — FAG, Skopje — FAG, v zadnjem času v Splitu — FAG. V pedagoške namene pa še v majhnih univerzitetnih središčih pripravljajo ali pa so že pripravljene tudi še manjši laboratoriji.

Tako se slovenski laboratorij z leti ni postopoma povečeval, ampak se je omejil na velikost, ki je za njegovo sedanjo dejavnost zadostna, in to predvsem zato, ker je ta v glavnem omejena na naročila iz Slovenije. Konkurenca za pridobivanje del za ostale jugoslovanske objekte je namreč zelo velika.

Laboratorij ima sedaj 1600 m<sup>2</sup> pokritih površin: veliko dvorano in dve etaži visokotlačnega dela, medtem ko je bila zgornja etaža predelana v sobe za eksperimentatorje. Zunanja površina za velike modele na prostem se je z leti povečala na sedanjih 6600 m<sup>2</sup>. Maksimalna kapaciteta je 800 l/s, maksimalni tlak pa okrog 15 m.

V Vodogradbenem laboratoriju je bilo v celotnem obdobju delovanja opravljenih 406 nalog za zuna-

nje naročnike ali za razne znanstvene fonde. Tu so mišljene samo večje naloge, ki so se zaključile s končnim poročilom. Mnoge so trajale tudi dalj kot eno leto in so velikokrat obsegale več modelov. Manjše naloge, kot so ekspertize, revizije, recenzije, mnenja, izračuni, predavanja, članki ipd., tu niso vštete.

Med vsemi nalogami je bilo uporabnih	368 ali 90,6 %
bazičnih	38 ali 9,4 %
oziroma:	
fizičnih modelov (v številu je upoštevan en model na nalogo, čeprav jih je bilo lahko tudi več)	339 ali 80,7 %
matematičnih modelov	20 ali 4,8 %
meritev v naravi	14 ali 3,3 %
študij	21 ali 5,0 %
izračunov (večjih)	26 ali 6,2 %

(Opomba: seštevek da število nalog 420, ker so v nekaterih nalogah, npr. poleg fizičnega modela, tudi terenske meritve).



Vodnogospodarski inštitut  
p. o.

Če primerjamo ožja področja stroke, so bile naloge porazdeljene takole:

— energetski objekti (prelivi, drče, izpusti, odskoki, podslapja, vodostani, kanali itd.)	177 ali 44,0 %
— regulacije (objekti, sotočja, kanali, prodonosnost, kalnost itd.)	82 ali 20,0 %
— hidromehanska oprema (zapornice, zasuni, razcepi, razbremenilniki itd.)	61 ali 15,0 %
— termoelektrarne (hladilni stolpi, kanali, krožniki itd.)	8 ali 2,0 %
— morska hidravlika (luke, kopaljšča, valobrani, valovanja itd.)	8 ali 2,0 %
— kanalizacija (razbremenjevanje)	5 ali 1,2 %
— vodovodi (zajetja, dovod vode v industriji)	3 ali 0,7 %
— čiščenje (jezera)	3 ali 0,7 %
— hidrologija	10 ali 2,5 %
— arhitektura (fontane, tlaki)	5 ali 1,2 %
— kavitacija (razni materiali, itd.)	13 ali 3,1 %
— splošna hidrotehnika (izgube, hrapavost, itd.)	29 ali 7,1 %
— podtalnica	2 ali 0,5 %



Geografsko poreklo naročil oz. projektov:

Slovenija	252 nalog ali 62,0 %
ostala Jugoslavija	123 nalog ali 30,4 %
Srbija	20 nalog oz. 4,9 %
Hrvaška	29 nalog oz. 7,1 %
Bosna in Hercegovina	60 nalog oz. 14,8 %
Črna Gora	9 nalog oz. 2,2 %
Makedonija	5 nalog oz. 1,2 %
tujina	
	31 nalog ali 7,6 %
	<hr/> 406 nalog ali 100 %

Iz navedenih podatkov izhaja, da je med raziskavami velik poudarek na energetskih objektih, v katere je neposredno vključena tudi raziskana hidromehanska oprema, kar da skupaj 60 odstotkov vsega opravljenega dela. Pri tem je upoštevano število del; če pa bi primerjali čas za opravljeno delo ali denarno vrednost, bi bil ta odstotek še bistveno večji. To kaže tudi dejstvo, da je bilo največ dela v obdobju konjunktornih let za načrtovanje hidrocentral tako v Sloveniji kot tudi ostali v Jugoslaviji.

Tako je laboratorij sodeloval z raziskavami pri 33 projektih hidroelektrarn v Jugoslaviji (med njimi tudi največjimi: Jablanica, Mratinje, Grančarevo, Buško blato, Čapljina, Buk Bijela, itd.) ter pri vseh slovenskih hidroelektrarnah (23).

Dela za objekte v tujini so naročali v glavnem Metalna, Litostroj in Energoprojekt-Beograd, v manjši meri pa neposredno tuji naročniki. Objekti so bili razen v Severni Ameriki razporejeni po vsem svetu.

Vodogradbeni laboratorij izdaja že od leta 1960 redno »Letno poročilo o strokovnem delu«, v katerem so poleg splošnih podatkov o dejavnosti organizacije (od 1978 Vodnogospodarskega inštituta) tudi daljši članki o vseh dokončanih raziskavah v preteklem letu. Krajši povzetki v angleščini omogočajo izmenjavo literature s 47 tujimi laboratoriji po vsem svetu. Poleg tega tudi občasno

izhaja Publikacija VL, v kateri so obširno opisana zanimivejša dela Laboratorija, prav tako z dovolj obširnimi prevodi v angleščini.

Raziskovalci se udeležujejo domačih in mednarodnih kongresov za hidravlične raziskave in za visoke pregrade ter raznih simpozijev, seminarjev, tečajev itd., največkrat s svojimi prispevki. Sodelavci Laboratorija so do sedaj objavili okrog 400 krajših ali daljših prispevkov v raznih publikacijah ter v časopisih.

Pri projektiranju spodnjiesavske verige se pojavljajo problemi in vprašanja, ki jih uspešno pomagajo reševati tudi raziskovalci Vodogradbenega laboratorija. Na podlagi rezultatov preiskav lahko na fizičnih in matematičnih modelih študirajo problematiko prodonosti, zastajanja in izpiranja suspenzij v akumulacijah, problematiko natoka na turbine in oblikovanje vtočnih objektov, rekuperacijo energije, problematiko hidromehanske opreme in ostale probleme v zvezi z izgradnjo savskih stopenj. Dosedanje raziskave objektov kažejo, da je mogoče z raziskavami na fizičnih modelih optimirati hidravlične objekte na pregradah (podslapja, prelivi, zapornice itd.).

## Perspektiva

Prav v zadnjem času se Laboratorij pospešeno opremlja z računalniki in ustreznimi merilnimi pripomočki. Le tako bo lahko opravil vse zahtevane preiskave z lastnimi tehničnimi sredstvi.

Glede perspektive je tako vodstvu, kakor tudi posameznikom jasno, da bodo v močni konkurenci jugoslovanskih laboratorijev le visoka strokovna usposoblenost, razgledanost in kakovost opravljenih del tiste značilnosti, ki bodo sorazmerno malemu kolektivu omogočile redno in polno zaposlenost tudi v manj obetavnih časih.

## Program sanacije kakovosti vode reke Save v zvezi z izgradnjo HE na Savi

UDK 627.8:628.16

JANEZ KOKOL

### Povzetek

V skladu s sprejetimi družbenimi plani družbenopolitičnih skupnosti, plani nosilcev in samoupravnih interesnih skupnosti so se v obdobju 1986—1990 začeli izvajati ukrepi, ki naj zagotovijo, da bo mogoče Savo v profilu Vrhovo uvrstiti do leta 1990 iz sedanjega III.—IV. kakovostnega razreda v II.—III. kakovostni razred.

V skladu s sprejetim Programom ukrepov za sanacijo kakovosti vode reke Save bo na povodju reke Save od Ljubljane do Vrhovega in reke Savinje zgrajenih enajst komunalnih čistilnih naprav s pričakovanim skupnim učinkom 1.000.000 PE, izvedena rekonstrukcija tehnoloških procesov in zgrajeni objekti za predhodno čiščenje tehnoloških odplak v osmih največjih onesnaževalcih Savinje in Save na obravnavanem odseku.

Hkrati z gradnjo komunalnih čistilnih naprav v enajstih mestih ob Savinji in Savi se bodo v teh mestih izvajale aktivnosti za sanacijo odplak industrije, ki je priključena na javno kanalizacijsko omrežje.

S temi ukrepi je SR Slovenija začela realizirati doslej največji ekološki projekt na področju varstva kakovosti voda.

Elektrogospodarstvo Slovenije je v skladu z usmeritvami, sprejetimi z Družbenim planom SR Slovenije za obdobje 1986 do 1990, pripravilo program izgradnje verige sedmih hidroelektrarn na Savi, na odseku od sotočja Save s Savinjo, do meje s SR Hrvaško. Na podlagi študije, ki jo je izdelal v letu 1983 IB Elektroprojekt Ljubljana, je bila sprejeta varianta izgradnje sedmih nizkotlačnih HE z neto padcem med 7,19 m in 8,12 m ter instaliranim pretokom  $Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Na podlagi odločitev investitorja bodo na tem odseku zgrajene naslednje hidroelektrarne: HE Vrhovo, HE Boštanj, HE Blanca, HE Brestanica, HE Krško, HE Brežice, in HE Mokrice. V letu 1987 je investitor začel z izgradnjo HE Vrhovo. Po sklepu Izvršnega sveta Skupščine SR Slovenije pa je v javni razpravi lokacijski načrt za HE Boštanj. Za HE Blanco se

### IMPROVEMENT PROGRAM FOR THE SAVA RIVER WATER QUALITY REGARDING CONSTRUCTION OF HYDRO-ELEKTRIC POWER STATION

#### Summary

In accordance with accepted social plans of socio-political communities, and plans of self-governing interesting communities, in the period between 1986—1990, it start with carrying out the steps, which should provide, that the river Sava will be able, in profile Vrhovo, to classify from present III—IV quality class into II—III quality class, till the year 1990.

In accordance with accepted programme of steps for sanitation the quality of waters on the rivers Sava and Savinja, there will be constructed, on river basin of the Sava from Ljubljana to Vrhovo and on the Savinja, eleven waste water treatment plants, with expected total effect of 1.000000 PU, accomplished the reconstruction of technological processes and constructed the objects for water pretreatment of technological sewage in eight greatest pollutants of the Savinja and the Sava on treated section.

At the same time with the construction of comunal waste water treatment plants on eleven places on the Savinja and the Sava, in these places, the activities for sanitation the sewages of the industry which is joint with public system of sewers will be carried out.

With these steps SR Slovenia starts realizing the greatest ecological project on the field of protecting the quality of waters up till now.

strokovne podlage, ki so potrebne za izdelavo lokacijskega načrta, še vedno dopolnjujejo.

S sprejetjem odločitve o izgradnji teh sedmih hidroelektrarn na reki Savi se je SR Slovenija odločila tudi za velike posege v prostor in naravo ob Savi. Ker se pri realizaciji tega projekta soočajo interesi izkoriščanja ter varovanja naravnih dobrin in prostora, teh posegov ni mogoče obravnavati sektorsko, pač pa interdisciplinirano ob skrbnem proučevanju vseh odprtih vprašanj.

V tem procesu se usklajujejo interesi gospodarskih panog, kot so energetika, vodnogospodarstvo, kmetijstvo, gozdarstvo, promet in industrija, z interesi urejanja mest in naselij, varstva naravne in kulturne dediščine ter urejevanja prostora v najširšem pomenu besede. Zaradi dimenzij posega v prostor in širšega pomena teh del v gospodarsko najbolj intenzivno izkoriščenem prostoru SR Slovenije je dobil ta projekt širši nacionalni pomen.

*Avtor:*

Janez Kokol dipl. inž. geod. pom. preds. PKUOUP

Sprejeti koncept energetske izrabe vodne sile reke Save je tudi v zvezi z velikimi posegi v vodni režim reke Save na odseku Save v SR Sloveniji in navzdol po reki Savi do republiške meje v SR Hrvaški. Stopnje posameznih HE so izbrane tako, da se nivo zajezev sklenjeno nadaljuje od stopnje do stopnje. Z izgradnjo nasipov ob reki Savi in pretočno akumulacijskih bazenov se bosta deloma spremenila tudi razporeditev in potovanje konic visokih voda. Ti posegi bodo vplivali tudi na gibanje in kakovost podtalnih voda v prodnih zasipih v dolini reke Save. V veliki meri bo treba tudi urediti vodni režim pritokov, ki se izlivajo v reko Savo na obravnavanem odseku. Bistveno se bo menjal tudi režim voda v strugi reke Save ob nizkih vodostajih, torej med trajanjem nizkih in srednjih pretokov.

Ne glede na dejstvo, da še niso do kraja proučena vsa vprašanja, ki odločajo o mikrolokaciji posameznih stopenj HE pod Vrhovim, in tudi še ni sprejeta dokončna odločitev o velikosti pretočno akumulacijskih bazenov ter še o nekaterih drugih vprašanjih v zvezi z urejanjem vodnega režima reke Save na obravnavanem odseku, pa je povsem jasno, da se bodo bistveno spremenili pogoji, ki vplivajo na kakovost voda reke Save. Taka sprememba hidroloških pogojev pa je za bilanco kakovosti vode reke Save lahko usodna predvsem iz naslednjih razlogov:

1. V reko Savo odtekajo na odseku od Ljubljane do Vrhovega velike količine industrijskih in komunalnih odpadnih voda, saj ta del SR Slovenije uvrščamo med industrijsko najbolj razvite regije.

Žal pa v tem prostoru prevladujejo dejavnosti, kot so rudarstvo, bazično-predelovalna industrija, kovinska, bazna in predelovalna kemijska industrija celuloze in papirja, strojno-predelovalna industrija in druge gospodarske aktivnosti, katerih odpadne vode niso samo škodljive vodam, pač pa vsebujejo tudi nevarne snovi, ki lahko ogrožajo zdravje ljudi in živali.

2. Kakovost voda reke Save na odseku skozi Završje do profila HE Vrhovo je na osnovi metodologije jugoslovanske klasifikacije voda glede na kakovost uvrščena v III.—IV. kakovostni razred. To pomeni, da taka voda ni primerna za oskrbo s pitno ali kakovostnejšo tehnološko vodo niti po konvencionalnem čiščenju niti ni primerna za namakanje kmetijskih zemljišč.

3. Po izgradnji HE na Savi se bo bistveno zmanjšala hitrost pretoka vode v Savi ob nizkih vodah. Zmanjšala se bo turbulenca vode in s tem njena oskrba s kisikom. Pričakovati je povečano sedimentacijo usedljivih snovi ter intenzivnejši razvoj biološke razgradnje organskih snovi v vodotoku (aerobni in anaerobni procesi). Tako stanje lahko negativno vpliva na kakovost in količine podtalnih voda v dolini reke Save.

## Stanje kakovosti vode reke Save

Kakovost vode reke Save se sistematično spremlja v celotnem obdobju po osvoboditvi. Z leti so se te raziskave izboljšale tako, da niso bili opazovani samo parametri, ki jih določa jugoslovanski pravilnik o klasifikaciji medrepubliških in meddržavnih voda, temveč so se meritve dopolnjevale tudi z opazovanjem drugih parametrov. V skladu s širjenjem spektra emisij in količin odpadkov so bile v letu 1986 opravljene doslej najobsežnejše analize, ki so jih opravile za to pooblaščen in usposobljene institucije: Hidrometeorološki zavod SR Slovenije, Inštitut za biologijo Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani, Kemijski inštitut Boris Kidrič v Ljubljani in Zavod za zdravstveno varstvo v Mariboru.

Poleg osnovnih kemijsko-fizikalnih, bioloških in bakterioloških analiz so bile opravljene še dopolnilne saprobiološke analize, testi toksičnosti, analize totalnega organskega ogljika in dušika, mineralnih olj ter analize kovin in specifičnih organskih snovi.

V okviru fizikalno-kemijskih analiz so bili merjeni: temperatura zraka in vode, prosojnost, vrednost pH, elektroprevodnost, prosti CO<sub>2</sub> in raztopljeni kisik. Določeni so bili vzorci NO<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, barve, fosfati. V vzorcih vode in rečnih sedimentih so bile na značilnih mestih določene koncentracije specifičnih kontaminantov: (kovine X, CU, CR, Ni, Zn, Pb, Cd, Hg), biocidi in PCB, organske hlapne snovi, fenolne snovi, poliaromatski ogljikovodiki ter identifikacija organskih spojin v ekstraktih vode.

V okvirih saprobioloških analiz so bili opazovani vzorci mikrozoobentosa (živali) in perifitona (rastline, predvsem alge).

Glede na kakovost so bili vzorci po saprobnem indeksu (po Pantle-Bucku) razvrščeni v razrede od I do V.

V okvirih bakterioloških analiz so bili določeni koliformne bakterije fekalnega izvora, streptokoki fekalnega izvora vrste *Proteus*, *Pseudomonas aeruginosa*, sporogeni sulfitoreducirajoči anaerobi.

V skladu s sprejetim mrežnim in terminskim planom je bila testirana strupenost na značilnih profilih. Rezultati teh testov kažejo, da so bile na večini odvzemnih mest snovi, ki zavirajo samočistilne procese in biokemično razgradnjo.

Ob upoštevanju vseh zbranih podatkov za leto 1986, tudi tistih, ki niso predpisani v zakonskih normativih, so v najslabšem III., III.—IV. in IV. kakovostnem razredu naslednji odseki reke Save in njenih pritokov:

1. Kamniška Bistrica od Domžal do izliva (IV. razred),
2. Ljubljanica pod Ljubljano (IV. razred),

3. Sora pod Suho do izliva (III. in II.—III. razred),
4. Paka pod Velenjem (IV. razred),
5. Savinja od Celja do izliva v Savo (III.—IV. razred),
6. Voglajna (IV. razred),
7. Hudinja (III.—IV. razred),
8. Sava pod izlivom Kamniške Bistrice in Ljubljani (do Litije III.—IV. razred, Litija—Zagorje III. razred, Zagorje—meja SRH III.—IV. razred).

V tem članku ni mogoče natančneje poročati o podrobnostih analiz in posameznih vzorcih na posebej značilnih mestih. Pomembno pa je opozoriti na rezultate analiz težkih kovin in nekaterih drugih parametrov, ki doslej niso bili preiskovani v takem obsegu (fenoli in fenolne snovi, lahko-topljive snovi), so pa bili določeni v filtratu voda, v suspendiranih snoveh ter v rečnem sedimentu. Sledovi in prevelike koncentracije kovin ter ostalih kontaminantov so bili ugotovljeni predvsem pod izlivi večjih mestnih in industrijskih središč. Glede na onesnaženje s kovinami na povodju Save so najbolj prizadeti naslednji odseki vodotokov:

- Rinža pod Kočevjem,
- Sora v Medvodah,
- Kamniška Bistrica (Beričevu),
- Sava—Ljubljana—Litija—Brežice.

Med kovinami v koncentraciji, ki gotovo ne more biti naravnega izvora, so predvsem kadmij, svinec, cink, živo srebro, pa tudi krom. Analize rečnih sedimentov so pokazale, da so odseki pod industrijskimi območji že močno kontaminirani. Žal moramo ugotoviti, da so bili sledovi polikloriranih bifenilov PCB poleg v povodju Kolpe dokazani tudi v Savi pod Litijo in v Radečah ter v Kamniški Bistrici v Beričevem. Izvor PCB na povodju Save še ni znan. Po njegovih koncentracijah pa je mogoče sklepati na večje izvore onesnaževanja.

Spoznanja o stopnji ogroženosti vode reke Save z emisijami nevarnih in škodljivih snovi, zahteve prizadetih občanov na odsekih Save, kjer bodo zgrajene navedene HE, in ugotovitev Izvršnega sveta Skupščine SR Slovenije, da vsi nosilci planiranja in glavni onesnaževalci vode reke Save v svojih planskih aktih za obdobje 1986—1990 niso predvideli potrebnih aktivnosti za izboljšanje kakovosti reke Save še pred začetkom obratovanja HE Vrhovo, so vplivali na odločitev o nujnih ukrepih, ki naj zagotovijo zmanjšanje emisij na še sprejemljivo mero.

Na podlagi analiz emisij onesnaževalcev na povodju Save, ki jih je izdelal Kemijski inštitut Boris Kidrič, katastra onesnaževalcev ob Savi in strokovnih ocen, ki jih je posredovala Zveza vodnih skupnosti Slovenije, je Izvršni svet Skupščine SR Slovenije sprejel Program ukrepov za sanacijo kakovosti reke Save ob izgradnji HE na Savi

v obdobju 1986—1990. Ta program je bil zasnovan na zahtevi, da se izboljša kakovost vode reke Save nad profilom HE Vrhovo za en kakovostni razred; to pomeni, da bo mogoče Savo na tem odseku po letu 1991 uvrstiti v II.—III. kakovostni razred.

V program je bila uvrščena izgradnja enajstih čistilnih naprav za vsa večja naselja ob Savi in Savinji ter modernizacija tehnoloških postopkov in izgradnja objektov za čiščenje odplak v sedmih industrijskih delovnih organizacijah.

V prioritetni program je uvrščena izgradnja naslednjih komunalnih čistilnih naprav:

1. Povečanje naprave Domžale za	100.000 PE
2. Izgradnja naprave Vrhnika (I. faza)	120.000 PE
3. Izgradnja naprave Ljubljana (I. faza)	1.200.000 PE
4. Izgradnja naprave Litija (I. faza)	50.000 PE
5. Izgradnja naprave Zagorje	20.000 PE
6. Izgradnja naprave Trbovlje	32.000 PE
7. Izgradnja naprave Hrastnik	20.000 PE
8. Izgradnja naprave Radeče	5.000 PE
9. Izgradnja naprave Velenje—Šoštanj	50.000 PE
10. Izgradnja naprave Celje	150.000 PE
11. Izgradnja naprave Laško	125.000 PE

Navedeni objekti bodo z začetkom obratovanja zmanjšali obremenjenost reke Save za okrog 1.000.000 populacijskih ekvivalentov PE. V program je uvrščena tudi sanacija naslednjih industrijskih objektov:

1. Farma prašičev Ihan (Agroemona), čiščenje gnojevke,
2. IUV Vrhnika TOZD Šmartno, predhodno čiščenje tehnoloških odplak,
3. Iskra, Trbovlje, čiščenje tehnoloških odplak,
4. REK, TOZD Separacija Zagorje, odprava odplak,
5. REK, TOZD Separacija Trbovlje, čiščenje odplak pranja premoga,
6. Tovarna kemičnih izdelkov, Hrastnik, čiščenje tehnoloških odplak,
7. Cinkarna Celje, čiščenje tehnoloških odplak,
8. EMO Celje, čiščenje tehnoloških odplak.

Dodatno je bila dana pobuda, da se v program prioritetnih objektov uvrsti še Tovarna usnja Utok Kamnik (čiščenje tehnoloških odplak).

V omenjenih industrijskih organizacijah se bo po izgradnji navedenih objektov zmanjšala letna emisija nevarnih in škodljivih snovi (po ocenah izdelanih študij in analizah samih investitorjev) za:

- 101.000 ton suspendiranih snovi,
- 63.000 ton sadre,
- 11.000 ton trdih odpadkov in suhe organske snovi,
- 4.000 ton fosfatov,
- 90 ton sulfidov,
- 1.400 ton KPK,
- 2.300 kg težkih kovin (razen Hg),
- 300 kg živega srebra.

Navedeni projekt je po svojih dimenzijah in pomenu doslej največji zastavljeni ekološki projekt v SR Sloveniji in bo bistveno prispeval k izboljšanju kakovosti vode reke Save. Ob projektu izgradnje enajstih komunalnih čistilnih naprav za večja mesta ob Savi je treba upoštevati tudi dejstvo, da bo izgradnja centralnih čistilnih naprav posredno vplivala na gradnjo objektov za predhodno čiščenje industrijskih odpadkih tistih delovnih organizacij, ki se bodo priključile na nove skupne čistilne naprave.

Za izvedbo navedenih dvajsetih prioritarnih objektov na reki Savi bo treba v I. fazi izgradnje do leta 1991 zagotoviti po prvih ocenah, ki so izdelane na podlagi obstoječe tehnične dokumentacije, okrog 294 milijard din. (cene marec 1988) Ob upoštevanju še drugih dopolnilnih ukrepov ocenjujem, da bodo skupno potrebna finančna sredstva še večja.

Materialne možnosti investorjev, soinvestorjev, bank in samoupravnih interesnih skupnosti so danes realno manjše od ocenjenih potreb. Zato bo potrebno iskati rešitev v:

- določitvi nujnih prioritarnih, ki še zagotavljajo dosedo postavljenega cilja do konca leta 1991,
- zagotovitvi premostitvenih kreditov za preložitve dela finančnih obveznosti v naslednje plansko obdobje,
- maksimalni racionalizaciji tehnoloških zasnov, gradnji in proizvodnji ter montaži opreme.

Navedene investicije so velik izziv za tehnologe, projektante, izvajalce del ter industrije za proizvodnjo in montažo hidromehanske, pogonske, energetske opreme in opremo, potrebne za kontrolo in krmiljenje tehnoloških procesov pri obratovanju teh objektov. Glede na precejšnje izkušnje, ki jih imajo domači izvajalci del, proizvajalci opreme in montažerji, je očitno, da bo uvoz tehnologije in specifične opreme mogoče omejiti na minimum, ki naj ne bi presegel 3 odstotkov vrednosti vseh naložb. Potrebno je zagotoviti, da bo obseg gradbenih del pri izvedbi teh projektov zanesljivo večji od 50 odstotkov celotnih naložb. Še pomemb-

nejše pa je spoznanje, da je ta projekt šele prvi resnejši korak k izgradnji ekoloških objektov za varstvo kakovosti voda v Jugoslaviji in pomeni zato pomembno možnost za pridobivanje izkušenj in referenc.

Na koncu je treba poudariti tudi dejstvo, da kljub navedenim težavam poteka izvajanje celotnega projekta razmeroma dobro.

Zgrajeni so že naslednji objekti:

- za predhodno čiščenje tehnoloških odpadkih IUUV TOZD Šmartno,
- za tehnološke odplake v tovarni ISKRA v Trbovljah,
- klasirnica premoga REK Trbovlje, TOZD Zagorje (I. faza sanacije),
- v zaključni fazi pa je gradnja objektov za čiščenje tehnoloških odpadkih v Cinkarni Celje.

Po trenutno razpoložljivih informacijah se v letu 1988 začne izgradnja:

- objekta za predhodno čiščenje na farmi Ihan,
- objekta Domžale,
- objekta Vrhnika,
- objekta Ljubljana,
- objekta Velenje,
- objektov za čiščenje tehnoloških odpadkih v Tovarni kemičnih izdelkov Hrastnik,
- klasirnice REK Trbovlje TOZD Trbovlje.

Stališča, priporočila in sklepi, ki jih je sprejel Izvršni svet Skupščine SR Slovenije je v februarju 1988 ob obravnavi informacije o izvajanju Programa, bodo pospešili izvajanje aktivnosti, potrebnih za pravočasno realizacijo celotnega projekta. Republiški komite za varstvo okolja in urejanje prostora pa bo sproti spremljal potek izvajanja aktivnosti vseh nosilcev ter ob sodelovanju komitejev za energetiko, industrijo in gradbeništvo ter planiranje pripravljati in predlagati ukrepe za odpravo ovir in pospešitev del. Navedena dejstva dokazujejo, da so se aktivnosti, potrebne za realizacijo ukrepov, ki jih predvideva Program za obdobje 1986—1990, začele izvajati resno in učinkovito.

## Regionalni Primorski vodovod — projektiranje in gradnja

UDK 628.11(497.12-15)

MARIJAN TOMŠIČ

### Povzetek

V kraški pokrajini, ki se razprostira jugozahodno od Ljubljane do morja, primanjkuje pitne vode. Zato projektiramo regionalni vodovod, ki bo preskrbel prebivalstvo tega območja z zadostnimi vodnimi količinami. Predvidena je kombinacija obstoječih in novih izvirov z odprtimi akumulacijami. Del regionalnega vodovoda na odseku Brestovica—Sežana—Rodik je že zgrajen.

### 1. VODA NA KRASU

Kraška pokrajina je brezvodna, brez površinskih vodotokov in le z redkimi studenci. Kljub temu pa se je kras razvil prav tam, kjer je največ padavin. Vsa deževnica pronikne neposredno skozi v vodi topljiv apnenec v globino. Vodne kapljice si utirajo pot v razkopano apneno kamenino, raztapljajo in brusijo skale in oblikujejo votline. Prav tako ponikajo v kraško podzemlje tudi cele ponikalnice. Vodne razmere se v podzemlju stalno spreminjajo, votline se širijo in poglobljajo, pa tudi rušijo in zasipajo.

Podzemna voda se pretaka v kraških tleh po posameznih žilah in kanalih, torej drugače kot običajna podtalnica, ki teče v več ali manj homogenem produ. Voda izvira iz krasa ob manj prepustnem obrobju v obliki redkih kraških studencev, ki so lahko stalni ali pa občasni presihajoči. Po kapacitetah so ti izviri zelo različni, od šibkih s komaj 0,1 l/s pretoka do velikih z nekaj 1000 l/s. Ob sušah ti veliki studenci močno upadejo, tudi v razmerju 1 : 100.

Glede preskrbe z vodo je najbolj kritično kraško območje, ki se razteza zahodno in jugozahodno od Ljubljane do jadranske obale in obsega občine Postojna, Sežana, Nova Gorica, Ilirska Bistrica, Koper, Izola in Piran.

V tem kraškem prostoru se nahaja danes približno 100 000 prebivalcev, ki živijo v mnogih raztresenih vaseh in v nekaj večjih mestnih naseljih. Na krasu na splošno primanjkuje pitne vode. Večina raztresenih vasi in zaselkov se preskrbuje iz kapnic in iz zasilno zajetih kraških studencev. V določenih pre-

### THE SLOVENE-LITTORAL REGIONAL WATER-SUPPLY SYSTEM

#### Summary

In the Karst region, which stretches in a southwesterly direction from Ljubljana towards the Sea, there is a lack of drinking water. For this reason a regional water-supply system is planned, which will supply the inhabitants of the region with sufficient drinking water. A combination of existing and new sources is planned; the new sources consist of open reservoirs and karst wells. Along the section Brestovica—Sežana—Rodik, part of the regional water-supply system has already been built.

delih je treba pitno vodo ob večjih sušah dovajati celo z avtociisternami.

Le večja mestna naselja imajo lastne vodovodne sisteme, ki so vezani na več ali manj močne kraške studence. Od teh sistemov ustrezajo le vodovodi za Ilirsko Bistrico, Novo Gorico in za Postojno, a še pri slednjem je treba rekonstruirati delno zajetje izvira Malni. Največji vodovodni sistem je rižanski vodovod, ki preskrbuje našo jadransko obalo (Koper, Izola in Piran). Zanj zajeti kraški studenci zadostujejo komaj še za kritje današnje vodne porabe in ker stalno upadajo, je treba rižanski vodovod nujno vezati na nov perspektivni vodni vir.

Do nedavnega je bilo najbolj kritično stanje glede preskrbe z vodo v Sežani in na Sežanskem krasu. To območje se je preskrbovalo iz povsem dotrajanega vodovoda, ki se je napajal iz šibkih neustreznih studencev.

### 2. REGIONALNI PRIMORSKI VODOVOD

V perspektivi pričakujemo, da bo na obravnavanem kraškem območju do leta 2050 živelo 250.000 prebivalcev, maksimalna poraba vode pa bo dosegla 3300 l/s. Ker tako velike porabe ne moremo kriti iz lokalnih vodnih virov, je vznikla ideja o gradnji regionalnega primorskega vodovoda, ki bi iz enega dovolj močnega izvira (lahko tudi dveh) kril porabo vode na čim večjem območju.

Po raznih raziskavah in študijah smo za perspektivni vodni vir izbrali močan kraški studenec Malni pri Planini v kombinaciji z že zajetim izvirom potoka Rižana. Izdatnost teh dveh izvirov je devet mesecev na leto večja od vodne porabe, v poletnih mesecih pa je manjša od nje; zato je treba zgra-



SITUACIJA  
REGIONALNEGA  
PRIMORSKEGA  
VODOVODA

Sl. 1. Situacija regionalnega primorskega vodovoda

diti odprte akumulacije, kjer bi se voda zbirala čez zimo. V poštev pridejo akumulacije ali na Planinskem polju ali na Cerkniškem jezeru ali pa v Brkinih. Kot najugodnejša je izbrana akumulacija Padež v Brkinih. Vso vodo iz izvirov in iz akumulacij bo treba dodatno čistiti in sterilizirati (sl. 1 in 2).

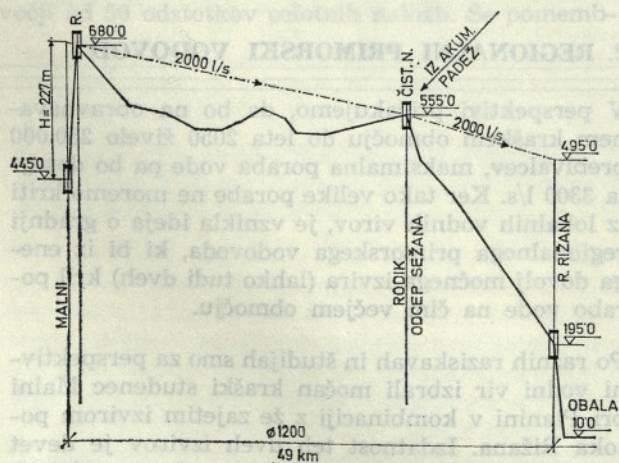
Po zasnovi regionalnega vodovoda se bo sirova voda pri Malnih črpala 230 m visoko na najvišjo točko, od koder bo težnostno odtekala do vasi Rodik, kjer se bo cevovod razcepil. Večji del vode bo odtekal proti Kopru in ostalim obalnim mestom, manjši del pa v Sežano in na Sežanski kras.

Pri vasi Rodik bo locirana čistilna naprava. Nanjo bo dotekala sirova voda iz izvira Malni in iz akumulacije Padež.

Pred priključkom na obstoječi rižanski vodovod bo na regionalnem cevovodu zgrajena mala vodna elektrarna, ki bo izkoriščala približno 300 m visoki padež in pridobivala do 1600 kW energije.

### 2.1. Zajetje kraške podtalnice v Klaričih pri Brezovici

Hkrati z načrtovanjem regionalnega vodovoda so potekale hidrološke raziskave območja, ki leži med Tržaškim zalivom, med rekama Vipava in Notranjska reka ter med masivom Brkinov in Slavnik. To vodnato kraško območje s površino 500 km<sup>2</sup>, ki ga sestavljajo kredne apnenčeve zakrasele kamenine, je obdano z nepropustno flišno bariero v obliki ogromne sklede. To vodnato ob-



Sl. 2. Regionalni primorski vodovod, vzdolžni profil

močje se napaja s padavinami in s površinskimi vodotoki, ki vanj poniknejo. To so ponikalnice Notranjska reka, rečica Raša, vodotok Vipava in podtalnica Soče. Dejstvo, da na celem tem območju ni nobenega površinskega vodotoka, priča o velikosti podzemskih vodnih tokov. Ti se kažejo na površju na italijanski strani v obliki več izvirov reke Timav severno od Devina in v obliki podmorskih izvirov vzdolž jadranske obale proti Trstu. Celotna kapaciteta teh izvirov je ob suši ocenjena na 10 m<sup>3</sup>/s. Izviri Timava so delno zajeti za tržaški vodovod.

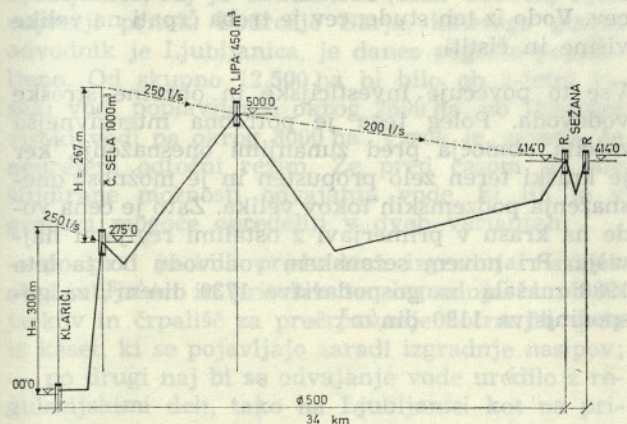
Po večletnih hidroloških raziskavah in sondiranjih nam je v Klaričih pri Brestovici uspelo s tremi cevniimi vodnjaki zajeti stalno količino 250 l/s kakovostne pitne vode, ki je infiltrat Vipave in Soče.

### 2.2. Vodovod Brestovica—Sežana

Po uspešnem zajetju vode pri Klaričih smo se odločili, da kot prvo gradbeno etapo regionalnega primorskega vodovoda zgradimo vodovod Brestovica—Sežana, ki se bo kasneje priključil na vodovod Malni—Rodik—Rižana. Tako naj bi bila rešena preskrba najbolj kritičnega sežanskega območja.

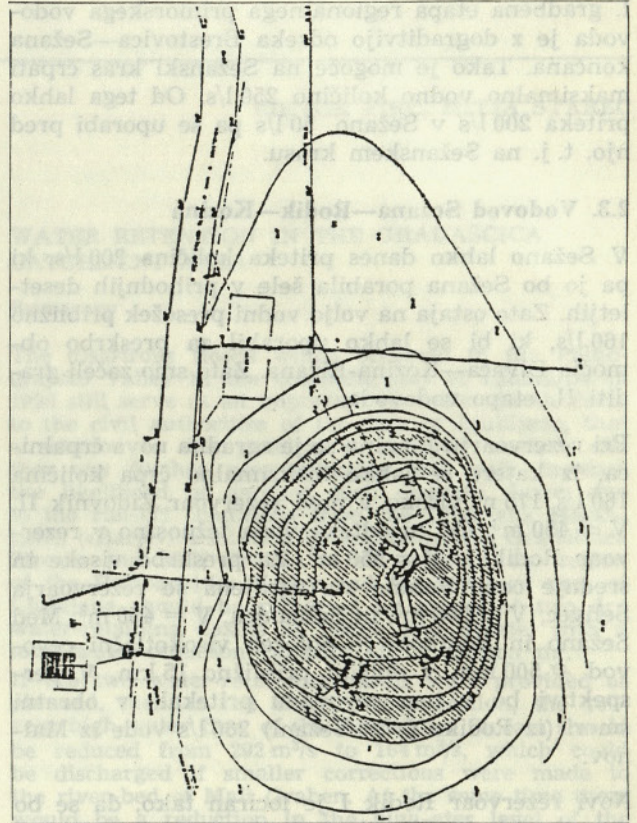
Vodovod Brestovica—Sežana je projektiran za specifično vodno porabo 400 l na osebo na dan. Iz zajetja Klariči se črpa voda skoraj 600 m visoko v rezervoar Lipa, od koder težnostno odteka v Sežano in spotoma preskrbuje ves Sežanski kras. Črpalna višina 600 m je premagana v dveh stopnjah z vmesno črpalnico Sela. Na odseku Klariči—Sežana so položene visokotlačne jeklene cevi  $\varnothing$  500 mm s skupno dolžino 35 km.

Kasneje, po priključku na vodovod iz Malnov pri vasi Rodik, ne bo potrebno visoko črpanje pri Klaričih in Selih (600 m) in voda se bo črpala le pri Malnih, samo 230 m visoko. Voda bo tako dotekala na Sežanski kras v obratni smeri (iz Rodika v Sežano in dalje proti Lipi in Brestovici).



Sl. 3. Vodovod Brestovica—Sežana, vzdolžni profil

Pri Klaričih so na dnu kraške vrtače izvrtani trije cevni vodnjaki  $\varnothing$  400, 500 in 600 mm do globine



Sl. 4. Zajetje Klariči, situacija

70 m pod terenom, od tega 40 m pod morsko gladino. Vodnjaki so nameščeni tesno drug ob drugem in locirani v skupnem črpalnem objektu, ki je zgrajen na dnu vrtače. Črpalnica in vrtača sta nato popolnoma zasuti, s čimer je rešeno odvajanje padavinske vode iz okolice črpalnice.

V vsakem cevnem vodnjaku je montirana po ena potopna črpalna, ki črpa vodo v prvi stopnji 300 m visoko v vmesno črpalnico Sela. Skupna instalirana moč vseh treh črpalnik je 780 kW. Za blažitev vodnih udarov v tlačnem cevovodu  $\varnothing$  500 mm, dolgem 3,2 km, sta nameščena dva vetrnika po 4 m<sup>3</sup>. Črpalnica z vodnjaki je popolnoma avtomatizirana in daljinsko vodena iz vmesne črpalnice Sela.

Iz Sela se črpa voda v drugi stopnji 260 m visoko v rezervoar Lipa. Črpalnica Sela ima rezervoar s prostornino 1000 m<sup>3</sup>, na katerega je priključenih pet vertikalnih črpalnik s skupno instalirano močjo 1050 kW. 9 km dolgi tlačni cevovod  $\varnothing$  500 mm je zaščiten z vetrnikom V = 8 m<sup>3</sup>. V črpalnici se voda sterilizira s plinskim klorom. Tam je nameščen tudi komandni center, od koder se daljinsko vodi ves sistem z računalnikom.

Na najvišji točki nad Lipo je postavljen raztežilni rezervoar s prostornino 450 m<sup>3</sup>. Od tu dalje odteka voda težnostno proti Sežani v oba obstoječa rezervoarja Tabor in Planina.



I. gradbena etapa regionalnega primorskega vodovoda je z dograditvijo odseka Brestovica—Sežana končana. Tako je mogoče na Sežanski kras črpati maksimalno vodno količino 250 l/s. Od tega lahko priteka 200 l/s v Sežano, 50 l/s pa se uporabi pred njo, t. j. na Sežanskem krasu.

### 2.3. Vodovod Sežana—Rodik—Kozina

V Sežano lahko danes priteka količina 200 l/s, ki pa jo bo Sežana porabila šele v prihodnjih desetletjih. Zato ostaja na voljo vodni presežek približno 160 l/s, ki bi se lahko uporabil za preskrbo območja Divača—Kozina—Rižana. Zato smo začeli graditi II. etapo vodovoda.

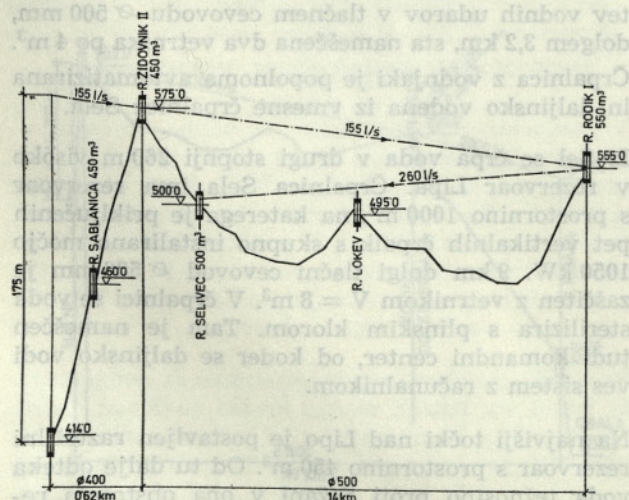
Pri rezervoarju Planina se je zgradila nova črpalnica, iz katere se lahko maksimalno črpa količina 160 l/s 175 m visoko v novi rezervoar Zidovnik II,  $V = 450 \text{ m}^3$ . Od tu odteka voda težnostno v rezervoar Rodik I,  $V = 550 \text{ m}^3$ . Za preskrbo visoke in srednje cone Sežane sta zgrajena še rezervoarja Selivec,  $V = 500 \text{ m}^3$ , in Sablanica,  $V = 450 \text{ m}^3$ . Med Sežano in Rodikom je položen visokotlačni cevovod  $\varnothing 500 \text{ mm}$  v dolžini približno 15 km. V perspektivi bo v tem cevovodu pritekalo v obratni smeri (iz Rodika proti Sežani) 260 l/s vode iz Malnov.

Novi rezervoar Rodik I je lociran tako, da se bo v perspektivi vključil v čistilno napravo Rodik. V rezervoarju Rodik I. je še predvidena tudi črpalnica za bodoče črpanje 12 l/s vode 300 m visoko v območje Brkinov.

Prav tako je zgrajen še vodovodni odcep od Rodika do Kozine. Položena je cev  $\varnothing 300 \text{ mm}$  na dolžini 4 km, za pretok 50 l/s vode.

### 3. IZVAJANJE DEL, PROBLEMI IN REŠITVE

Vodovod Brestovica—Sežana so začeli delati spomladi leta 1981. Najzahtevnejša I. faza del na odseku Klariči—Sela—Lipa je bila končana do konca



Sl. 5. Vodovod Sežana—Rodik, vzdolžni profil

leta 1982. Zgrajeni in opremljeni sta bili obe črpalnici Klariči in Sela, položen pa je bil tudi cevovod  $\varnothing 500 \text{ mm}$  v dolžini 12,2 km.

V letu 1983 je bila zgrajena II. faza, ki je obsegala izgradnjo rezervoarja Lipa in položitev cevovoda  $\varnothing 500 \text{ mm}$  v dolžini 5 km na odseku Lipa—Komen. To leto je vodovod že preizkusno obratoval in rešil Sežanski kras pred izredno hudo sušo.

V letu 1984 je bila zgrajena III. zadnja faza vodovoda, ki je obsegala položitev 14 km dolgega cevovoda  $\varnothing 500 \text{ mm}$  na odseku Komen—Križ. S tem je bila tudi Sežana končno priključena na novi vodovod iz Brestovice.

Vodovodni odsek Sežana—Rodik—Kozina pa je bil zgrajen v letih 1986 in 1987.

Vodovod je visokotlačen, saj mora velik del cevovodov prenesti vodne pritiske od 25 do 35 bar. To je zahtevalo skrbno izbiro materialov in precizno montažo. Ker so vsi cevovodi jekleni, jih je bilo treba zaščititi s katodno zaščito.

Zahtevna je bila tudi gradbena izvedba, saj je večina cevovodnih jarkov in objektov v kraškem strmem skalnem terenu, kjer so bila potrebna obsežna minerska dela. Prav tako sta povzročala dodatne probleme ureditev transportnih poti vzdolž trase in pridobivanje materialov, tako za izdelavo peščene posteljice cevovoda kakor tudi za humuziranje trase po položitvi. Humus se je moral pridobivati in dovažati iz kraških vrtač, in sicer tako, da se je z vrtače odstranil ves razpoložljivi humus. Vrtača se je nato zasula s skalnim materialom iz izkopa, katerega je ponovno prekrila tanjša plast humusa.

### 4. SKLEP

Pomanjkanje vode na krasu zahteva gradnjo velikih regionalnih vodovodov, ki dovajajo vodo k porabnikom iz oddaljenih močnih kraških studencev. Vodo iz teh studencev je treba črpati na velike višine in čistiti.

Vse to povečuje investicijske in obratne stroške vodovoda. Poleg tega je potrebna intenzivnejša zaščita območja pred zunanjimi onesaženji, ker je kraški teren zelo propusten in je možnost onesaženja podzemskih tokov velika. Zato je cena vode na krasu v primerjavi z ostalimi regijami najvišja. Pri novem sežanskem vodovodu bo ta leta 1988 znašala: za gospodarstvo 1730 din/m<sup>3</sup>, za gospodinjstva 1120 din/m<sup>3</sup>.

## Zadrževanje voda v povodju Gradašnice

UDK 627.4

VIKTOR PIRC, MITJA STAREC

### Povzetek

Katastrofalne poplave v polhograjski dolini na južnem predelu Ljubljane leta 1926 so še vedno resen opomin, predvsem mestu Ljubljani, da bo vsako nadaljnje odlašanje rešitve tega problema samo povečevalo verjetnost ponovne katastrofe. Ker rešitev z regulacijo Gradašnice oziroma Malega Grabna zaradi pogojev odtoka iz Ljubljanskega barja ni primerna, naj bi se področje polhograjske doline in južni predel Ljubljane varovala z dvema suhima zadrževalnikoma Božna in Brezje s skupnim akumulacijskim prostorom 7,7 mio. m<sup>3</sup>.

Z izgradnjo obeh zadrževalnikov bi zagotovili zmanjšanje 100-letnih visokih voda Gradašnice v profilu Bokalci iz 292 m<sup>3</sup>/s na 164 m<sup>3</sup>/s, kar je mogoče doseči z manjšimi korekturami struge Malega Grabna; hkrati bi se zmanjšala gladina visoke vode Ljubljanice v profilu Špica kar bi pozitivno vplivalo na zmanjšanje poplav na Ljubljanskem barju. Po izračunu bi se zmanjšala prostornina 100-letnih poplav na Barju v odvisnosti od razporeditve padavin (polhograjsko področje, zaledje Iške in Borovniščiце) za 18 do 26 odstotkov.

### UVOD

Ureditev odvajanja voda povodja Gradašnice kakor tudi predvideno zadrževanje voda v njegovem povodju je sestavni del ureditve odtočnih razmer Ljubljanice, saj je Gradašnica (Mali Graben) njen največji pritok. Področje Barja, katerega glavni odvodnik je Ljubljanica, je danes pogosto poplavljen. Od skupno 12.500 ha bi bilo ob 2-letni visoki vodi poplavljenih okrog 2600 ha, ob 100-letni visoki vodi pa okrog 8000 ha. Vzrok je, seveda, še neurejeni odtočni režim. Že pred časom so bile študirane možnosti odvajanja vode, ki jih je v grobem mogoče opredeliti v dveh variantah:

- po prvi je bila predvidena izgradnja nasipov ob Ljubljanici in pritokih ter izgradnja obrobni jarkov in črpališč za prečrpavanje notranjih voda iz kaset, ki se pojavljajo zaradi izgradnje nasipov;
- po drugi naj bi se odvajanje vode uredilo z regulacijskimi deli, tako na Ljubljanici kot na pri-

### Avtorja:

Viktor Pirc, dipl. inž. gradb.  
Mitja Starec, dipl. inž. gradb.

### WATER RETENTION IN THE GRADAŠNICA CATCHMENT AREA

#### Summary

The disastrous floods which occurred in the Polhograjsko Valley in the southern part of Ljubljana in 1926 still serve as an important reminder, particularly to the civil authorities of the City of Ljubljana, that a solution to this problem is urgently needed, and that any further procrastination will only increase the likelihood of another such disaster. Since, due to the run-off conditions from the Ljubljana Marshlands (»Barje«) a solution by regulating the Gradašnica Stream and Mali Graben is not suitable, the region of the Polhograjsko Valley and the southern part of Ljubljana should be protected by means of two dry water-retaining basins at Božna and Brezje, with a total water-retention capacity of 7.7 million m<sup>3</sup>.

If the two water-retaining basins were provided as planned, then at the Bokalci cross-section, the 100-year high-water flow of the Gradašnica Stream should be reduced from 292 m<sup>3</sup>/s to 164 m<sup>3</sup>/s, which could be discharged if smaller corrections were made to the river-bed of Mali Graben. At the same time there would be a reduction in the high-water level of the Ljubljanica River, at the Špica cross-section, which would reduce the extent of flooding on the Ljubljana Marshlands. According to calculations, the volume of 100-year floods on these marshlands should be reduced by from 18 to 26%, depending on the distribution of precipitation (in the Polhograjsko region, and the Iška and Borovniščiца catchment areas).

tokih, in s poglobitvijo mestnega dela Ljubljanice in Grubarjevega kanala (variantna rešitev je predor pod Golovcem).

Obe varianti sta tehnično zahtevni (npr. zaradi posedanja nasipov, fundiranja črpališč, poglobljanja korit), izredno dragi glede na učinke in neugotovljive vplive na nadaljnje posedanje Barja itd. Zato v daljšem obdobju ni pričakovati radikalne ureditve odvajanja vode Ljubljanice oz. bistvenega zmanjšanja poplav na Barju.

Vodnogospodarski inštitut je izdelal študijo o bodočih ukrepih na področju Barja in pritokih Ljubljanice, ki jih je mogoče strniti v naslednjih predlaganih ukrepih:

- vzdrževalna dela na Ljubljanici, pritokih, hudournikih, obstoječih kanalih itd;
- regulacija pritokov na odsekih, kjer to zahteva urbanizacija;
- izgradnja osnove za odvajanje vode na področjih, kjer je predvideno osuševanje zemljišč. Pri tem je bilo ugotovljeno, da je na področju Barja okrog 6000 ha zemljišč, ki so pod vplivom samo

občasnih poplav in jih je mogoče izrabiti za intenzivno kmetijsko proizvodnjo brez velikih regulacijskih posegov, če je izkoriščanje zemljišč glede na pedološko sestavo v ekonomskih okvirih;

— zadrževanje visokih voda kot najpomembnejši ukrep za zmanjševanje poplav na Barju. Kraško zaledje je že samo velika naravna retencija, zato je zadrževanje možno le na pomembnejših pritokih, med njimi vsekakor v povodju Gradaščice.

## 2. DANAŠNJE STANJE ODVODNJE POVODJA GRADAŠČICE

Mali Graben je bil na odseku od izliva v Ljubljano do Bokalskega jezua reguliran oziroma urejen za pretok vode okrog 144–164 m<sup>3</sup>/s, kar je celo manj kot je pretok 10-letne visoke vode. Na navzornjem odseku kakor tudi na pritokih so bila opravljena večja in manjša vzdrževalna dela, zaradi urbanizacije področja pa so bili regulirani le posamezni odseki.

Zaradi ne dovolj urejenega odvodnega režima bi ob visokih vodah Gradaščice bilo poplavljenih prek 1300 ha zemljišč. Poleg zemljišč v dolini Gradaščice in Šujice bi bilo poplavljenih tudi okrog 470 ha mestnega zemljišča — to je južnega dela Ljubljane (industrijski kompleksi, stanovanjski objekti, komunikacije itd.).

To je zagotovo najbolj ogroženo poplavno območje v Sloveniji — ne toliko po površini kakor po škodi, ki bi nastala ob katastrofalni poplavi na gosto pozidanem področju.

Kakor je bilo že omenjeno, je Mali Graben reguliran na pretok 10-letne visoke vode (164 m<sup>3</sup>/s), visoka vodna konica v profilu Bokalci pa je  $Q_{100} = 292 \text{ m}^3/\text{s}$ . Za odpravo poplav ob visokih vodah je torej mogoče:

— izvesti regulacijo za možni pretok 100-letnih visokih voda ali pa

— zadržati visoke vode v povodju do take mere, da bo obstoječi odvodni sistem lahko prevajal tudi 100-letne visoke vode (zmanjšanje vodne konice od 292 m<sup>3</sup>/s na 164 m<sup>3</sup>/s).

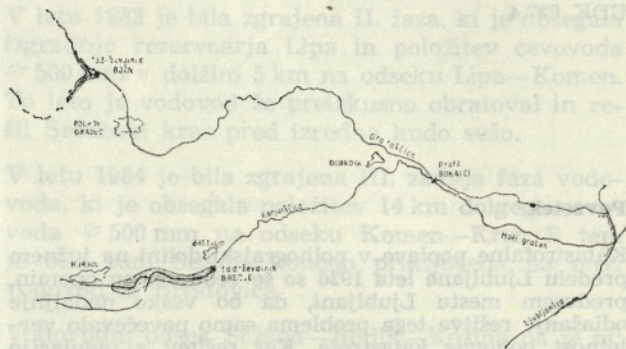
Analizirana je bila izvedba regulacije na večje pretočne zmožnosti, vendar le-ta ne pride v poštev, ker:

— bi bilo poglobljanje in širjenje Malega Grabna glede na obstoječo pozidavo, premostitve in še zlasti zaradi izredno slabih geomehanskih karakteristik tal tehnično težje izvedljivo in drago;

— predstavlja večji poseg v okolje;

— bi regulacije povzročile še hitrejši in večji dotok na Barje in s tem tudi povečan obseg poplav na njem. To seveda ni strokovno opravičljivo glede na že definirani koncept zmanjšanja poplav na Barju z zadrževanjem visokih voda v povodju.

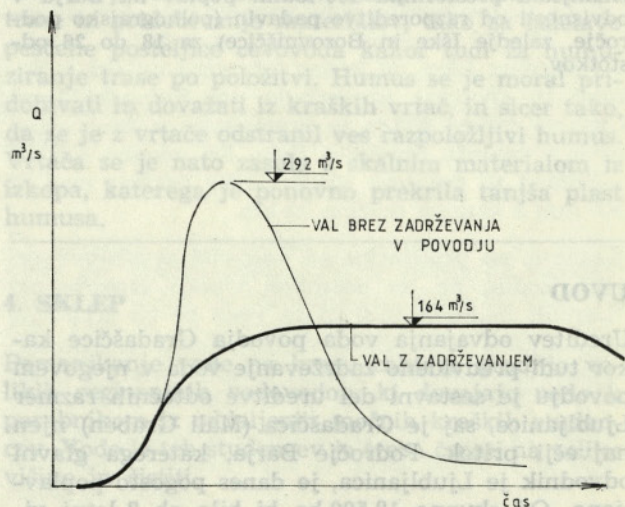
Iz navedenih ugotovitev logično izhaja, da je potrebno visoke vode v povodju zadržati; ta varianta ureditve odvajanja vode je bila tudi detaljneje obdelana (sl. 1).



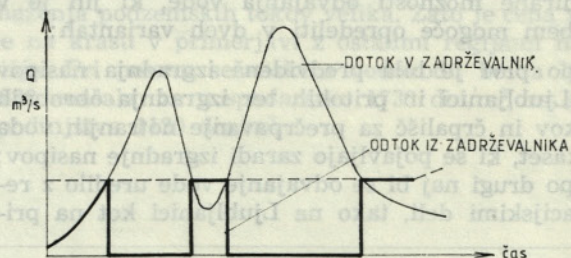
Skica 1. Situacija

## 3. HIDROLOŠKA PROBLEMATIKA

Hidrološka problematika je bila obdelana na podlagi vseh dosedanjih obdelav povodja kakor tudi na analizi visokih voda v preteklem obdobju, npr. leta 1926, ko je bila zabeležena največja poplava doslej. Pri hidrološkem modelu je bila upoštevana možna časovna in prostorska razporeditev pada-



Skica 2. Gradaščica — profil Bokalci



Skica 3. Primer dotoka in odtoka zadrževalnika Božnika glede na nizvodne odtočne zmogljivosti

vin; pri izračunu visokih valov so bile izbrane štiri padavinske situacije, ki so v preteklosti povzročile največje poplave na povodju.

Pri obdelavi so bili upoštevani različni možni zadrževalni prostori, vendar pa je bilo zaradi pozidave in komunikacij težko najti ustrezne. Za prikaz vpliva zadrževanja v zgoraj ležečih zadrževalnih prostorih na pretok v profilu Bokalci so bili seveda analizirani vsi vmesni valovi pritokov.

Končni rezultati hidrološke obdelave ob upoštevanju dejanske možnosti kažejo, da je:

— za zmanjšanje vodne konice od  $292 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $164 \text{ m}^3/\text{s}$  v profilu Bokalci je potrebno v povodju zadržati  $7,7 \text{ mio. m}^3$  vode;

— na Gradaščici pod sotočjem Male in Velike Božne predviden zadrževalnik Božna s prostornino  $5,5 \text{ mio. m}^3$ ;

— po pritoku Šujici pri vasi Brezje predviden zadrževalnik Brezje s prostornino  $2,2 \text{ mio. m}^3$ .

Analiza vmesnega dotoka oziroma različnih padavinskih situacij, katere povzročijo na povodju Gradaščice visoko vodo, je bila potrebna zato, ker sta oba zadrževalnika razmeroma oddaljena od profila Bokalci.

Sistem zadrževanja bo praviloma deloval tako, da se bo ob naraščanju visokih voda in približevanju kritičnemu pretoku naprej začel polniti zadrževalnik Božna in šele po njegovi napolnitvi zadrževalnik Brezje. Za takšen način obratovanja pa je potrebna stalna kontrola pretokov (dotoka in odtoka) v profilu obeh zadrževalnikov in v profilu Bokalci (sl. 3).

Ker z obema zadrževalnikoma varujemo tudi obe dolini, tako polhograjsko kot horjulsko, pa je bila proučena tudi varianta, kdaj začeti z zapiranjem, da ne bi prišlo do preliivanja pri sedanjem stanju struge Gradaščice (upoštevaje le najnujnejše korekture) po reki navzdol od Polhovega Gradca in v dolini Šujice (Horjulščica).

Odgovor na to vprašanje je za zadrževalnik Brezje odvisen od prostora, kjer je ta zadrževalnik, in od dejstva, da se v bazenu zadrževalnika ne smejo poplavljeni kmetijska zemljišča pri vodah manjše pogostosti nastopa kot 20 let. To pomeni, da bo zadrževalnik Brezje opravičil svojo vlogo šele pri pretokih Šujice, večjih od 20 let, in bo treba ob urejanju struge Šujice med pregrado zadrževalnika Brezje in izlivom v Gradaščico ta pogoj upoštevati.

Bolj zapletena je problematika pri obravnavi zadrževalnika Božna, kjer bi pravzaprav želeli, da ta opazno vpliva na vsako visoko vodo; po drugi strani pa se bojimo, da bo akumulacijski prostor delno zaseden pred »katastrofalno visoko vodo«. Zato smo analizirali tudi sestavljene (več zaporednih konic) visoke valove in ugotovili, da je treba

tako zaradi varstva polhograjske doline kakor tudi doseganja mejnega pretoka  $164 \text{ m}^3/\text{s}$  v profilu Bokalci aktivirati zadrževalnik Božna, ko ta doseže pretok v pregradnem profilu  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4. ZADRŽEVALNIK BOŽNA

Izbrani pregradni profil za zadrževalnik je v razmeroma ozki dolini navzgor po neki od Polhovega Gradca širina na dnu doline 70 m, širina na vrhu pregrade (dolžina pregrade po osi) 190,0 m (sl. 4 in 5).

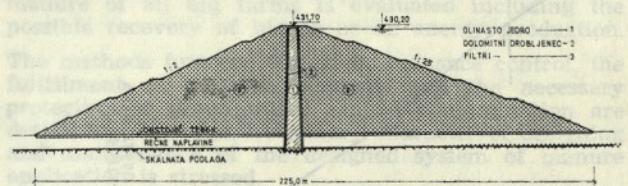
Predviden je nasuti tip pregrade višine 41,7 m in z nakloni od 1 : 2 do 1 : 2,5 mestnimi bermami in ozelenitvijo obeh brežin. V pregrado bo treba vgraditi okrog  $600.000 \text{ m}^3$  materiala. Osrednji tesnilni del bo glinen, večinoma pa bo pregrada iz dolomitnega peska, ki naj bi se pridobival v njeni neposredni bližini.

Funkcionalnost in varnost omogočajo:

— talni izpust (dve odprtini  $2,6 \times 2,6$  v armirano-betonski izvedbi dolžina propusta 270 m) z večjo vtočno zgradbo na zgornji strani in podslapjem z dvema segmentnima zapornicama na spodnji strani;

— preliv za visoke vode za odvod tudi 10.000-letnih visokih voda ( $220 \text{ m}^3/\text{s}$ ), izveden kot drča širine 10 m, na zgornjem koncu bo zapornična tabla  $14 \times 4$  m, na spodnjem pa bosta ustrezno poslopje in objekt za upravljanje;

— komunalne naprave (izgradnja nove ceste od Polhovega Gradca do Zaloga, izgradnja ceste v Petačev graben, prestavitev daljnovoda, dovod električne energije, predstavitev PTT).

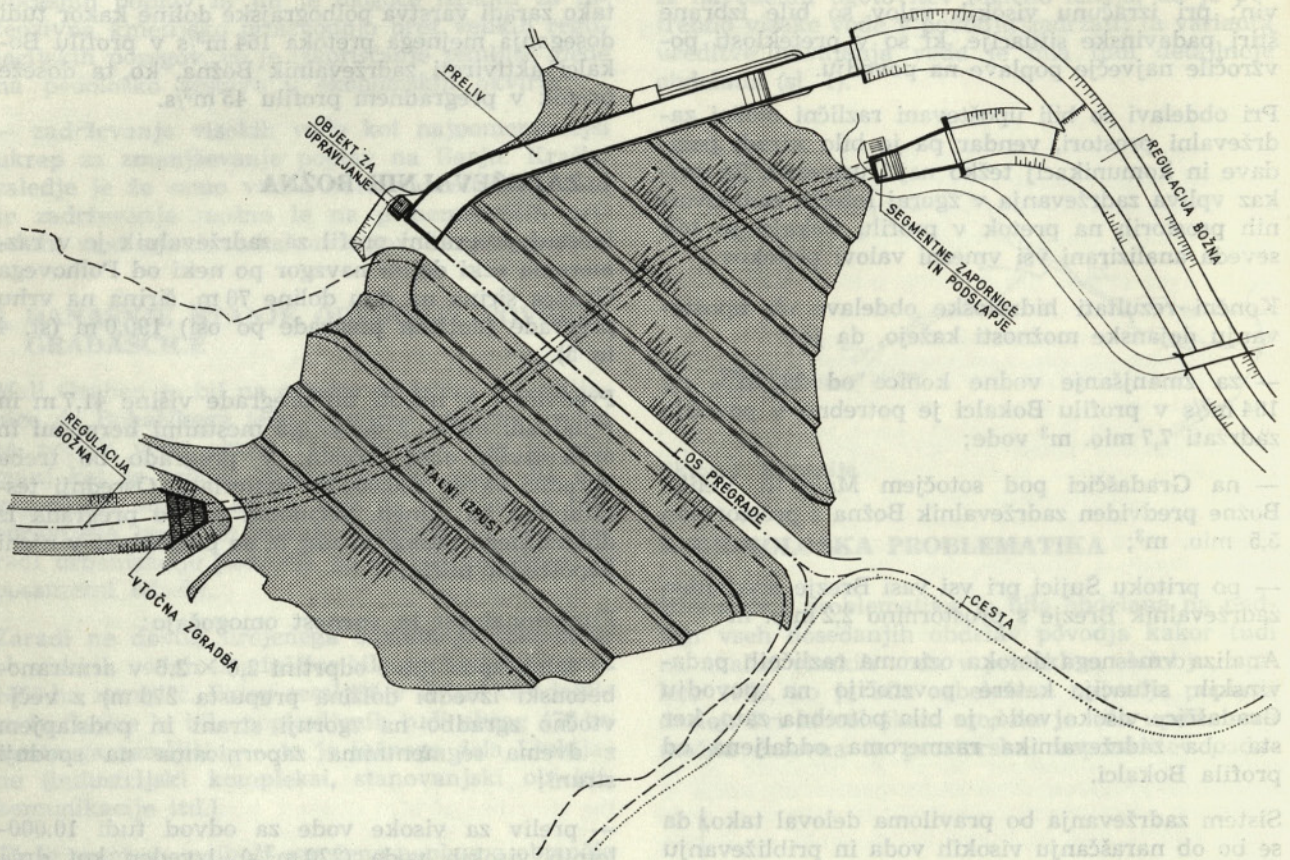


Skica 4. Zadrževalnik Božna — prerez pregrade

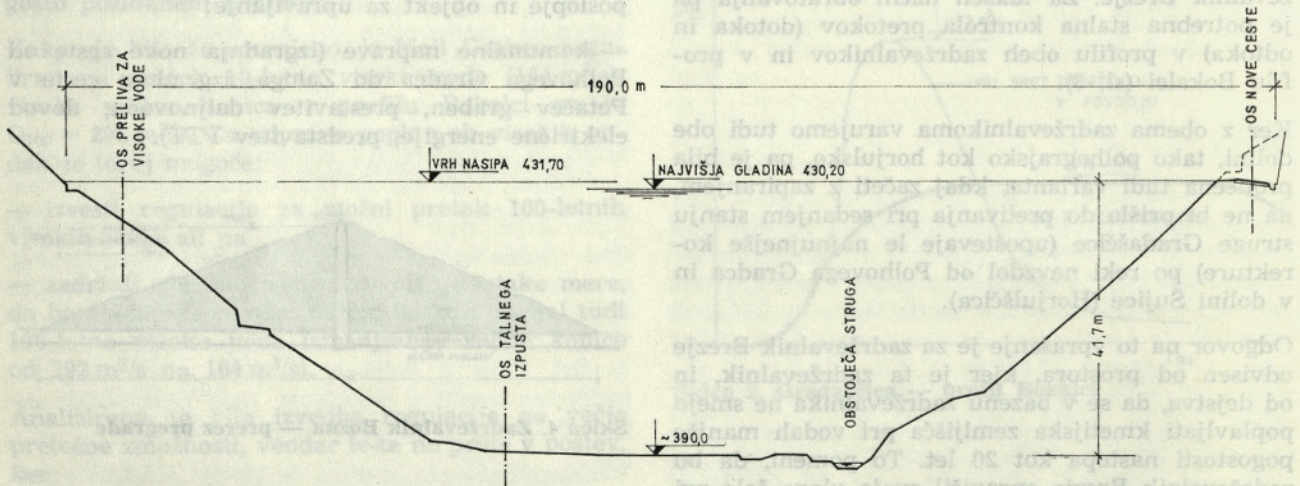
#### 5. ZADRŽEVALNIK BREZJE

Glede na terenske razmere in nadaljnjo možnost izrabe kmetijskih površin je ta zadrževalnik zasnovan drugače kot zadrževalnik Božna (kjer se z visoko pregrado v dolini ustvarja zadrževalni prostor), in sicer z izgradnjo nizkega nasipa, ki omogoča zadržati  $2,2 \text{ mio. m}^3$  vode, pri tem pa so površinsko poplavljeni površine večje.

Zadrževalnik je situiran na potoku Šujica v neposredni bližini vasi Brezje. Vzporedno z njegovo



Skica 4. Zadrževalnik Božna — tloris



Skica 5. Zadrževalnik Božna — pregradni prerez

izgradnjo je predvidena tudi regulacija potoka Šujica na dolžini 6,6 km za pretok 20-letne visoke vode. Vse vode do pretoka  $Q_{20} = 32 \text{ m}^3/\text{s}$  ne bodo poplavljale okoliških kmetijskih površin in to dejstvo omogoča intenzivno izrabo kmetijskih zemljišč tudi na področju predvidenega zadrževalnega prostora. Ob visokih vodah bi bilo sicer poplavljenih 139 ha kmetijskih zemljišč, vendar bi poplave trajale 44 ur (od začetka polnjenja do izpraznitve)

in bi tako tudi morebitna poplava v vegetacijski dobi le delno ogrozila pridelek.

Za izgradnjo zadrževalnika sta predvideni izvedba nasipa (z največjo višino 4,5 m) čez dolino in delno tudi vzdolžno (dolžina nasipa 700 m) ter izgradnja zaporničnega objekta na Šujici v osi nasipa, ki je armiranobetonska konstrukcija z mehanizmom za zapiranje; predvidene so zapornične table  $6 \times 3,20 \text{ m}$ .

## 6. VPLIV ZADRŽEVANJA VODE V POVODJU GRADAŠČICE NA OBSEG POPLAV NA BARJU

Predvideno zadrževanje voda v povodju Gradaščice vpliva tudi na poplave na Barju, in sicer bi se prostornina poplavne vode zmanjšala od 18 do 26 odstotkov (odvisno od razporeditve padavin). To seveda velja ob 100-letni visoki vodi. Pri manjših vodah je vpliv manjši, saj je predvideno samo zadrževanje visokih voda.

Znižanje gladine reke Ljubljanice pri 100-letni visoki vodi v profilu na Špici za 16 do 64 cm (odvisno, ali je center padavin nad povodjem Iške in Borovniščiце ali pa nad povodjem Gradaščice) bo poleg tega vplivalo tudi na obseg poplav na Barju, nedvomno pa tudi na njihovo trajanje.

## 7. NAČRTOVANI UKREPI

V povodju Gradaščice bosta izgradnja zadrževalnikov Božna in Brezje ter ustrezno vzdrževanje obstoječih reguliranih korit omogočala zavarovanje pred poplavami južnega dela Ljubljane in zmanjšanje obseg poplav v dolini Gradaščice in Šujice kakor tudi na Ljubljanskem barju.

Glede na odtočne razmere Ljubljanice in obstoječo pozidavo so predvideni ukrepi smiselno načrtovani. Zaradi potencialne nevarnosti poplave bi jih bilo treba realizirati čim prej, ne glede na to, da so stroški ocenjeni na okrog 15 milijard dinarjev.

## Vodnogospodarska in ekološka rešitev onesnaževanja z gnojvko iz prašičje farne Podgrad na Apaškem polju

UDK 628.19

MITJA RISMAL

### Povzetek

V članku je prikazana tehnološka rešitev dispozicije gnojevke iz prašičje farne v Podgradu na kmetijske površine. Ocenjene so možnosti enake uporabe gnojevke na drugih slovenskih farmah. Ovrednoten je delež obravnavanih farm v skupnem onesnaževanju odpadnih voda v Sloveniji. Ocenjena sta količina koristnih gnojil, N, P, K, in možnost pridobivanja bioplina iz gnojevke; oboje pa je mogoče koristno izrabiti v poljedelstvu. Prikazani so ukrepi za preprečevanje smradu, higienski ukrepi in ukrepi za zaščito podtalnice. Poudarjena sta interdisciplinarna vsebina problematike in pomen strokovnega vzdrževanja ter vodenja zgrajenega sistema.

### 1. UVOD

Gnojevka iz prašičje farne v Podgradu onesnažuje okolje že od njene izgradnje v letih 1962—1964, ker ni bilo dokončno rešeno vprašanje njenega čiščenja. Tedaj je bila za gnojvko zgrajena ob Muri anaerobna laguna s prostornino okrog 2400 m<sup>3</sup>, ki naj bi rabila za deponiranje gnojevke za uporabo na poljih. Tekoči del gnojevke je iz lagune odtekal v Muro. Predvideno je bilo, da se bosta tako zmanjšala onesnaženost gnojevke, ozi-

## WATER RESOURCES MANAGEMENT AND ECOLOGICAL SOLUTION OF MANURE DISPOSAL OF PIG FARM PODGRAD ON APAŠKO POLJE

### Summary

The article is describing the designed application of pig manure on the fields for a big farm Podgrad. Short analysis made in this article to use the same technique on other big farms in Slovenia gave confirming results. The contribution of all big swine farms to total water pollution in Slovenia is estimated. The amount of nutrients N, P, K contained in manure of all big farms is evaluated including the possible recovery of biogas or el. energy production.

The methods foreseen for odour nuisance control, the fulfillment of hygienic demands and the necessary protection of groundwater against contamination are described. The interdisciplinary character of designing and maintenance of the designed system of manure application is stressed.

roma onesnaževanje recipienta Mure za okrog 50—60 odstotkov.

Višja stopnja čiščenja gnojevke je bila prepuščena prihodnosti. Vendar pa do predvidene uporabe akumulirane gnojevke iz lagune ni prišlo, ker so bila umetna gnojila cenejša, njihova aplikacija na poljih pa enostavnejša.

Zato se je laguna z leti napolnila, njena čistilna sposobnost pa se je zmanjšala, čeprav je bil učinek čiščenja v poletnih mesecih okrog 70-odstoten, v zimskih pa okrog 40—50-odstoten, torej večji od načrtovanega.

Izveden način odstranjevanja gnojevke je pomenil le začasno rešitev, kar je bilo utemeljeno ekonomsko in tehnološko, saj med načrtovanjem in gradnjo farme tudi v svetu še niso poznali preizkušene tehnike čiščenja gnojevke iz velikih prašičjih farm. Predvsem v Ameriki pa so uporabljali, podobno kot na farmi v Podgradu, anaerobne lagune.

Zaradi rekonstrukcije in povečanja kapacitete farme v letih 1982—1984 ter zaradi novih zahtevnejših pogojev za čiščenje gnojevke je bilo treba izpopolniti njeno čiščenje in preprečiti ali vsaj občutno zmanjšati smrad, ki se je širil iz lagune ob spremembah vremena pri nizkem zračnem pritisku. Pri preprečevanju smrada pa je treba upoštevati, da so njegov vir tudi sami hlevi, ki so lahko (če ni urejeno čiščenje zraka iz ventilacijskih naprav) za okolje večja nadloga od samih lagun.

Poostrene zahteve glede zaščite voda in celotnega okolja zahtevajo boljše ureditev čiščenja gnojevke tudi na drugih večjih farmah v Sloveniji, saj to vprašanje ni zadovoljivo rešeno na nobeni doslej.

## 2. PROBLEMATIKA ČIŠČENJA GNOJEVKE VELIKIH PRAŠIČJIH FARM V SLOVENIJI

Čeprav se lege in naravno okolje (ki poleg drugih dejavnikov vplivajo na potreben obseg in način čiščenja gnojevke) na farmah v Sloveniji razlikujejo, je zaradi ekonomske zahtevnosti in tehnološke zapletenosti čiščenja gnojevke primerna analiza vseh farm, da bi uporabili tehnologije, ki v največji meri upoštevajo naravne danosti, in hkrati uskladili ekološke kriterije glede načina in potrebne stopnje čiščenja.

Zato je bila na pobudo Republiškega komiteja za kmetijstvo in gozdarstvo SR Slovenije ustanovljena strokovna komisija, da presodi obseg onesnaženja in priporoči načine čiščenja gnojevke za vse večje farme v Sloveniji.

Komisija je na podlagi ankete izdelala pregled količin in lastnosti odpadnih voda vseh velikih prašičjih farm v Sloveniji.

V tabeli 1 so podani skupno onesnaženje in onesnaženje gnojevke po posameznih farmah v biokemični porabi kisika (BPK<sub>5</sub>) in v populacijskih enotah (PE) ter letna količina proizvedene gnojevke z obravnavanih farm. Onesnaženost gnojevke iz vseh farm dosega 477.867 PE ali okroglo 500.000 PE, kar je med okrog 6 odstotkov (če upoštevamo celotno onesnaženje odpadnih voda vključno z industrijo) do 25 odstotkov (če upoštevamo samo onesnaženje odpadnih voda populacije) onesnaževanja voda v Sloveniji.

Poleg onesnaženosti pa so v tabeli prikazana tudi koristna gnojila, ki so v gnojevki, kot so dušik (N), fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), kalij (K<sub>2</sub>O). Iz organskih snovi

v gnojevki pa je mogoče na vseh farmah dobiti s proizvodnjo bioplina okrog 1.665 kW električne moči.

## 3. EKOLOŠKO IN EKONOMSKO PRIMEREN NAČIN DISPOZICIJE GNOJEVKE

Velika količina onesnaženja, škodljivega za vode (BPK<sub>5</sub> in gnojil N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) na eni strani, na drugi pa velika vrednost gnojil, ki so v gnojevki in so pomembna za poljedelstvo sta nasprotni lastnosti gnojevke; ti nakazujeta ekološko in ekonomsko smiselno smer tehnoloških rešitev njenega čiščenja.

V širšem, ekološkem pogledu in v ožjem pogledu glede zaščite voda klasično čiščenje gnojevke, kot je na čistilnih napravah za komunalne vode, ni primerno, ker:

— se porabi veliko energije za oksidacijo organskih snovi (BPK<sub>5</sub>);

— se doseže samo mineralizacija hraniv (N, P, K), ne pa tudi njihova eliminacija;

— se za eliminiranje N, P porabi veliko dodatne energije in kemikalij (P).

Hkrati pa se za proizvodnjo umetnih gnojil za poljedelstvo porablja velike količine energije. Zato je primerneje gnojevko koristno uporabiti kot gnojilo na poljih, kot pa očiščeno izpuščati v reke. Pri tem je treba upoštevati potrebe poljščin ter zahteve za zaščito podtalnice pred onesnaženjem. Prevelike količine gnojevke lahko škodujejo poljščinam, predvsem pa lahko zaradi intenzivnejšega pronicanja onesnažujejo podtalnico.

Največjo nevarnost glede onesnaženja podtalnice pomenijo dušikove spojine (amoniak NH<sub>4</sub> in nitrat NO<sub>3</sub>), medtem ko se fosfor veže s kalcijem, železom in aluminijem, ki so v zemljini, v netopne spojine; ter se v manjši meri in počasneje izplakujejo v podtalnico.

V oceni potrebnih poljedelskih površin za uporabo gnojevke (v kateri je dušik) na poljih smo upoštevali povprečno uporabo 100 kg N/ha letno. Pri takšni uporabi dušika na 1 ha je treba zagotoviti za dispozicijo gnojevke iz vseh farm okrog 10.500 hektarov poljedelskih površin.

Izvedena je bila anketa, katere rezultati so podani v tabeli 2.

Pregled potrebnih in razpoložljivih kmetijskih površin za dispozicijo gnojevke na posameznih farmah dokazuje, da imajo vse farme (v razdalji primerni za hidravlični transport tekoče gnojevke) v svoji okolici dovolj kmetijskih površin za njeno uporabo brez nevarnosti onesnaževanja podtalnice.

Do neke mere so izjema le farme v Ihanu, Kočevju in Stični, kjer bo treba podrobneje proučiti mož-

Tabela 1. Pregled količine in lastnost odpadnih voda farm

Farme	Biokemično onesnaževanje in količina gnojevke			Hraniva N, P, K iz gnojevke			Maks. mož- na proizv. el. moči iz bioplina iz gnojevke (kW)	
	Skup- na te- ža pra- šičev 10 <sup>3</sup> kg	kg BPK <sub>5</sub> /dan	PE ×10 <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /leto ×10 <sup>3</sup>	kgN/leto ×10 <sup>6</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / leto ×10 <sup>6</sup>		kg K <sub>2</sub> O/ leto ×10 <sup>6</sup>
1. Draženci	1.943	4.663	77.717	149,77	0,34	0,19	0,14	271
2. Cven (Ljutomer)	470	1.128	18.800	36,23	0,08	0,05	0,03	65
3. Kočevje	846	2.029	33.817	65,21	0,15	0,08	0,06	118
4. Nemščak	2.310	5.543	92.383	178,06	0,41	0,23	0,16	322
5. Jezera	925	2.220	37.000	71,30	0,16	0,09	0,07	129
6. Podgrad	1.079	2.589	43.150	83,17	0,19	0,11	0,08	150
7. Ihan	3.150	7.560	126.000	149,77	0,55	0,31	0,22	439
8. Pristava	595	1.428	23.800	45,86	0,11	0,05	0,04	83
9. Stična	630	1.512	25.200	48,56	0,11	0,06	0,04	88
Skupaj	111.948	28.672	477.867	921,00	2,100	1,170	0,840	1665

nosti aplikacije na poljih (ali v umetnih gozdnih nasadih).

Uporaba gnojevke na poljih je odvisna od:

- a) 4- do 6-mesečne akumulacije gnojevke v lagunah, prilagojene potrebam kmetijske proizvodnje;
- b) najmanj 3-mesečne akumulacije gnojevke za njeno bakteriološko dekontaminacijo;
- c) stabilizacije gnojevke v laguni, ki mora biti dosežena do stopnje, da se smrad ne širi iz lagun niti ob aplikaciji gnojevke na poljih;
- d) zagotavljanja tehnično in ekonomsko izvedljivega transporta gnojevke na polja, ki je bila akumulirana v lagunah.

Navedene pogoje je mogoče izpolniti pri malo obremenjenih lagunah, to je okrog 0,08 kg BPK<sub>5</sub>/ (m<sup>3</sup> dan) lagune.

Prostornina tako obremenjenih lagun hkrati ustreza pogojem v točkah a, b in c. Odsedanje gostega (trdnega) dela gnojevke v lagunah povzroča težave pri njihovem praznjenju. Dosedanje izkušnje so pokazale, da so lagune primerne samo za akumulacijo tekočega dela gnojevke, medtem ko je trdni del gnojevke treba odstraniti s predhodno separacijo trdnih snovi.

Tako je omogočen odvoz manjšega, trdnega dela gnojevke (3 odstotki do 10 odstotkov), preostanek 90 odstotkov (delež tekoče gnojevke) pa je najprimerneje prečrpavati na polja po fiksnih ali premičnih cevovodih (odvisno od lokalnih pogojev).

Tabela 2. Pregled potrebnih in razpoložljivih kmetijskih površin za dispozicijo gnojevke na posameznih farmah

	Potrebne površine za dispozicijo gnojevke			Razpoložljive površine za uporabo gnojevke po anketi			Razpoložljive površine		Sred- nja od- dalje- nost od farme (km)
	tekoče- ga dela (ha)	»suhe- ga« de- la (ha)	skupaj (ha)	njive (ha)	travni- ki (ha)	skupaj (ha)	potreb- ne po- vršine	7/4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Draženci	1093	615	1.708	4526	280	4.806	2,81	12	
Ljutomer	263	148	411	1000	250	1.250	3,04	5	
Kočevje	475	268	743	—	—	—	—	—	
Nemščak	1298	731	2.029	1713	389	2.102	1,04	1,5	
Jezera	521	293	814	—	—	—	—	—	
Podgrad	608	341	949	1165	35	1.200	1,26	7	
Ihan	1773	996	2.769	—	—	—	—	—	
Pristava	334	188	522	515	425	940	1,80	3	
Stična	355	200	555	210	170	380	0,68	5	
	6720	3780	10.500	9129	1549	10.678			



V anaerobnih lagunah se odstrani okrog 60 do 80 odstotkov organske onesnaženosti (BPK<sub>5</sub>) gnojevke in dušika, zato se v enakem obsegu zmanjšajo kmetijske površine, potrebne sicer za aplikacijo gnojevke.

Pred separacijo in deponiranjem gnojevke v lagunah je mogoče iz nje pridobivati v anaerobnih reaktorjih bioplina in iz njega na vseh farmah skupno okrog 1700 kW električne moči.

Vendar je z vidika koristne uporabe gnojevke in iz ekološkega principa recirkulacije odločilnega pomena njena uporaba na poljih. Pridobivanje bioplina pa je smiselno tam, kjer se zahteva višja stopnja stabilizacije gnojevke v lagunah ali kjer je izkoriščanje energije ekonomsko že utemeljeno.

Ob upoštevanju teh ugotovitev je bil zasnovan koncept čiščenja ali, bolje rečeno, koncept uporabe gnojevke iz farme v Podgradu na kmetijskih površinah Apaškega polja.

#### 4. OPIS REŠITVE DISPOZICIJE GNOJEVKE IZ FARME PODGRAD NA APAŠKEM POLJU

Neposredna bližina velikih kmetijskih površin Apaškega polja omogoča uporabo vse gnojevke (trdna in tekoča faza gnojevke) na poljih. Zaradi razmeroma (za Slovenijo) majhnih padavin 800 mm in njihove letne razporeditve je predvideno tudi umetno namakanje kmetijskih površin.

Zato je za transport gnojevke in vode za namakanje predviden enotni hidravlični sistem, sestavljen iz glavnega, 6 km dolgega transportnega cevo-voda  $\varnothing$  400 mm, treh vodnjakov ob Muri za črpanje obmurske podtalnice (okrog 100 l/s) in glavnega črpališča za hkratno namakanje polj s podtalnico in gnojevko.

Gnojevka, stabilizirana v anaerobnih lagunah, se bo v ustreznem razmerju dodajala vodi za namakanje. Od dnevne količine gnojevke, okrog 230 m<sup>3</sup> na dan, se bo v anaerobnih lagunah akumuliralo okrog 200 m<sup>3</sup> tekočega dela gnojevke. Okrog 30 m<sup>3</sup> separiranega trdnega dela gnojevke (= 25 odstotkov suhe snovi) pa se s traktorskimi prikolicami že danes odvažna na bolj oddaljena polja in v vinograde.

Gnojevka se iz kanalskega omrežja farme prečrpa v zgoščevalnik. Zgoščeni trdi del se dehidrira na bobnastem separatorju. Tekoči del gnojevke se prečrpa v dve anaerobni laguni s skupno prostornino 36.000 m<sup>3</sup>.

Biokemična obremenitev lagun ne presega 0,07 do 0,08 kg BPK<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> na dan. Čas zadrževanja gnojevke je okrog 180 dni. Gnojevka, stabilizirana v anaerobnih lagunah,

se bo po razredčenju z namakalno vodo črpala na polja.

V lokacijskem dovoljenju za izgradnjo opisanega načina uporabe gnojevke na poljih se zahteva dvoletna preizkusna uporaba gnojevke na 126 ha površin (v projektu je za namakanje z gnojevko predvidenih okrog 600 ha).

Za prehodno obdobje je po zahtevah lokacijskega dovoljenja treba zgraditi čistilno napravo za biološko čiščenje tistega dela anaerobno stabilizirane gnojevke, ki se v dveletni preizkusni dobi ne bo aplicirala na poljih.

Zato se bo obstoječa anaerobna laguna s površino 2400 m<sup>3</sup> preuredila za aeracijo gnojevke, zgradil pa se bo tudi novi dodatni usedalnik. Predvidevamo, da bo z aeracijo stabilizirane gnojevke mogoče doseči kakovost efluenta čistilne naprave v predpisanih mejah, tj. 30 mg BPK<sub>5</sub>/l. Ko bo po poizkusnem dvoletnem programu mogoče aplicirati vso količino gnojevke na poljih, bo mogoče aerobni del čistilne naprave uporabiti za čiščenje odpadnih voda Gornje Radgone ali naselij v Apaški dolini.

#### 5. PREPREČEVANJE SMRADU

Za preprečevanje širjenja smradu iz anaerobnih lagun so predvideni naslednji ukrepi:

— nizka specifična obremenitev lagun 0,07 do 0,08 kg BPK<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> na dan,

— možnost recirkulacije pregnite gnojevke iz dna lagune za cepljenje dotekajoče »surove« gnojevke,

— kontrola vrednosti pH v laguni z dodajanjem apna, predvsem v prehodnih obdobjih zima-pomlad,

— kontrola smradu z umetnim ozračevanjem lagun s plavajočimi aeracijskimi turbinami.

Menimo, da bo z navedenimi ukrepi ob vestnem upravljanju lagun mogoče preprečiti širjenje smradu iz lagun v širšo okolico.

#### 6. ZAŠČITA PODTALNICE

Posebna problematika je zaščita podtalnice Apaškega polja, ki je glavni vir pitne vode vodovoda Gornja Radgona—Radenci s kapaciteto okrog 100—130 l/s.

Količinsko in kakovostno opravljene predhodne geohidrološke analize podtalnice in prognoza možnega pronicanja gnojevke v podtalnico so pokazale, da ob uporabi 100—120 m<sup>3</sup>/ha gnojevke stabilizirane v anaerobnih lagunah, ni pričakovati poslabšanja kakovosti podtalnice. Seveda pod pogojem, da se na račun uporabljene gnojevke zmanjša količina doslej uporabljenih umetnih gnojil. To pa je tudi eden od namenov uporabe gnojevke.

Ob upoštevanju 60 do 80 odstotne redukcije dušika v načrtovanih anaerobnih lagunah in okrog 70 odstotne redukcije fosforja bo mogoče pridobiti iz gnojevke, akumulirane v lagunah, naslednjo količino gnojil:

dušika N:	30.400 do 60.800 kg N/leto
fosforja $P_2O_5$ :	17.000 kg $P_2O_5$ /leto
kalija $K_2O$ :	7.150 kg $K_2O$ /leto.

Pri letni uporabi  $100\text{ m}^3$  do  $120\text{ m}^3$  tekoče gnojevke na hektar, kar ustreza dozi okrog  $100\text{ kg N/ha}$  leto, je treba zagotoviti okrog 600 ha kmetijskih površin. V tem primeru vsaj po predvidevanjih projekta, kakovost podtalnice ne bo prizadeta. Te kmetijske površine so, kot je razvidno, iz tabele 2 pri farmi Podgrad v dostopni bližini v celoti zagotovljene.

Trdni del separirane gnojevke se kot gnojilo že koristno uporablja na poljih in v vinogradih izven območja podtalnice na Apaškem polju.

Koristna gnojila v tem delu gnojevke:

dušik N:	15.000 kg N/leto
fosfor $P_2O_5$ :	400.000 kg $P_2O_5$ /leto
kalij $K_2O$ :	90.000 kg $K_2O$ /leto.

Uporabljena gnojevka iz farme v Podgradu zagotavlja torej okvirno naslednje količine gnojil, podane v tabeli 3.

Tabela 3. Predvidena količina gnojil v gnojevki iz farme v Podgradu, uporabljeni na poljih

	Stabilizirani tekoči del gnojevke	Trdni del separirane gnojevke	Skupaj
fosfor $P_2O_5 \times 10^3\text{ kg/leto}$	17,0	400	417
dušik $N \times 10^3\text{ kg/leto}$	50,0	15,00	65
kalij $K_2O \times 10^3\text{ kg/leto}$	7,15	90	97,15

Z izgradnjo anaerobnega reaktorja in s pridobivanjem bioplina bi bilo mogoče pridobiti še okrog 150 kW električne moči.

## 7. SKLEP

Primerjava izvedbe opisanega načina uporabe gnojevke na poljih s klasičnim načinom čiščenja gnojevke (sedimentacija, aerobnim čiščenjem gnojevke, anaerobno stabilizacijo) pokaže naslednje prednosti načrtovane rešitve:

— v celoti izključuje onesnaževanje površinskih voda,

— energijski, pogonski in investicijski stroški uporabe gnojevke na poljih so nižji od klasičnega čiščenja,

— zagotovljena je koristna izraba gnojil v gnojivki in omogočeno pridobivanje bioplina.

Glede na etapno izgradnjo sistema je primerno najprej zagotoviti uporabo gnojevke na poljih, v naslednji fazi, ko bo ta ekonomsko utemeljena, se zgradijo tudi naprave za pridobivanje in izkoriščanje bioplina.

Načrtovani način uporabe gnojevke je ekološko utemeljen, tehnološko pa razmeroma enostaven. Kljub temu zahteva ustrezno strokovnost, organizacijo in sredstva za redni pogon in vzdrževanje sistema.

Po opisanem načrtu bodo gradbena dela predvidoma zaključena do konca maja tega leta. Predvideno je tudi dveletno preizkusno obratovanje zgrajenega sistema, da se ugotovijo optimalni tehnološki parametri glede pogonskih stroškov, zaščite podtalnice, izkoriščanja gnojilne vrednosti gnojevke ter namakanja kmetijskih površin.

Kot je iz opisanega razvidno, je dispozicija gnojevke iz farme v Podgradu in iz ostalih velikih prašičjih farm kompleksna ekološka, vodnogospodarska in agronomska problematika. Zato je treba pri njenem reševanju zagotoviti interdisciplinarnost, tako pri načrtovanju, gradnji kot pri vzdrževanju zgrajenih sistemov.

Opisani način uporabe gnojevke za gnojenje poljedelskih površin Apaškega polja, ki bo letos dograjen, je prva rešitev takšne tehnologije in obsega v Jugoslaviji.

Ob primernem strokovnem vodenju zgrajenega sistema bo mogoče dobiti potrebne izkušnje, ki bodo koristne tudi potrebni ekološki sanaciji drugih farm.

## Literatura

1. M. Amon, M. Leskovšek, M. Rismal: Ekološko in organsko smotrna uporaba gnojevke v velikih prašičjih farmah v Sloveniji, IZH november 1987.
2. M. Rismal, B. Kompore: Tehnološki projekt za dispozicijo odplake farme bekonov v Podgradu, IZH 1982.
3. M. Rismal, B. Kompore: Analiza možnega vpliva načrtovanega gnojenja z gnojevko iz prašičje farme v Podgradu na kakovost podtalnice Apaškega polja.
4. Raymond C. Loehr: Agricultural Waste management Academic Press, New York, London 1974.
5. Water Treatment Conference Aquatech 86, Anaerobic Treatment a Grown Technology.
6. E. Paul Taigenoides, Animal Wastes, Applied Science Publishers LTD London 1986.

## Raziskave hidrodinamičnih pogojev slovenskega morja

UDK 627.223:551.46

VANJA TONIN

### Povzetek

Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana je v sodelovanju z Inštitutom za hidroiženjering Poljske akademije znanosti, Gdansk, v dveh ekspedicijah zbral z meritvami podatke o hidrodinamičnih pogojih slovenskega morja. Med prvo ekspedicijo, od 3. septembra do 16. novembra 1984, so bile opravljene meritve na območju Kopskega zaliva, med drugo ekspedicijo, od 23. maja do 23. julija 1986, pa v preostalem delu slovenskega morja s posebnim poudarkom na meritvah v Piranskem zalivu. Tako zbrani podatki so osnova za študij kompleksne medsebojne odvisnosti vplivnih faktorjev, ki so vzrok za hidrodinamična dogajanja v tem, sicer majhnem, a gospodarsko pomembnem delu Jadranskega morja.

### 1. UVOD

Jadransko morje je dolga sinklinala, katere severozahodni del je zasut z nanosi reke Pad in drugih alpskih rek ter je najplitvejši del Sredozemskega morja. Najplitvejši del Jadranskega morja je Tržaški zaliv. Njegova globina je v povprečju manjša od 3 m, dno, ki pada v nagibu približno 0,3 odstotka, je prekrito z rečnimi nanosi, ob obali pa je ponekod skalnato (apnenec, eocenski fliš — peščenjaki in laporji).

Kljub temu da je približno 30 km dolga obala slovenskega morja le neznamenit delež skupne dolžine jugoslovanske obale Jadranskega morja, dolge 6116 km (skupaj z otoki), pomeni gospodarsko pomemben del slovenskega ozemlja. Ob njej so se razvile številne gospodarske dejavnosti, vezane neposredno na morje: Luka Koper, ladjedelnica v Izoli, Splošna plovba Piran, HP Droga s solinami, ribištvo in predelavo rib, ribogojstvo, školjkarstvo in turizem, ki skupaj z industrijskimi obrati v zaledju v večji ali manjši meri onesnažujejo morje. Vse večje potrebe po zdravi hrani, v novjšem času vedno zahtevnejši turizem in ne nazadnje boljša ekološka osveščenost stalnih prebivalcev Obale zahtevajo za svoj obstoj in razvoj čisto morje.

Avtor:

Vanja Tonin, dipl. inž. gradb.  
Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana

### RESEARCH INTO THE HYDRO-DYNAMIC CONDITIONS OF SLOVENE COASTAL WATERS

#### Summary

In cooperation with the Institute of Hydroengineering of the Polish Academy of Science from Gdansk, on two expeditions the Water Management Institute of Ljubljana has conducted measurements in order to obtain data about the hydro-dynamic conditions of Slovene coastal waters. During the first expedition, which took place between September 3<sup>rd</sup> and November 16<sup>th</sup>, 1984 measurements were carried out in the area of the Koper Bay, whereas, on the second expedition, which took place between May 23<sup>rd</sup> and July 23<sup>rd</sup>, 1986 they were carried out in the remaining parts of the Slovene coastal waters. The assembled data form the basis for the study of the complex interdependence of factors which influence the hydro-dynamic behaviour in this small but, when economically viewed, important part of the Adriatic Sea.

Celotno Sredozemlje je ekološka celota, v kateri so se zaradi posebnih ekoloških pogojev izoblikovale štiri ekološko-biogeografske enote: Alboransko morje, Zahodno Sredozemlje, Jadransko morje in Vzhodno Sredozemlje. V vodah Severnega Jadrana so zaradi vpliva kopnega, to je zaradi goratega zaledja in izlivov rek, večje dnevne, sezonske in letne amplitude spreminjanja temperature in slanosti morja kot na jugu. Dinamika časovnega spreminjanja teh osnovnih vplivnih faktorjev je pomemben vzrok gibanja vode, s tem pa neposredno vpliva tudi na razporeditev ekosistema.

Alpske reke prinašajo v severni del Jadrana razmeroma velike količine fosfatov in nitratov. Ekstremne amplitude spreminjanja slanosti in temperature vode, v primerjavi s celotnim Jadranom, omogočajo življenje le omejenemu številu vrst morske flore in favne, ugodni pogoji glede dotoka hranljivih snovi pa so vzrok, da so primerki iste vrste številnejši kot drugje v Jadraniu.

Ekološko ravnotežje v morju vse bolj ogroža nekontrolirano onesnaževanje zaradi vse večje onesnaženosti voda, ki se stekajo v Tržaški zaliv iz industrijsko razvitega območja severne Italije, pa tudi zaradi vpliva številnih dejavnosti, ki so se razvile ob obali.

Onesnaževanju se ne moremo povsem izogniti. Kje postaviti mejo dopustnega onesnaževanja? Vsekakor pod mejo samočistilne sposobnosti morja, ta pa je v pretežni meri odvisna od hidrodinamičnih dejanj v njem.

## 2. OCEANOGRFSKE RAZISKAVE MORJA

### 2.1. Splošno

Oceanografija je interdisciplinarna znanstvena veda, ki proučuje svetovno morje. Omejili se bomo le na fizikalno oceanografijo, ki poskuša s fizikalno-matematičnimi zakonitostmi izraziti časovno spreminjanje odnosov med vplivnimi faktorji pri proučevanju gibanja morja.

Prve teorije o nastanku oceanskih tokov so v sredini 19. stoletja postavili Franklin, Renell in Croll, ki so menili, da so prevladujoči vetrovi s svojim vlekrom na morski gladini vzrok za nastanek tokov; Maury pa je trdil, da je glavna potisna sila tokov potencial, ki nastane zaradi različne gostote vode, katero povzroči neenakomerno ogrevanje oceanov v različnih zemljepisnih širinah. V plitvih morjih je razlaga pojava še kompleksnejša zaradi dodatnega vpliva plimovanja.

Prvi zapisi o plimovanju so se pojavili že v 1. stoletju pred našim štetjem. Že Plinij (23.—97. p. n. š.) je pravilno razložil plimovanje kot pojav, ki je odvisen od vpliva Sonca in Meseca. Newton (1687) je dokazal, da je plimovanje ena od posledic delovanja težnosti, Laplace (1775) pa je temu dodal dokaz o vplivu vztrajnosti vode in Zemljine rotacije. Kompleksnost pojava še povečujeta nepravilna oblika obrežja in spreminjajoča se globina morskega dna. Na gibanje vode bistveno vplivajo tudi meteorološke motnje.

### 2.2. Oceanografske meritve v Jadranskem morju

Prve meritve v Jadranu sta opravila Wolf in Luksch na Reki leta 1870, v obdobju 1874—1880 pa v Kvarnerskem zalivu in na odprtem Jadranu. Merila sta morske tokove z direktnim merjenjem, pa tudi slanost in temperaturo vode ter leta 1887 izdelala prvo karto tokov v Jadranu. Z nje je razvidno, da prihaja skozi Otrantska vrata v Jadransko morje vhodni tok, ki teče ob vzhodni obali proti severozahodu in odteka iz Jadrana ob italijanski obali. Od glavnega toka se odcepita dva prečna tokova. Njena karta prikazuje poletno razporeditev morskih tokov. Ekspediciji na avstrijski ladji Najade in italijanski ladji Ciclope sta v letih 1911—1914 merili morske tokove v Jadranu s plovci. Meritve v italijanskem delu Severnega Jadrana je opravila italijanska oceanografska ekspedicija. Niti ta niti novejša merjenja, ki jih je opravil Inštitut za oceanografijo in ribištvo v Splitu od leta 1966 dalje, niso podrobneje obravnavala Severnega Jadrana. Slovenska ekspedicija na ladjah Argonavt, Zlatorog in Rašica je v letu 1965 merila temperaturo in slanost vode na območju severnega dela Severnega Jadrana. Rezultate teh meritev je analiziral F. Bernot v svoji doktorski disertaciji. Na tej ekspediciji tokov niso merili neposredno. V letih 1964, 1965 in 1966 je Zavod za

raziskovanje morja, Portorož meril tokove z opazovanjem plovcev v bližini slovenske obale v zvezi z reševanjem problema odpadnih voda v Slovenskem Primorju. Tudi najnovejše oceanografske raziskave, opravljene v okviru programa jugoslovansko-italijanske mešane komisije za zaščito Jadranskega morja in obalnega območja pred onesnaževanjem, t. i. monitoring Severnega Jadrana, ne segajo severneje od črte, ki povezuje Benetke in Poreč. Ni nam znano, da bi do leta 1984 podrobneje merili morske tokove v slovenskem morju.

Z vidika fizikalne oceanografije bi bilo nujno potrebno spremljati in analizirati tri bistvene pojave:

- plimovanje,
- valovanje,
- morske tokove.

Plimovanje že registrira vodomerna postaja v Kopru v sklopu Hidrometeorološkega zavoda SR Slovenije. Rezultate meritev obdeluje Hidrografski inštitut Jugoslovanske vojne mornarice v Splitu enotno za celotno jugoslovansko obalo in jih tudi publicira. Nadaljnje analiziranje rezultatov meritev, pomembno za napovedovanje katastrofalno visokih plim, ki lahko s poplavljanjem povzročijo veliko škodo, bi moralo biti trajna naloga, saj vemo, da čim daljše je obdobje, ki ga obravnava raziskava, tem zanesljivejše so napovedi pojava v prihodnosti.

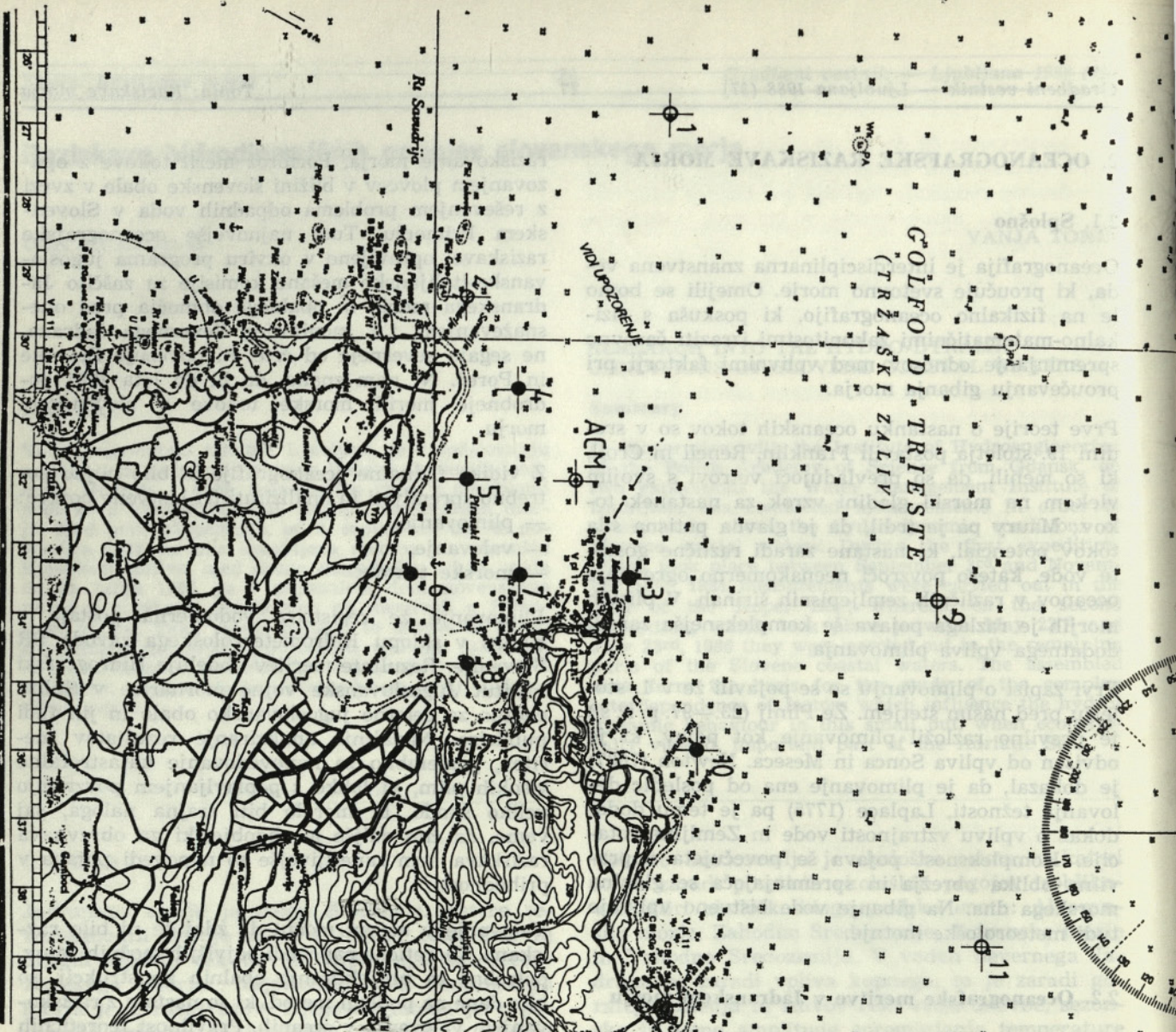
Valovanje v našem morju do zdaj še ni bilo raziskano. Teoretične napovedi najvišjih možnih valov, potrebne za projektiranje obalnih konstrukcij, so bile dane na podlagi metod, ki so nastale z raziskovanjem valovanja v oceanih. Pravilnost teoretičnih predpostavk v razmerah plitvega zalivskega morja, kot je naše, bi bilo treba preveriti s sistematičnimi meritvami in analiziranjem njihovih rezultatov. Le tako bi lahko gradili zaščite obal in druge pomorske objekte na realnih osnovah in preprečili nastanek marsikatere škode. Sledovi sproščanja energije valov med velikim neurjem leta 1984 so še vedno vidni vzdolž precejšnjega dela slovenske obale.

Morski tokovi v slovenskem morju — kot najpomembnejši dejavnik, ki omogoča mešanje vode in, če ga pravilno izrabimo, pomaga čistiti morje — so bili do leta 1984 slabo raziskani.

### 2.3. Raziskave v izvedbi Vodnogospodarskega inštituta (VGI), Ljubljana in Inštituta za hidroiženirng Poljske akademije znanosti (IBW-PAN), Gdansk

#### 2.3.1. Pregled

Prve pilotske meritve morskih tokov v Koprskem zalivu, ki jih je opravil VGI v novembru 1983, so potrdile potrebo po temeljitih, sistematičnih



Slika 1. Območje meritev I. ekspedicije VGL in IBW-PAN

in dolgotrajnejših meritvah, ki bi omogočile zbrati dovolj hidrodinamičnih in meteoroloških parametrov za razjasnitev časovnega spreminjanja pojava.

Vsa naštetá dejstva so spodbudila Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, da je v okviru sodelovanja med Slovensko akademijo znanosti in umetnosti in Poljsko akademijo znanosti skupaj z Inštitutom za hidroiženjering iz Gdanska začel raziskovati hidrodinamične pogoje slovenskega morja. Raziskave sta sofinancirali tudi Zveza vodnih skupnosti Slovenije, Ljubljana in Območna vodna skupnost Primorske, Koper. Pri raziskavah je sodelovalo s svojimi plovili in posadko VGP Hidro, Koper. Merili so v dveh ekspedicijah, in sicer:

- od 3. septembra do 16. novembra 1984 v Koprskemu zalivu in
- od 23. maja do 23. julija v preostalem delu slovenskega morja, s posebnim poudarkom na Piranskem zalivu.





### 2.3.2. I. ekspedicija — Meritve hidrodinamičnih pogojev Koprškega zaliva

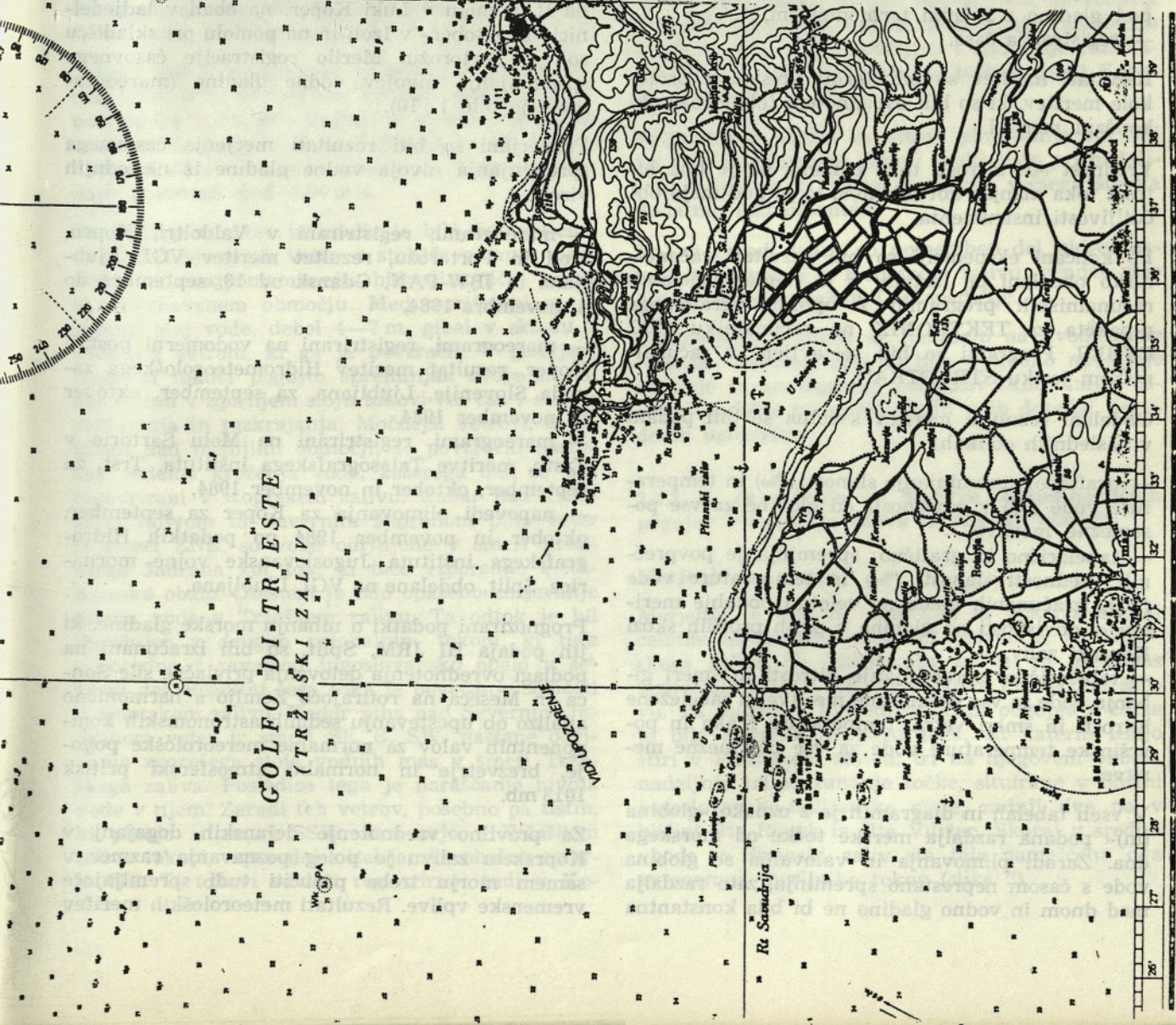
#### Merjenje na morju s čolna

Za merjenje je bilo izbranih deset lokacij, od katerih je bila prva opuščena zaradi prevelike bližine državne meje z Italijo (slika 1). Od preostalih devetih merskih točk so bile izbrane štiri primarne, na katerih so trajale meritve vsakič približno 24 ur (en plimski dan) in so bile ponovljene dvakrat v celotnem obdobju meritev. Meritve na petih sekundarnih točkah so vsakič trajale približno 12 ur in so bile ponovljene trikrat v celotnem obdobju meritev.

Pozicija vsake merske točke na morju je bila določena na dva načina:

— z uporabo dveh teodolitov in treh sprejemno — oddajnih postaj, od katerih je bila ena na čolnu, dve pa na kopnem,

Slika 2. Območje meritev II. ekspedicije VGL in IBW-PAN



— z uporabo dveh teodolitov in treh sprejemno — restična navigacija).

Polozicija merske točke je bila označena s plavajočo bojo. Nadaljnje delo je potekalo po ustaljeni shemi, ki se je ponovila vsake tri ure:

- registracija časa,
- merjenje trenutne globine morja,
- merjenje frekvence za izračun temperature in prevodnosti vode za izračun slanosti po celotni globini na medsebojnih razdaljah in z začetno meritvijo in nad dnem ter zadnjo meritvijo približno 0,15 m pod morsko gladino z uporabo kombinirane sonde (salino — termometer) z digitalnim indikatorjem,

- merjenje hitrosti vetra z ročnim anemometrom in smeri vetra z uporabo ladijskega kompasa na višini približno 2 m nad morsko gladino,

- registracija časa,
- merjenje hitrosti in smeri gibanja vode z Ekmanovim merilnikom tokov ne manj kot na petih globinah (prva meritev je bila opravljena v globini 1 m nad dnem),

- merjenje temperature vode približno 0,15 m pod gladino z ročnim termometrom,
- registracija časa.

Rezultati meritev so bili sproti vpisani v protokole meritev, ki so bili ovrednoteni takoj po vsaki končani meritvi.

Vrednost »0« hitrosti toka pomeni, da je bila hitrost toka manjša kot 0,04 m/s, to je pod mejo občutljivosti instrumenta.

Po končani ekspediciji so bili rezultati računalniško obdelani po lastnih, v ta namen izdelanih računalniških programih z uporabo grafičnega p-paketa za TEKTRONIX na računalniku CDC CYBER. Programi so bili sestavljeni v računalniškem jeziku STRUCTRAN.

Obdelani rezultati meritev s čolna so bili podani v naslednjih oblikah:

- grafično: spreminjanje slanosti (‰) in temperature vode (°C) v odvisnosti od globine za vse posamezne meritve,

- tabelarično in grafično: spreminjanje povprečnih vrednosti slanosti (‰) in temperature vode (°C), izračunanih glede na celotno obdobje meritev, v odvisnosti od globine v petih profilih skozi Koprski zaliv,

- tabelarično: spreminjanje hitrosti in smeri gibanja vode za vse posamezne meritve in zabeležene hitrosti in smeri vetra, temperature zraka in površinske temperature vode za vse posamezne meritve.

V vseh tabelah in diagramih je z oznako »globina (m)« podana razdalja merske točke od morskega dna. Zaradi plimovanja in valovanja se globina vode s časom neprestano spreminja, zato razdalja med dnem in vodno gladino ne bi bila konstantna

v celotnem času meritev niti v primeru, če bi merili na fiksni poziciji. Rahlo zanašanje čolna med meritvami in minimalno odstopanje od prvotne pozicije pri vsakem ponovnem pozicioniranju na isto točko je, poleg vpliva plimovanja in valovanja, povzročilo spreminjanje globin med meritvami. V diagramih povprečnih slanosti in temperatur so bile upoštevane povprečne globine.

Razpon izmerjenih vrednosti temperature se giblje med 16°C in 22°C, slanosti pa med 12‰ in 33‰ (zaokroženo na cele vrednosti). Največja izmerjena hitrost morskoga toka je bila 0,324 m/s. Pri tem se je hitrost vetra, izmerjena na čolnu, gibala med brezvetrjem in 14 m/s. Zaradi premajhega čolna pri močnejšem vetru ni bilo mogoče meriti.

### Merjenje s kopnega

Časovno spreminjanje nivoja morske gladine je bilo registrirano s štirimi posebej za ta namen instaliranimi mareografi na pomolu ob bolnišnici v Valdoltri, na dostopnem mostu obale za premog na II. pomolu v Luki Koper, na obali v ladjedelnici »2. oktober« v Izoli in na pomolu pri skladišču soli v Portorožu. Merilo registracije časovnega spreminjanja nivojev vodne gladine (mareogramov) je bilo 1 : 10.

Primerjani so bili rezultati merjenja časovnega spreminjanja nivoja vodne gladine iz naslednjih virov:

- mareogrami, registrirani v Valdoltri, Kopr, Izoli in Portorožu, rezultat meritev VGI, Ljubljana in IBW-PAN, Gdansk od 13. septembra do 4. novembra 1984,

- mareogrami, registrirani na vodomerni postaji Koper, rezultat meritev Hidrometeorološkega zavoda Slovenije, Ljubljana, za september, oktober in november 1984,

- mareogrami, registrirani na Molu Sartorio v Trstu, meritve Talasografskega inštituta, Trst, za september, oktober in november 1984,

- napovedi plimovanja za Koper za september, oktober in november 1984 po podatkih Hidrografskega inštituta Jugoslovanske vojne mornarice, Split, obdelane na VGI, Ljubljana.

Prognozirani podatki o nihanju morske gladine, ki jih podaja HI JRM, Split, so bili izračunani na podlagi ovrednotenja delovanja privlačne sile Sonca in Meseca na rotirajočo Zemljo s harmonično analizo ob upoštevanju sedmih astronomskih komponentnih valov za normalne mereorološke pogoje, brezvetrje in normalni atmosferski pritisk 1013 mb.

Za pravilno vrednotenje dejanskih dogajanj v Koprskem zalivu je poleg poznavanja razmer v samem morju treba proučiti tudi spremljajoče vremenske vplive. Rezultati meteoroloških meritev

na Belem Križu in v Trstu so bili zbrani v tabelah, in sicer ločeno za:

- temperaturo zraka,
- zračni pritisk,
- srednje urne hitrosti vetra (m/s), ekstremne hitrosti vetra, zabeležene v enournih intervalih (m/s), in prevladujoče smeri vetra po mednarodnih oznakah.

#### Rezultati analize podatkov, zbranih med I. ekspedicijo

Plimovanje v Koprskem zalivu spada v mešani poldnevni tip s teoretičnimi višinami najvišje plime 0,84 m in najnižje oseke 0,48 m. Med meritvami je bil registriran dnevni in poldnevni tip plimovanja (slika 3).

Lastna nihanja (seiši) v Jadranu lahko po podatkih iz literature dosežejo periodo približno 22 ur in amplitudo približno 0,5 m. Ta pojav med ekspedicijo ni bil registriran.

Spreminjanje nivoja vodne gladine zaradi spreminjanja zračnega pritiska je bilo registrirano. Velikost spremembe kaže jasno odvisnost od velikosti spremembe zračnega pritiska.

Tokovi zaradi plimovanja obstajajo v obravnavanem območju, vendar so hitrosti gibanja vode, povezane z njimi, zelo majhne in so bile pod redom velikosti natančnosti uporabljenega merilnika tokov. Približni teoretični izračun za Koprski zaliv daje vrednosti pod 0,04 m/s.

Na podlagi meritev in analiz je bilo ugotovljeno, da so tokovi zaradi vetra, s stališča gibanja morskih mas, najpomembnejši hidrodinamični pojav v obravnavanem območju. Med meritvami se je zgornji sloj vode, debel 4—7 m, gibal v skladu z lokalnim vetrom, ki ga je povzročil. V globljem sloju so tokovi pogosto spreminjali svoje smeri, ker so bili v zgornjem sloju tokovi ves čas v stanju nastajanja in razkrajanja. Močnejši vetrovi, ki so pihali nad bližnjimi območji, so povzročili nastanek sistema kroženja vode, katerega deli so bili registrirani v Koprskem zalivu. Kadar nad Tržaškim zalivom in Severnim Jadranom piha veter iz smeri ENE, so vode odrinjene v smeri Srednjega Jadrana kot tok, ki teče vzporedno z italijansko obalo. Obenem je bilo opaženo zniževanje nivoja vode v Tržaškem zalivu. Ta odtok je bil dopolnjen z drugim priobalnim tokom, ki teče vzporedno z zavetrno jugoslovansko obalo v severni del. Rezultat tega toka je povečanje slanosti v Koprskem zalivu. Kadar piha nad Severnim Jadranom veter iz smeri SE, S, SW, nastane odriavanje zgornjega sloja vodnih mas v smeri Tržaškega zaliva. Posledica tega je naraščanje nivoja vode v njem. Zaradi teh vetrov, posebno pa tistih, ki pihajo iz smeri SSW, nastanejo v Tržaškem zalivu tokovi, vzporedni z italijansko obalo s smerjo NE. Ti tokovi so bili registrirani tudi v Ko-

prskem zalivu. Hkrati se slanost vode v Koprskem zalivu zmanjša zaradi dotoka sladke vode iz izlivov italijanskih rek.

Rezultati meritev so povezani z izbranim obdobjem raziskav in so sezonski. Za njihovo posplošitev je treba ugotoviti stopnjo verjetnosti pojavljanja registriranih pojavov.

Med ekspedicijo je bil ugotovljen prevladujoči vpliv vetra na tokove v Koprskem zalivu. Podatki o registriranem vetru iz Trsta in z Belega Križa se medsebojno razlikujejo, prav tako pa se razlikujejo tudi od rezultatov terenskih meritev vetra v Koprskem zalivu. Zato priporočamo instaliranje stalnega anemografa na obali.

Ker so se tokovi zaradi plimovanja pokazali kot manj pomembni, v nadaljnjih raziskavah ni potrebno meriti v 24-urnih ciklih.

Da bi dobili natančnejše informacije o celotnem območju tokov, vključno s tistimi, ki imajo hitrosti manjše od 0,04 m/s, je treba uporabiti natančnejše instrumente.

Med I. ekspedicijo je bilo ugotovljeno, da zunanji cirkulacijski sistem vpliva na notranjo cirkulacijo v zalivu, zato je priporočljivo v nadaljnje raziskave vključiti tudi merjenja na točkah zunaj Koprškega zaliva.

Registrirana oblika in višina plimovanja sta bili na vseh mareografi skoraj enaki, zato pri nadaljnjih meritvah ni treba instalirati večjega števila dodatnih instrumentov.

Valovi zaradi vetra so pomemben del hidrodinamičnih dogajanj v Koprskem zalivu, vendar niso bili predmet raziskav I. ekspedicije.

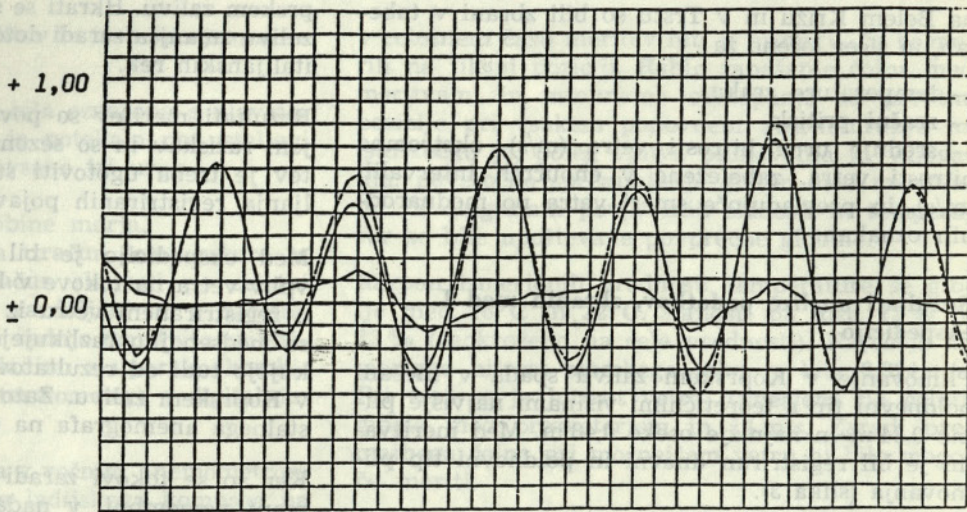
Ugotovljeni rezultati se nanašajo na dvomesečne terenske meritve, zato bi bilo potrebno nadaljnje zbiranje in analiziranje podatkov skozi daljše časovno obdobje ob upoštevanju vseh dosedaj navedenih ugotovitev.

#### 2.3.3. II. ekspedicija — Meritve hidrodinamičnih pogojev Piranskega zaliva in bližnjih območij

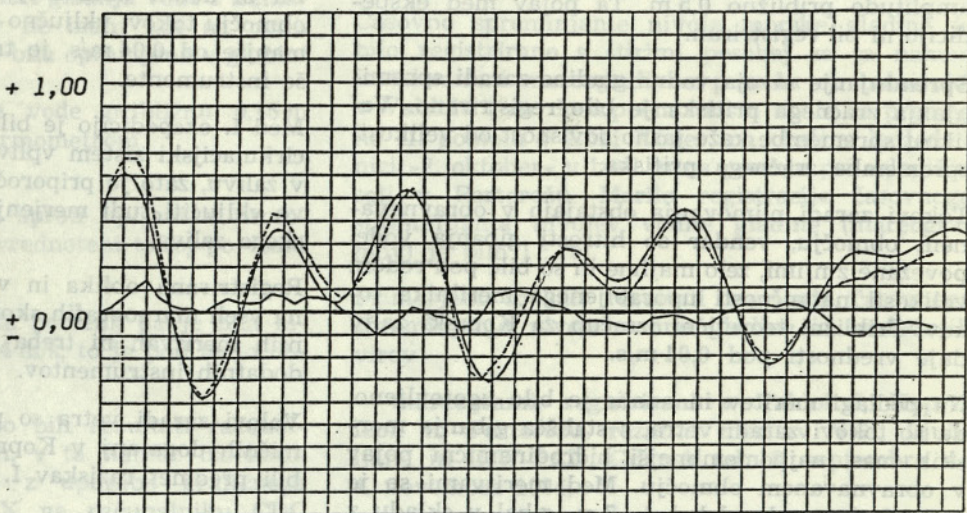
##### Merjenje na morju

Merjenje je bilo na območju, ki pokriva skoraj celotne teritorialne vode SR Slovenije, od Koprškega zaliva do Piranskega zaliva, in ozek pas teritorialnih voda SR Hrvatske v Piranskem zalivu. Za merjenje hidrodinamičnih pogojev s čolna je bilo izbranih dvanajst točk, od katerih ležijo štiri v Piranskem zalivu, tri na njegovem vhodu, nadaljnje tri so zunanje točke, situirane v bližini jugoslovansko-italijanske meje, zadnji dve pa v bližini Rta Ronek in Rta Viližan. Skoraj v sredini vhoda v Piranski zaliv sta bila nameščena dva avtonomna merilnika tokov (slika 2).

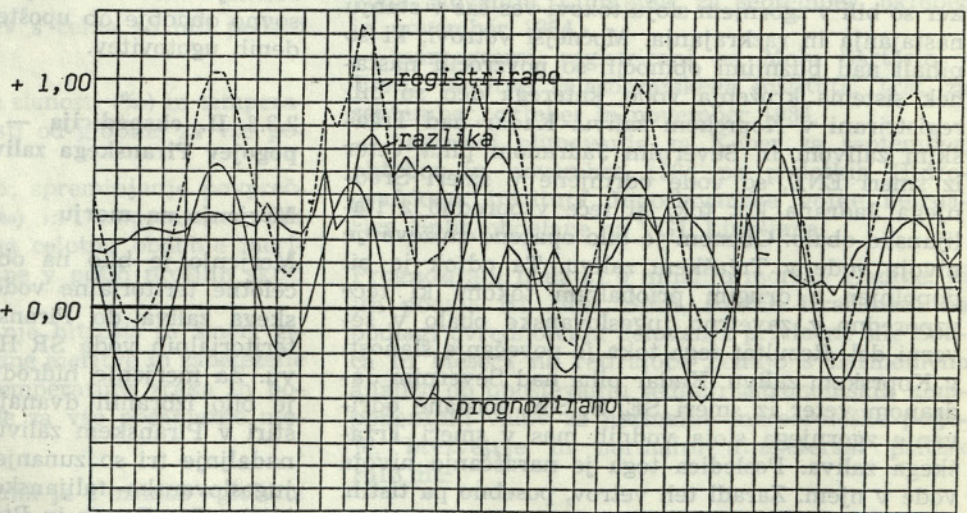




Poldnevni tip plimovanja



Mešani dnevni tip plimovanja



Plimovanje med neurjem 23. septembra 1984 - Koper

Slika 3.

Povprečna globina morja v raziskovanem območju je približno 22 m, razen v bližini Rta Savudrija, kjer morje doseže globine do 40 m. Za sam Piranski zaliv so značilne manjše globine vode. Spreminjajo se od 25 m na vhodu v zaliv do globin, manjših od 10 m na notranjem koncu zaliva. Širina Piranskega zaliva, merjena med Rtom Savudrija in Rtom Madona, je približno 5 km, dolžina, merjena na južnem delu, pa je približno 7 km. Meritve s čolna so potekale na dveh sosednjih merskih točkah v vsakem merskem dnevu. Meritve na vsaki merski točki so bile na splošno vsake tri ure v merskem dnevu in so bile na splošno ponovljene na vsaki točki štirikrat (štiri merske dni, štiri oziroma pet meritev dnevno). Na točkah 1, 2, in 11 so bile zaradi njihove velike medsebojne oddaljenosti meritve na vsaki točki le dvakrat dnevno in so bile ponovljene trikrat v celotnem obdobju II. ekspedicije. Shema poteka merjenja je bila podobna kot med I. ekspedicijo v Koprskem zalivu.

Za permanentno registracijo tokov sta bila uporabljena dva avtonomna merilnika Inter Ocean System, model M-135. Pod vodo sta bila instalirana v posebni jekleni konstrukciji in sidrana na dno z betonskimi bloki, lebdeči položaj v izbranih globinah pa sta jima omogočali potopljeni boji. Pozicija obeh instrumentov je bila označena z osvetljeno navigacijsko bojo izdelano posebej za ta namen; ta je oddajala svetlobne signale, predpisane od Luške kapitanije Koper, saj sta bila instrumenta na območju intenzivnega pomorskega prometa. Instrumenta je montiral na podvodni konstrukciji potapljač, ki je sodeloval tudi pri rednem menjavanju kaset in baterij v obeh instrumentih enkrat tedensko. Prvi avtonomni merilnik tokov CM 1 je bil instaliran 16 m nad dnom, drugi CM 2 pa 5 m nad dnom. Izmerjena globina vode na mestu instaliranja instrumentov je znašala približno 21,5 m. Razdalja med instrumentoma je bila približno 25 m. Permanentne meritve na CM 1 so trajale od 23. maja do 23. julija 1986, na CM 2 pa od 28. maja do 23. julija 1986. S CM 1 so bili registrirani trije parametri: hitrost in smer toka ter globina vode od površja do senzorja, ki je na osnovi merjenja pritiska registriral dolgoperiodično spreminjanje nivoja vodne gladine. S CM 2 sta bila registrirana le dva parametra, in sicer hitrost in smer toka. Registracije so bile izvedene v digitalni obliki na magnetnih trakovih v kasetah. Za branje, preverjanje, prenašanje in kopiranje zapisov s kaset je bil izdelan poseben računalniški sistem, ki je bil uporabljen tudi za tiskanje rezultatov.

### Merjenje s kopnega

Glede na ugotovitve pri analiziranju rezultatov I. ekspedicije je bil instaliran le en dodatni mareograf, in sicer na pomolu HP »Droge« ob skladišču soli v Portorožu.

Za primerjavo so bili zbrani še podatki o prognoziranem plimovanju v Kopru za obdobje maj—julij 1986 in registracija dejanskega nihanja vodne gladine, zabeležena na vodomerni postaji v Kopru.

Za kasnejšo analizo rezultatov lastnih meritev so bile zbrane še dodatne informacije z opazovalnice Beli Križ pri Hidrometeorološkem zavodu Slovenije za obdobje maj—julij 1986, in sicer:

- temperatura zraka,
- zračni pritisk,
- povprečne in največje urne vrednosti hitrosti vetra s prevladujočimi smermi po mednarodnih oznakah,
- nižinske sinoptične karte Sredozemlja in Srednje Evrope.

Rezultati, zbrani med II. ekspedicijo, se še analizirajo, analiza pa bo predvidoma končana do marca 1988.



**Vodnogospodarski inštitut**  
p. o.

### 3. SKLEPI

Končno stopnjo določitve hidrodinamičnih pogojev pomeni izdelava matematičnega modela. Z meritvami je bilo dokazano, da je slovensko morje nedeljiv del Tržaškega zaliva, zato bi bilo treba najprej izdelati matematični model Severnega Jadrana in rezultate tega modela upoštevati kot robne pogoje pri izdelavi matematičnega modela slovenskega morja ali še ožje, Koprškega oziroma Piranskega zaliva. Zaradi velike spremenljivosti vplivnih faktorjev mora biti matematični model zasnovan tridimenzionalno.

Tridimenzionalni model hidrodinamičnih pogojev bi skupaj s podatki o kakovosti vode omogočil organizirano urejanje tehničnih in ekoloških problemov v slovenskem morju. Za doseg tega cilja pa bosta potrebna nadaljnje zbiranje in analiziranje podatkov. Idealna priložnost za to se ponuja v sklopu monitoringa Severnega Jadrana. V meritve, ki jih sofinancira tudi SR Slovenija, bi bilo treba vključiti tudi slovenske raziskovalne organizacije, območje meritev pa razširiti proti severu tako, da bi te zajele tudi Tržaški zaliv.

**Literatura**

1. Defant, A.: Physical Oceanography. Pergamon Press, Oxford, 1961.
2. Pomorska enciklopedija. Jugoslovanski leksikografski zavod, Zagreb, 1981.
3. Tonin, V., Walkowiak, A.: The Report of the Measurements of the Hydrodynamical Conditions of Koper Bay and Adjacent Areas. Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, Instytut Budownictwa Wodnego, PAN, Gdansk. Ljubljana, 1984.
4. Tonin, V.: Študija morskih tokov na območju slovenske obale, II. faza. Poročilo o delu za leto 1984. Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, 1985.
5. Tonin, V., Walkowiak, A.: The Final Report of the Hydrodynamical Conditions of Koper Bay with Adjacent Areas. Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, Instytut Budownictwa Wodnego, PAN, Gdansk. Ljubljana, 1985.
6. Tonin, V., Walkowiak, A.: The Report of the Measurements of Hydrodynamical Conditions of Piran Bay and Adjacent Areas. Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, Instytut Budownictwa Wodnego, PAN, Gdansk. Ljubljana, 1986.

**Matematično modeliranje turbulentne difuzije**

UDK 532.5:51:504.06

RUDI RAJAR, MATJAZ ČETINA

**Povzetek**

Opisan je matematični model za račun dvodimenzijskih turbulentnih tokov z osnovnimi enačbami, robnimi pogoji in s. t. i. modelom turbulence  $k - \epsilon$ . Opisana sta tudi oba primera uporabe, in sicer tok v vertikalnem prerezu jezera z dotokom in iztokom ter tok v horizontalnem sloju Blejskega jezera. Za prvi primer je podana primerjava računskih rezultatov z meritvami na hidravličnem modelu, za drugi primer pa z meritvami tokov v Blejskem jezeru.

**MATHEMATICAL MODELLING OF TURBULENT DIFFUSION****Summary**

Mathematical model for simulation of twodimensional turbulent flow is described (basic equations, boundary conditions and turbulence model  $k - \epsilon$ ). Two examples of its use are presented: flow in a vertical cross-section of a lake with inflow and outflow and circulation in a horizontal layer of lake Bled. Measurements of flow on a hydraulic model was available for the first case and measurements in nature for the second case, which were both used for the verification of the mathematical model.

**1. UVOD**

Opisali smo že (lit. 1) splošno problematiko modeliranja turbulentnih tokov, predvsem pa nujnost uporabe takih modelov pri določanju širjenja odpadka ali hladilne vode v rekah, jezeru ali morju in tudi pri računanju širjenja dima v ozračju.

Tu bomo prikazali osnovne enačbe za matematični model, predvsem pa bomo na dveh primerih prikazali verifikacijo njegovih rezultatov z meritvami na hidravličnem modelu oziroma v naravi (Blejsko jezero). Po francoskem vzoru smo za oba primera uporabljali enak oziroma samo preoblikovan matematični model, čeprav gre pri prvem za dvodimenzijski tok v vertikalnem preseku, pri drugem pa za tok v tlorisu. Tak splošni pristop omogoča uporabo istega programa (z manjšimi spremembami) za reševanje večjega števila razmeroma zelo različnih problemov. Preizkusili in primerjali

smo tudi točnost dveh različnih modelov turbulence ( $\mu_{ef} = \text{konst.}$  in model  $k - \epsilon$ ).

Opisani matematični model smo izdelali v letih 1983—1985 v okviru raziskav pri Raziskovalni skupnosti Slovenije (lit. 2).

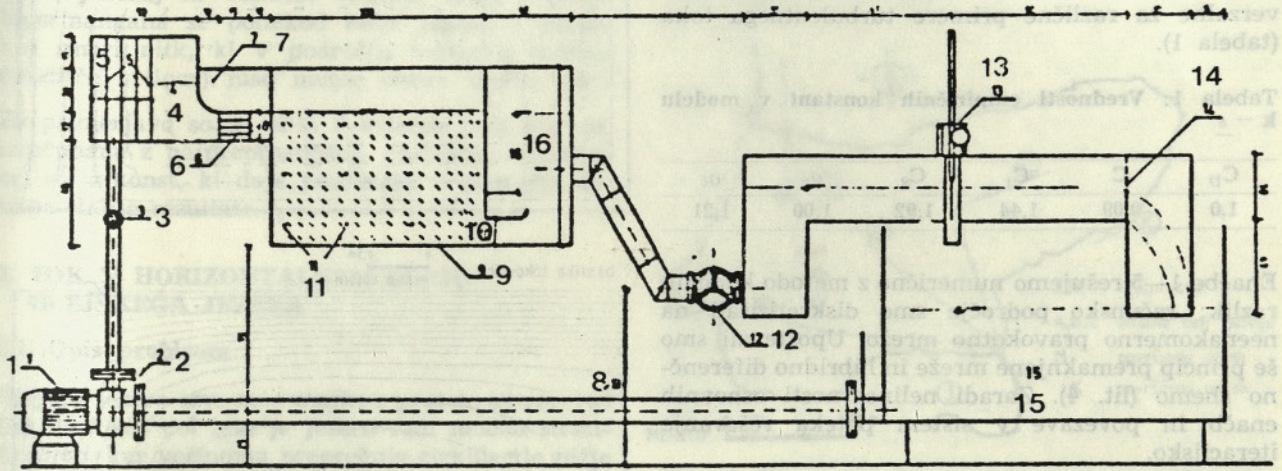
**2. TOK V HIDRAVLIČNEM MODELU****»TURBULENCA«****2.1. Opis hidravličnega modela**

V letu 1984 smo v Laboratoriju za mehaniko tekočin FAGG izdelali preprost hidravlični model za verifikacijo matematičnega modela turbulentnega toka (lit. 2, 3); shema modela je prikazana na sliki 1. Smeri hitrosti smo merili na najpreprostejši način, tj. z nitkami, pritrjenimi na žici in odmaknjenimi okrog 2 cm od stene modela. V področju majhnih hitrosti ta način ni dal zadovoljivih rezultatov (nitke niso mogle slediti toku), zato smo način meritve dopolnili s fotografiranjem barvila (hipermangana).

**Avtorja:**

Matjaz Četina, dipl. inž. gradb., in prof. dr. Rudi Rajar, dipl. inž. gradb.

Za primer s povprečno hitrostjo na vtoku in iztoku  $\bar{u} = 0,5$  m/s smo izmerili še velikosti hitrosti na vtoku (levo zgoraj) in iztoku (desno spodaj) modela in jih uporabili za robne pogoje v matematičnem modelu. Pretok skozi model smo merili posredno z merskim prelivom.



- 1 Elektromotor
- 2 Črpalka
- 3 Ventil za uravnavanje dotoka
- 4 Umirjevalec
- 5 Umirjevalne mreže
- 6 Umirjevalno satovje
- 7 Prostor za ventilacijo
- 8 Vtok v model

- 9 Polje, kjer opazujemo hitrosti
- 10 Iztok iz modela
- 11 Odprtine za doziranje hipermangana
- 12 Ventil za uravnavanje iztoka
- 13 Ostno merilo
- 14 Thomsonov preliv
- 15 Rezervoar za vodo
- 16 Pomožni bazen

Slika 1. Shema hidravličnega modela »Turbulenca«

2.2. Osnovne enačbe matematičnega modela in metoda reševanja

Upoštevali smo osnovne enačbe v dvodimenzionalni ravnini x-z (vertikalna ravnina):

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad \dots 1$$

$$\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} \quad \dots 2$$

$$\frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} - \rho g \quad \dots 3$$

$$\frac{\partial(\rho uk)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho wk)}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \sigma_k \frac{\partial k}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \sigma_k \frac{\partial k}{\partial z} \right) = G - C_D \rho \epsilon \quad \dots 4$$

Dopolnilni relaciji:

$$G = \frac{\mu_{ef}}{\rho} \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right\} \quad \dots 6$$

$$\mu_{ef} = \mu + \mu_t = \mu + C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad \dots 7$$

Pomen oznak: u — komponenta hitrosti v smeri x, w — komponenta hitrosti v smeri z, ρ — gostota tekočine, g — zemeljski pospešek, P = p +  $\frac{2}{3} \rho k$  (modificiran pritisk, p — statični pritisk), k — turbulentna kinetična energija, ε — disipacija

turbulentne kinetične energije, μ<sub>t</sub> — dinamični koeficient turbulentne viskoznosti, G — produkcija turbulentne kinetične energije k, C<sub>D</sub>, C<sub>μ</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, σ<sub>k</sub>, σ<sub>ε</sub> — empirične konstante (tabela 1).

Enačba 1 je kontinuitetna, enačbi 2 in 3 sta dinamični (v smeri x in z), enačba 4 je transportna enačba za k in enačba 5 transportna enačba za ε. Enačbi 4 in 5 ter dopolnilni relaciji 6 in 7 so t.i. model turbulence k — ε. Vpliv pulzacij na srednje

vrednosti zajamemo preko koeficienta efektivne viskoznosti, katerega razpored v polju računamo na podlagi razporeda turbulentne kinetične energije  $k$  in disipacije  $\varepsilon$ . Čeprav si moramo še vedno pomagati z empiričnimi koeficienti, je bistvena prednost modela  $k - \varepsilon$  v primerjavi s preprostejšimi (model  $\mu_{ef} = konst.$ , model Prandtlove mešalne dolžine) ta, da so te empirične konstante univerzalne za različne primere turbulentnega toka (tabela 1).

Tabela 1: Vrednosti empiričnih konstant v modelu  $k - \varepsilon$

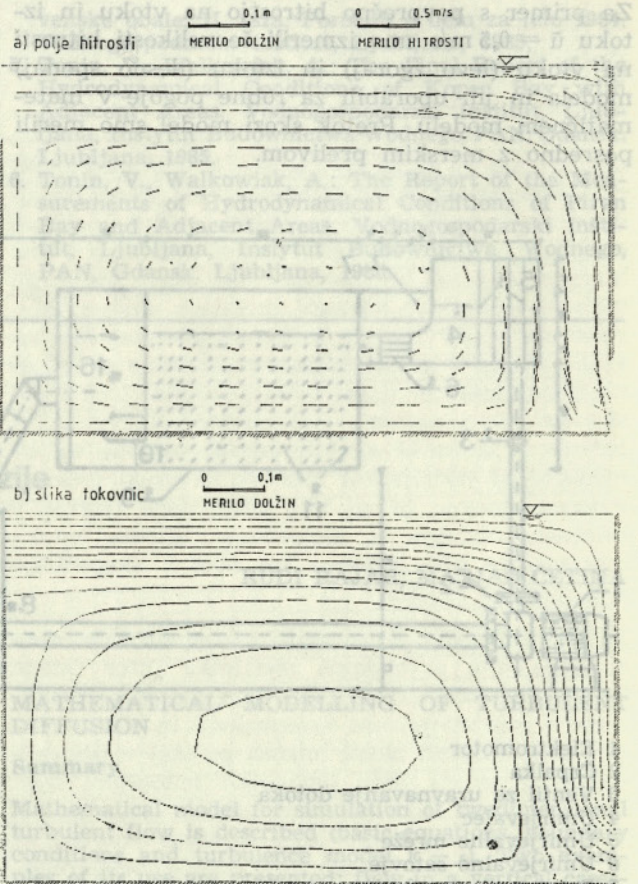
$C_D$	$C$	$C_1$	$C_2$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$
1,0	0,09	1,44	1,92	1,00	1,21

Enačbe 1—5 rešujemo numerično z metodo končnih razlik; računsko področje smo diskretizirali na neenakomerno pravokotno mrežo. Upoštevali smo še princip premaknjene mreže in hibridno diferencno shemo (lit. 4). Zaradi nelinearnosti osnovnih enačb in povezave v sistem poteka reševanje iteracijsko.

**2.3. Mejni pogoji:** na vtoku in iztoku smo upoštevali izmerjene hitrosti na modelu, prosto gladino smo v prvi aproksimaciji obravnavali kot simetrično ravnino, vpliv sten pa smo zajeli prek univerzalnega stenskega zakona:

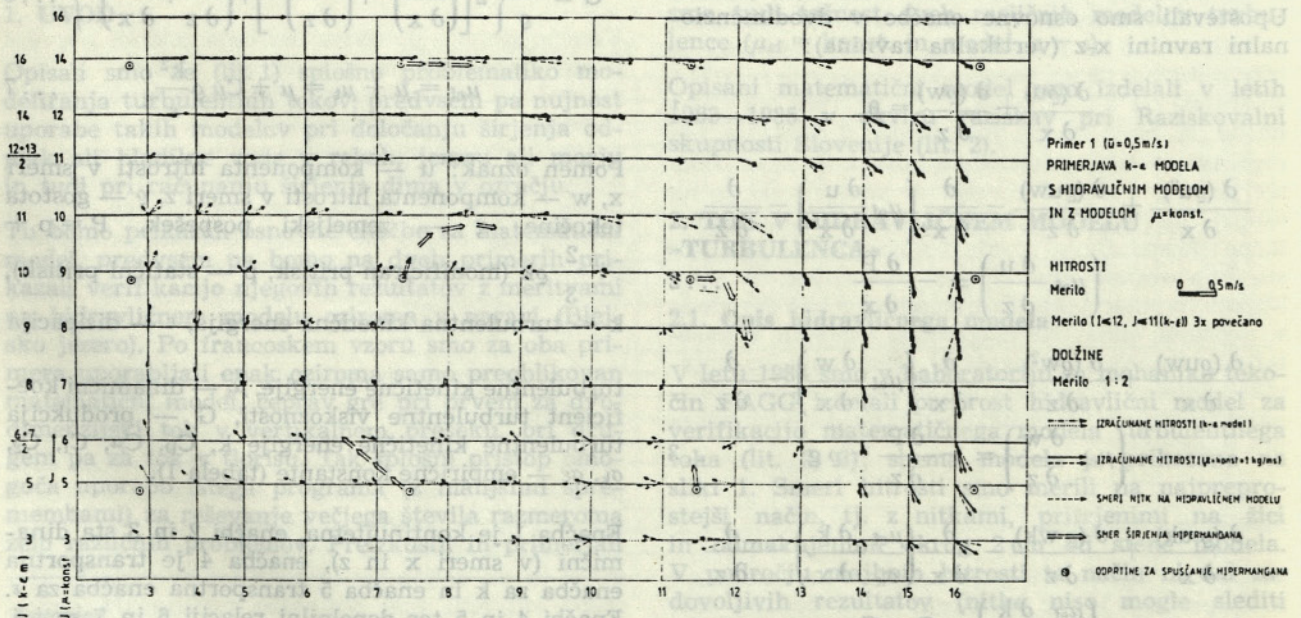
$$u_p = u_\tau \frac{1}{\kappa} \ln \left[ E \cdot \frac{\rho Z_p u_\tau}{\mu} \right] \quad \dots 8$$

Pomen oznak:  $u_p$  — hitrost v točki P, oddaljeni  $Z_p$  od stene,  $u_\tau$  — strižna hitrost ob steni ( $u_\tau =$



Slika 2. Računska slika hitrostnega polja v modelu »Turbulenca« ( $\bar{u} = 0,5 \text{ m/s}$ )

$\tau_s/d$ ),  $\kappa$  — von Kármánova konstanta ( $\approx 0,42$ ),  $E$  — funkcija hrapavosti stene (za gladke stene  $E \approx 10$ ).



Slika 3. Primerjava modela  $k - \varepsilon$  s hidravličnim modelom in z modelom  $\mu_{ef} = konst.$

### 2.4. Rezultati

Reynoldsovo število toka je v tem primeru  $7,5 \cdot 10^4$ . Na sliki 2 a je prikazano izračunano hitrostno polje, na sl. 2 b pa izračunana slika tokovnic. Primerjava merjenih in računanih rezultatov je podana na sliki 3. Ujemanje je razmeroma dobro, zlasti položaj in velikost vrtinca. Smer širjenja hiperamangana se ponekod bolje ujema z računi kot smeri nitk, ki v področju majhnih hitrosti (središče vrtinca) niso mogle dobro slediti toku.

Za primerjavo so na sliki 3 vrisane tudi hitrosti, izračunane z najpreprostejšim modelom turbulence,  $\mu_{ef} = konst$ , ki daje predvsem v področju vrtinca slabše rezultate.

### 3. TOK V HORIZONTALNEM SLOJU BLEJSKEGA JEZERA

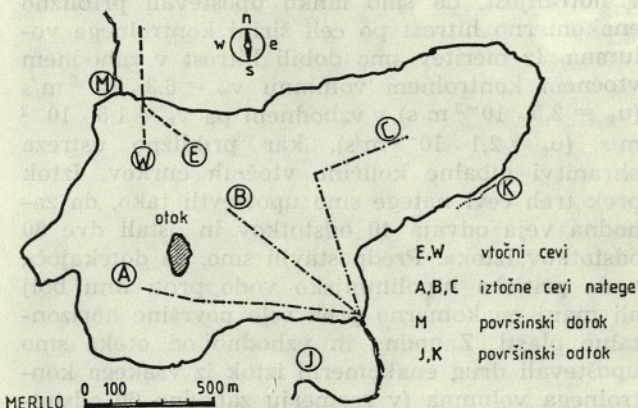
#### 3.1. Opis problema

Blejsko jezero ima zelo majhen pretok (okrog 100 l/s). Več kot pol leta je jezero tudi močno stratificirano, kar večinoma preprečuje cirkulacijo nižje plasti jezera (hipolimniji), zato se je že pred 20 leti pojavil problem eutrofikacije. Eden od ukrepov za rešitev jezera je bil ta, da so iz Radovne dovedli v jezero svežo vodo, bogato s kisikom. Pred vtokom v jezero se cev razdeli na dve veji. Dotok je nekaj sto litrov na sekundo, odvisno od hidroloških pogojev. Kasneje so na dnu jezera namestili še tri cevi, ki prek natege z dna jezera odvajajo vodo najslabše kakovosti. Maksimalna kapaciteta cevi natege je 380 l/s (sl. 4).

Da so določili vpliv teh ukrepov so leta 1983 merili hitrosti v jezeru; tako so določili cirkulacijo v jezeru, ki je rezultat umetnega dotoka in iztoka (lit. 5).

Cirkulacijo so skušali ugotoviti tako, da so skozi obe vtočni cevi uvajali indikator (rodamin B) in v naslednjih dneh spremljali njegovo širjenje po

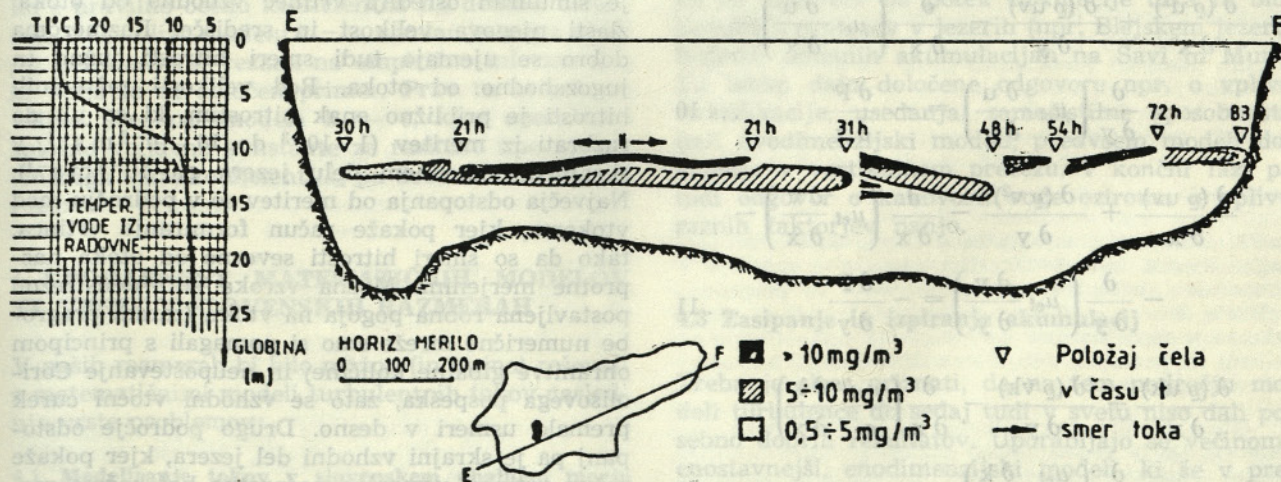
jezeru. Med meritvijo praktično ni bilo vetra. Meritve so bile dobro izvedene in rezultati, to je slika cirkulacije v jezeru, so bili zelo uporabni za primerjavo z rezultati matematičnega modela. Slabše pa smo lahko definirali robne pogoje, ki jih potrebujemo v matematičnem modelu kot podatke, saj so ti pravzaprav vzrok gibanja vode.



Slika 4. Shema jezera in mejni pogoji

Iz meritev smo povzeli nekaj sklepov, na podlagi katerih smo koncipirali matematični model in postavili mejne pogoje:

a) Zaradi močne in stabilne stratifikacije (temperatura epilimnija je okrog  $25^{\circ}\text{C}$ , hipolimnija pa okrog  $8^{\circ}\text{C}$ ) se dovedena sveža voda iz Radovne, ki ima temperaturo okoli  $10^{\circ}\text{C}$ , praktično ne meša niti s hipolimnijsko niti z epilimnijsko vodo. Bolj ali manj teče v horizontalni plasti debeline 2 do 3 m (v globini, ki ustreza gostoti in temperaturi dovedene sveže vode iz Radovne). Razmere so razvidne iz sl. 5, kjer je prikazan vertikalni prerez jezera z rezultati meritev. Tok smo lahko zato razmeroma dobro simulirali z dvodimenzijskim matematičnim modelom (v tlorisni ravnini).



Slika 5. Vertikalni prerez jezera z rezultati meritev

b) Kontinuiteto dotoka in iztoka smo v mejne pogoje matematičnega modela vgradili na naslednji način: hitrost na iztoku zahodne cevi je bila  $0.70 \text{ ms}^{-1}$ , na iztoku vzhodne pa  $0.53 \text{ ms}^{-1}$  (med poskusom je bil dotok skozi vzhodno vejo  $150 \text{ l/s}$ , skozi zahodno pa  $50 \text{ l/s}$ ). Ker so bile dimenzije numerične mreže (kontrolnih volumnov) razmeroma velike, smo točno mejo toliko premaknili v notranjost, da smo lahko upoštevali približno enakomerno hitrost po celi širini kontrolnega volumna. Iz meritev smo dobili hitrost v zahodnem vtočnem kontrolnem volumnu  $v_w = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  ( $u_w = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ), v vzhodnem pa  $v_e = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$  ( $u_e = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ ), kar približno ustreza ohranitvi gibalne količine vtočnih curkov. Iztok prek treh cevi natege smo upoštevali tako, da zahodna veja odvaja 40 odstotkov in ostali dve 60 odstotkov iztoka. Predpostavili smo, da dotekajoča voda pritiska hipolimnijsko vodo proti dnu bolj ali manj enakomerno prek cele površine horizontalne plasti. Zahodno in vzhodno od otoka smo upoštevali drug enakomerni iztok iz vsakega kontrolnega volumna (v razmerju zahodno 60 odstotkov iztoka, vzhodno 40 odstotkov iztoka).

c) Zaradi težav s stabilnostjo računa v osnovnih enačbah za zdaj nismo upoštevali členov Coriolisovega pospeška zaradi vrtenja zemlje.

d) Ker računamo cirkulacijo v globini 9 do 12 m, v računih nismo upoštevali slabo definirane površinskega dotoka in odtoka.

### 3.2. Osnovne enačbe matematičnega modela in metoda reševanja

Uporabili smo osnovne enačbe v dvodimenzijem prostoru  $x$ - $y$  (horizontalna ravnina):

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \rho q = 0 \quad \dots 9$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \\ - \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} \quad \dots 10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \\ - \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} \quad \dots 11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho uk)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vk)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) - \\ - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) = G - C_D \rho \varepsilon \quad \dots 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \varepsilon)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) - \\ - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) = C_1 \frac{\varepsilon}{k} \rho G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad \dots 13 \end{aligned}$$

Dopolnilni relaciji:

$$\begin{aligned} G = \frac{\mu_{ef}}{\rho} \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \right. \\ \left. + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right\} \quad \dots 14 \end{aligned}$$

$$\mu_{ef} = \mu + \mu_t = \mu + C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \dots 15$$

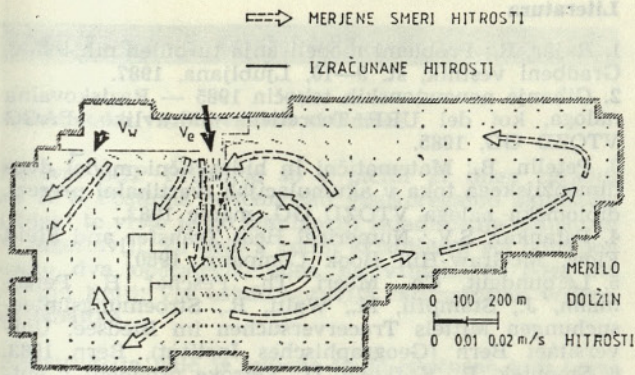
Pomen oznak:  $u$  — komponenta hitrosti v smeri  $x$ ,  $v$  — komponenta hitrosti v smeri  $y$ ,  $q$  — iztok iz kontrolnega volumna na enoto površine v vertikalni smeri ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )/ $\text{m}^2$ . Pomen ostalih oznak je enak kot v enačbah 1—7. Empirične konstante so podane v tabeli 1.

Numerično reševanje enačb poteka analogno kot v primeru I. Tipična dimenzija kontrolnih volumnov je  $70 \text{ m}$  (smer  $x$ )  $\times$   $50 \text{ m}$  (smer  $y$ ), v področju vzhodnega vtoka pa je mreža v smeri  $x$  približno 4-krat gostejša.

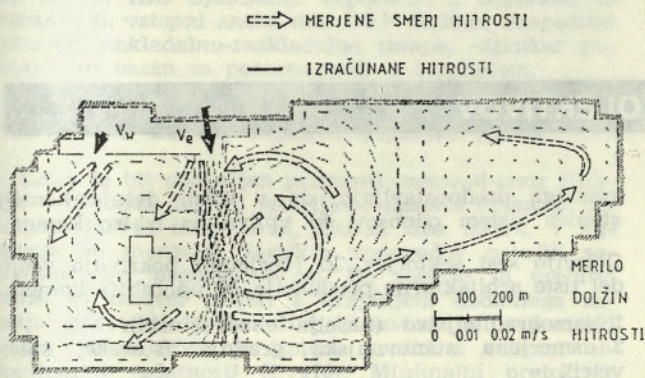
Poleg že omenjenih robnih pogojev na vtoku (in ob upoštevanju iztoka preko cele površine) smo za vzdolžno hitrost ob stenah upoštevali univerzalni stenski zakon (enačba 8), za prečno hitrost pa vrednost 0.

### 3.3. Rezultati

Računsko sliko hitrostnega polja in primerjavo z merjenimi tokovi v jezeru kaže slika 6. Zelo dobro je simuliran osrednji vrtinec vzhodno od otoka, zlasti njegova velikost in središče. Razmeroma dobro se ujema tudi smeri hitrosti južno in jugozahodno od otoka. Red velikosti računanih hitrosti je približno enak hitrostim, ki se jih da razbrati iz meritev ( $1 \cdot 10^{-3}$  do  $10 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ , v skrajnem vzhodnem delu jezera pa  $10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ ). Največja odstopanja od meritev so v področju med vtokoma, kjer pokaže račun formiranje vrtinca, tako da so smeri hitrosti severno od otoka nasprotne merjenim. Možna vzroka sta: neustrezno postavljena robna pogoja na vtoku (zaradi pregrobe numerične mreže smo si pomagali s principom ohranitve gibalne količine) in neupoštevanje Coriolisovega pospeška, zato se vzhodni vtočni curek premalo usmeri v desno. Drugo področje odstopanj pa je skrajni vzhodni del jezera, kjer pokaže račun vrtinec, usmerjen nasprotno kot kažejo meritve.



Sl. 6. Računska slika hitrostnega polja (model  $k - \epsilon$ ) in primerjava z meritvami



Sl. 7. Računska slika hitrostnega polja (model  $\mu = \text{konst.} = 1000 \text{ kg/ms}$ ) in primerjava z meritvami

Za primerjavo, kakšen napredek oz. boljše rezultate smo dobili z vgraditvijo modela turbulence  $k - \epsilon$ , sta na sliki 7 prikazana računsko polje hitrosti, dobljeno s preprostejšim modelom,  $\mu_{ef} = \text{konst.}$  (upoštevali smo vrednost  $\mu_{ef} = 1000 \text{ kg/ms}$ , dobljeno na podlagi empiričnih izkušenj iz lit. 6), in primerjava z meritvami. Ujemanje je precej slabše kot pri modelu  $k - \epsilon$ . Kasnejši računi so sicer pokazali, da lahko s pravilno oceno koeficienta  $\mu_{ef}$  dobimo rezultate, ki so blizu modelu  $k - \epsilon$ , vendar je ocena koef.  $\mu_{ef}$  nezanesljiva, vezana na empirično informacijo, ki velja le za določen primer. Prav tu se pokaže velika prednost modela  $k - \epsilon$ , kjer uporabimo splošno veljavne konstante za različne tipe turbulentnega toka, koeficient  $\mu_{ef}$  pa dobimo kot rezultat računa.

#### 4. UPORABNOST MATEMATIČNIH MODELOV TE VRSTE V SLOVENSkih RAZMERAH

V naših razmerah bi bilo možno (in nujno) reševati z matematičnimi modeli turbulentnih tokov naslednje vrste problemov:

##### 4.1. Modeliranje tokov v slovenskem obalnem morju (Koprski, Piranski zaliv)

Cilj takega modeliranja je v glavnem že opisan v literaturi 1: v ožjem, konkretnem smislu gre za določanje najugodnejših lokacij podmorskih izpustov ter za določanje nujne stopnje čiščenja pred izpustom odpadnih voda v morje glede na dopustne koncentracije onesnaženosti. V širšem smislu pa gre za celotno ekološko, pa tudi tehničnoekonomsko reševanje slovenskega obalnega morja z zaledjem vred. Tu bi dvodimenzijski matematični model lahko rabil le za prve informacije, kajti čeprav gre za razmeroma zelo plitva področja, pa bo treba upoštevati vpliv razpreditve hitrosti po globini, delno pa tudi stratifikacije, za kar bo potreben najmanj t. i. kvazi-tridimenzijski večslojni ( $\gg$  multilayer $\ll$ ) model. Na zunanjem robu zalivov je treba upoštevati splošno cirkulacijo v Severnem Jadrnu (mejni pogoji), tako da bo treba najprej izdelati »generalni model« cirkulacije v Severnem Jadrnu, nato pa iz njega dobiti mejne pogoje za »detajlne modele« zalivov. Vodnogospodarski inštitut je že v letih 1984–86 meril hitrosti in druge parametre (temperature, slanost, vetrove) v tem področju, tako da bi te meritve lahko delno že rabile za verifikacijo matematičnih modelov. Vendar pa je bolje, da se začno reševati problemi tako, da se hkrati konstruira matematični model in opravijo meritve, saj često šele matematični model nakaže potrebo po dodatnih podatkih oziroma meritvah. V slovenskem morju so tokovi zelo šibki, kar je neugodno za konvekcijsko mešanje, neugodno pa je tudi za matematično modeliranje, ker je tako šibke pojave težje simulirati.

Omeniti kaže, da je treba omenjeni hidravlični model v vseh fazah razvoja nujno kombinirati s kakovostnim modelom, saj mora delo na obeh potekati simultano in povezano. Le tako bo mogoče dobiti odgovore na vsa vprašanja, ki so bistvena za kakovost slovenskega morja v prihodnje.

##### 4.2. Modeliranje tokov v jezerih in akumulacijah

Kombinirani hidrodinamično-kvalitetni model lahko da odgovore na potek cirkulacije toka in biokemičnih procesov v jezerih (npr. Blejskem jezeru, bodočih umetnih akumulacijah na Savi in Muri). Tu lahko dajo določene odgovore npr. o vplivu stratifikacije, usedanja, samočistilne sposobnosti, tudi dvodimenzijski modeli, predvsem modeli dogajanja v vertikalnem prerezu, v končni fazi pa tudi odgovor o kakovosti vode oziroma o vplivu raznih faktorjev nanjo.

##### 4.3 Zasipanje in izpiranje akumulacij

Treba je sicer priznati, da na tem področju modeli turbulence do sedaj tudi v svetu niso dali posebno dobrih rezultatov. Uporabljajo se večinoma enostavnejši, enodimenzijski modeli, ki še v precejšnji meri slonijo na iskustvenih koeficientih.



Določene odgovore pa lahko dajo ti (enodimenzij-ski ali delno dvodimenzijski) modeli glede izpiranja, npr. določitve najboljšega načina izpiranja ali pa glede ocene učinkovitosti izpiranja akumulacij, npr. prek talnih izpustov.

#### 4.4. Onesnaževanje ozračja

Francoski raziskovalci so dokazali, da se taki modeli lahko dovolj dobro uporabljajo za določanje onesnaževanja ozračja z dimom ali s paro hladilnih stolpov. V Sloveniji je nekaj kotlin (Ljubljanska, celjska) in dolin (Zasavje), kjer bi s takimi modeli lahko pripomogli k bolj učinkovitemu reševanju ekoloških problemov.

#### Literatura

1. Rajar, R.: Problemi modeliranja turbulentnih tokov, Gradbeni vestnik, št. 9—10, Ljubljana, 1987.
2. Gibanje newtonskih tekočin 1985 — Raziskovalna naloga, kot del URP Teoretična hidravlika, FAGG VTOZD GG, 1985.
3. Petelin, B.: Matematični in hidravlični model dvo-dimenzijskega toka v akumulacijah (vertikalni prerez), diplomska naloga VTOZD GG, marec 1983.
4. Patankar, S.V.: Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill Book Company, 1980.
5. Leibundgut, Ch., Moeri, Th., Peschal, H., Petermann, J., Stampfli, M., Walti, R., Stroemungsuntersuchungen Mittels Tracerversuchen im Bledsee, Universitaet Bern (Geographisches Institut), Bern 1983.
6. Smoutek, R., Kafkova, D., Vetrove proujeni v epilimnionu, Vodohospodarsky časopis, 30, 1982, čl., s. 67—81.

## IZ NAŠIH KOLEKTIVOV

### SGP KRAŠKI ZIDAR, SEŽANA

#### Vzdolžna rezalka — inovacija mladih

Pomanjkanje deviz za uvoz novih strojev je marsikatero podjetje pripravilo do tega, da so vzdrževalne skupine začele razvijati obdelovalne stroje za svoje potrebe. Po tej poti so šli tudi v tozdu Marmor in potrebna je bila velika iznajdljivost in mnogo improvizacije, da so kljub pomanjkanju orodij, priprav in strojev uspeli narediti izdelek, ki se lahko kosa z uvoženim. Ta izdelek so poimenovali vzdolžna rezalka ter obratuje že nekaj časa. Sama rezalka je koncept podobne italijanske, uporabljeni so nekateri njeni deli: motor in reduktor pogonskega bobna in glavni motor. Vsi ostali deli so narejeni v tozdu Marmor. Konstrukcija stroja je v celoti izdelana na novo, je varjene izvedbe iz pločevine — krivljenih profilov. Rezalka ima pet diamantnih diskov, od teh sta dva obrezovalna in trije rezalni. Vsi diski so hlajeni s tehnološko vodo. Teoretična kapaciteta stroja je 42 m<sup>2</sup> odpadnih plošč na uro, ki so lahko debele največ 3 cm. Rezalka reže 3 × 15 cm in 1 × 12 cm široke plošče oziroma trakove, ki se lahko dokončno obdelajo v police ali okrasni kamen. Širino trakov se da s preprostim posegom spreminjati glede na potrebe v proizvodnem procesu. Stroju strežeta dva delavca in je s čelilko, ki je bila tudi narejena v DO, pomembno dopolnilo proizvodne linije v tozdu Marmor.

#### Kamnoseštvo v sodobnem gradbeništvu

Kraški marmorji imajo za sabo skoraj 2000-letno tradicijo. Proces industrializacije, slabo nagrajevanje v kamnarstvu, težke delovne razmere — so pospešeno prelivale delavce v druge poklice, toda zvesti so ostali. Tako se je tozdu Marmor s svojimi 116 delavci uspešno vključil v razvoj gradbeništvu. Zasedenost kapacitet je zadnja leta zelo ugodna.

Pri izbiri kamna za proizvodnjo delujejo neke zakonitosti. Da bi te zakonitosti nekako opredelili, so cel korpus arhitekture (stavbarstva) razdelili na sektorje. Izberejo jih tako, da zaokrožijo neko področje, za

katerega predpostavljajo, da v njem deluje konsistenten sistem odnosov, ki vpliva na izbiro kamna.

Določijo šest sektorjev, ki (verjetno) pokrivajo večji del tiste arhitekturne produkcije, ki uporablja kamen:

1. samograditeljstvo (naselja enodružinskih hiš),
2. usmerjena stanovanjska gradnja (soseske, šole, vrtci),
3. javne zgradbe (v mestnem središču),
4. urbana oprema (trgi, pločniki, parki),
5. notranja oprema (trgovski, gostinski lokali),
6. nagrobna arhitektura.

1. V samograditeljstvu (naselja enodružinskih hiš) uporabljajo kamen predvsem zaradi njegove uporabne vrednosti (okenske police, stopnice, obrobe). Obložni kamen na fasadah pripišejo predvsem delovanju efektivnih vrednosti.

2. V usmerjeni stanovanjski gradnji (soseske, šole, vrtci) uporabljajo še manj kamna kot v samograditeljstvu. Šole in vrtci ga skoraj ne poznajo. V gradnji stanovanj pa veljajo le kriteriji uporabnosti in ekonomičnosti, saj uporabo kamna za okenske police in stopnice narekuje predvsem enostavna (to je cenen) graditev.

3. Na področju urbane opreme so bili elementi iz kamna vedno zaželeni zaradi odličnih uporabnih vrednosti (trdnost, obstojnost...).

4. Na področju javnih zgradb, zlasti tistih v mestnem središču, so po tradiciji uporabljali kamen tudi na fasadah in za oblikovanje pomembnejših prostorov v notranjosti.

5. Notranja oprema javnih lokalov (trgovski, gostinski lokali) je v zadnjem obdobju desetih let naredila odločilen napredek, ki zadeva bogatejše oblikovanje. Bogatejšim oblikam so dodali tudi bogatejše kombinacije materialov — med njimi tudi kombinacije različnih kamnov.

6. Nagrobna arhitektura (če lahko uporabljamo ta izraz) je zelo značilno področje, kjer se vsesplošno uporablja kamen.

Vir: Kraški Zidar, Sežana

**SGP PRIMORJE, AJDOVŠČINA****Avtomatsko visokoregalno skladišče**

Delavci SGP Primorje so v pičlih 27 dneh zgradili za LIV Postojna avtomatsko visokoregalno skladišče. Objekt te vrste je po tehnologiji skladiščenja edinstven v Jugoslaviji. Za delo s takim skladiščem sta potrebna samo dva operaterja, eden na vstopni in eden na iztopni liniji. Vse ostalo opravlja računalniško vodena avtomatika.

Konstrukcija hale je jeklena in je istočasno tudi regal za odlaganje boks palet z gotovimi izdelki. Tlorisna površina hale je  $55 \times 18,20$  m, višina pa 20 m. Projekt je izdelal Slovenija Projekt Ljubljana, Primorje je prevzelo gradbena in obrtniška dela, montažni del pa bo izdelal IBL Ljubljana. Vzporedno z objektom so zgradili še vstopni aneks dim.  $10 \times 18,20$  m, ekspeditni prostor, nakladalno-razkladalne rampe, »špinker postajo« in bazen za požarno vodo s črpališčem.

**Vodni izvir Hublja, bogastvo Vipavske doline**

Letos je bil obnovljen primarni vodovod-izvir Hublja — Stomaž. Na tej relaciji so delavci Primorja izkopali 4650 m dolg jarek, globok dva metra, v katerem so monterji Goriških vodovodov položili salonitne cevi premera 30 cm. Po zasutju in ureditvi trase so delavci pričeli z urejanjem dodatnega zajetja vode pri izviru. Hubelj izvira na nadmorski višini 225 m. Izvir je tipično kraški z velikim nihanjem v izdatnosti (1:170). Minimalni pretok je 50 l/sek, maksimalni pa tudi 6000 l/sek.

**Stanovanjski bloki v Ilirski Bistrici**

Nova stanovanjska soseska v Ilirski Bistrici, imenovana S-12, bo med Gubčevo ulico in vojašnico. V I. fazi so zgradili 22 stanovanj, od tega 4 enoinpolsobnih, 6 dvosobnih, 8 dvoinpolsobnih in 4 trisobna stanovanja s površino 1.273,58 m<sup>2</sup>.

V I. fazi je predvidena gradnja še nadaljnjih 16 stanovanj, in sicer 8 enoinpolsobnih in 8 dvoinpolsobnih s površino 796,80 m<sup>2</sup>.

Skupaj bo v bloku B-19 zgrajeno 38 stanovanj s površino 2071,38 m<sup>2</sup>. Gradijo z outinord tunelskimi opaži. Ker se v Ilirski Bistrici ni obnesla izvedba fasade s toplotno izolacijo po sistemu demit, se je investitor odločil za po njegovem mnenju zanesljivejšo izvedbo fasade in toplotne izolacije. Zato so projektirane čelne zapore kot sendvič zid  $12 + 5 + 12$  cm (dvojni zidak + stiropor + dvojni zidak). Na taki izvedbi zidov je fasada klasično ometana. Betonske stene (lože in stopnišče) so obložene s silikatno opeko z vmesno izolacijo iz stiropora debeline 5 cm.

Ostali detajli (obdelava sten, tlakov, ipd.) so v glavnem enaki kot pri tovrstni gradnji. Sprememba je pri detajlu vhodnih vrat v stanovanja zaradi dodatnih pogojev glede zvočne izolacije. Zahteva se, da se železni podboji vgrajujejo v betonsko steno. Vratno krilo pa naj bo sestavljeno iz mediapan ali negor plošč z uustrezno zvočno izolacijo in z vgrajeno ključavnico. Sprememba je tudi pri ogrevanju objekta v tem, da ni centralnega, temveč etažno ogrevanje.

Vir: SGP Primorje, Ajdovščina

**SCT Ljubljana****SCT-jeve drobilnice in separacije na Kubi**

Nedavno je bila na obisku v Sloveniji kubanska delegacija, ki so jo sestavljali predstavniki za gospodarstvo, tehnično-tehnološki razvoj in mednarodno sodelovanje. V delegaciji pa je bil še predsednik Consintra, konzorcija jugoslovanskih, italijanskih in švicarskih firm za skupni nastop v državah tretjega sveta. Kubanski gospodarstveniki so se najbolj zanimali za nakup drobilnic, separacij ter strojev in naprav za predelavo nekovin v keramični, kemični in steklarski industriji.

Med obiskom so si člani kubanske delegacije podrobno ogledali proizvodni proces strojev in naprav SCT. Seznanili pa so se tudi z njihovim delovanjem, predvsem zato, ker bodo kmalu rabili za proizvodnjo kamnitih agregatov in predelavo nekovin tudi na Kubi.

Hkrati so s strokovnjaki strojnega inženiringa dorekli tehnologijo ter dokončno izoblikovali kupoprodajno pogodbo.

Prav to tržišče ponuja SCT-ju tudi možnosti, da se s svojo razvejano dejavnostjo vključi v razvojni program Kube, ki je široko zastavljen. Poleg kubanskega tržišča pa konzorcij daje možnost za nastop še v tridesetih deželah latinske Amerike, Azije in Afrike.

**Montaža 5-tonskih nosilcev na južni obvoznici**

Na mostu čez potok Ižica na južni ljubljanski obvoznici so najtežji nosilci, kar so jih montažerji IBK zmontirali za objekte te obvozne ceste. Najdaljši so dolgi 25 metrov in teški 35 ton. Dela za ta nadvoz so stekla, ko so nizkogradniki pričeli urediti platoje in strugo. Na obeh straneh so položili 82 pilotov, na te pa šest plošč debeline 30 do 35 centimetrov in velikosti  $8,5 \times 3,5$  do  $13 \times 6$  metrov. Plošče stabilizirajo brežine Ižice. Dela so nadaljevali s pilotiranjem za podporne sisteme. Postavili so kar 15 nosilcev. Nanje bo položena prekladna konstrukcija, na njej pa armiranobetonska plošča. Vodna gladina je bila izjemno visoka in je sproti zalivala objekte, tako da tudi odvodnjavanje ni pomagalo. Most bo dolg 60 metrov, širok 11, po njem bo tekkel promet v obeh smereh, ob straneh pa bodo hodniki.

**Nov hotel Špik v Gozdu Martuljku**

Delavci SCT so predali investitorju nov hotel Špik v Gozdu Martuljku. Po izkopu in betoniranju kleti in pritličja (klasična armiranobetonska konstrukcija) so nadaljevali zidavo s hunebeck opaži za stanovanjski trakt A in B. Objekt je petnadstropen. V pritličju je kuhinja, restavracija ter večnamenska dvorana in posebna konferenčna soba. V nadstropjih pa so hotelske sobe s sanitarijami in 180 ležišči. Oba kraka spaja C trakt, kjer so skupni prostori, stopnišče, dvigala in dnevni prostori. Objekt je zasnovan v alpskem stilu, opremljen z naravnimi materiali (les, steklo, naravni kamen). Udobnost ga uvršča v visoko B kategorijo hotelske ponudbe. Objekt je vreden 1,4 milijarde dinarjev.

### SCT ponovno v Alžiriji in Jordaniji

V tozdu inženiring nadaljujejo z aktivnim pridobivanjem novih del v tujini. Tako gre v Alžiriji za projektiranje in izgradnjo primarnih kanalizacijskih kolektorjev in povezav do posameznih mestnih karejev s premerom 30 do 200 centimetrov v skupni dolžini 60 kilometrov. Projektiranje bo delno opravilo francosko podjetje in delno SCT. Poleg tega to delo zajema še izgradnjo velike čistilne postaje za odpadne vode (200 × 300 metrov) in ene manjše črpalne postaje ter dveh postaj za pripravo pitne vode. Vrednost znaša 62 milijonov ameriških dolarjev. Rok izvedbe, vključno s projektiranjem, je 28 mesecev.

V teku so pogajanja za gradnjo Kraljevega rekrutnega centra v bližini mesta Mafraq (Jordanija). Gre za 127 tisoč kvadratnih metrov zidanih površin v pritličjih in enonadstropnih objektih s spremljajočimi športnimi objekti, zunanjo ureditvijo in infrastruktorno mrežo. Objekti so predvideni kot armiranobetonske skeletne konstrukcije, grajene na mestu samem, zidane z betonskimi votlaki. Vse cestne površine so asfaltirane, obsegajo pa glavno dovozno dvopasovnico, komunikacijske in servisne ceste, pešpoti ter parkirišče.

Projekt Wadi Yutum — Jordanija pa obsega gradnjo novega cestnega odseka, dolgega 25,5 kilometra, ki bo namenjen preusmeritvi težkega tovornega prometa. Projekt predstavlja izgradnjo 9 kilometrov štiripasovne avtoceste, 8 kilometrov tripasovne ceste in 3,5 kilometra dvopasovne ceste s pripadajočimi priključki oziroma zunajnivojskimi križanji. V tem sklopu je treba zgraditi še 6 objektov (mostovi) iz armiranega betona.

### SCT tehnologija v tovarni Silcapor Kačanik

V Kačaniku, mestecu na vzhodu pokrajine Kosovo, je stekla proizvodnja izdelkov iz plinastega betona v novi tovarni Silcapor. Naprave za pripravo surovin kremenčevega peska in mikroniziranega živega apna so izdelali in zmontirali delavci SCT. Kremenčev

pesek je izredno azbravizen material. Pri proizvodnji izdelkov iz plinastega betona se uporablja frakcija od 0,06 do 2 milimetra. Postopek se prične z doziranjem na tračnem dozatorju. Ker so pri poskusnem obratovanju ugotovili, da je tisti, ki so ga načrtovali in montirali, premajhen (material je namreč zelo lepljiv), ga bodo zamenjali z večjim. Material gre v dva pralna valja, od tam pa na sito, kjer se po mokrem postopku preseje. Izpod sita odteka voda v konusno posodo. Pod njo je črpalka (RMP 250/200), ki jo črpa v visoko nameščeno baterijo hidrociklonov (8 × 600 LC). V teh ciklonih so pod pritiskom grobo ločita voda in pesek. Ostanek frakcije pada z vodo v klasifikator, iz njega pa pride pripravljena frakcija kremenčevega peska, ki vsebuje še 20 do 25 odstotkov vlage. Vsa uporabljena voda odteka v veliki okrogli zgoščevalnik s premerom 16 metrov. Tu ji dodajo flokulante v obliki prahu. Ti trdo materijo hitro vežejo nase in tako nastaja usedlina, ki se z muljno črpalko črpa v deponijo. Prečiščeno vodo črpajo v zbiralnik, nato pa nazaj v tehnološki proces, kjer morajo dodajati še približno 30 odstotkov sveže vode. Kremenčev pesek s trakovi transportirajo na vmesno deponijo, od tam pa v proizvodnjo.

Poleg naprav, ki so jih izdelali v tozdih strojegradnje, so uporabili še Gradisove pralne bobne, hidrocikloni pa so proizvod TOM iz Mežice. Separacija ima zmogljivost 70 ton na uro, poskusno pa je stekla 1. junija letos.

### Nagrade Mestnega sveta zveze sindikatov inovatorjem leta

Med letošnjimi nagrajenci za področje inovacijske dejavnosti so sodelavke iz SCT tozda inženiring: magistra Maja Končan-Gradnik, diplomirana inženirka Justina Lokar in kemijska tehničarka Darja Piščanec. Njihova inovacija z naslovom Razvoj in aplikativnost elastobitumenskih livo materialov je bistveno prispevala k tehnološkemu napredku SCT na področju asfaltov in se preverjeno uporablja že nekaj let.

Vir: SCT Ljubljana

Lojze Cepuš

## Prvo slovensko posvetovanje o arhitektonsko-gradbenem kamnu in njegovi uporabi

**V Ljubljani je bilo od 26. do 28. marca 1987 posvetovanje: Arhitektonsko-gradbeni kamen v Sloveniji in njegova uporaba.**

Posvetovanje je bilo pod pokroviteljstvom Združenja slovenske kamnarske industrije (SKI), poleg njega pa so pri organizaciji sodelovali še: Odsek za geologijo pri VTOZD Montanistika, Geološki zavod in Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij (vsi iz Ljubljane).

Posvetovanja se je udeležilo približno 100 strokovnjakov iz različnih strok, in sicer geologi, mineralogi, gradbeniki, rudarji, umetnostni zgodovinarji, arhitekti, arheologi, kamnarji in kamnoseki. Raznoliko problematiko so obravnavali na 23 predavanjih in na zaključni »okrogli mizi«.

V sklopu posvetovanja je bila organizirana strokovna ekskurzija od Ljubljane prek Škofje Loke do Hotavelj in prek Lučin, Horjula, Lesnega brda, Borovnice do Podpeči. V Hotavljah so si udeleženci ogledali moderne obrate za oblikovanje različnih kamnarskih izdelkov in se seznanili s problematiko

izkoriščanja hotaveljskega apnenca. Na poti je bilo mogoče videti številne kamnoseške izdelke, vgrajene v starejše zgradbe, in mnoge opuščene kamnolome. V Podpeči pa so si ogledali rezalnico magmat-skih kamnin.

V prostorih Filozofske fakultete je bila med posvetovanjem postavljena tudi razstava kamnarskih izdelkov in primerkov slovenskega okrasnega kamna. Del eksponatov s te razstave si je bilo mogoče ogledati še v razstavnem prostoru ZRMK od 31. marca do 10. aprila 1987.

Vsebinsko predavanj lahko razdelimo na več skupin. V preglednih referatih so avtorji prikazali stanje današnje raziskanosti nahajališč okrasnega kamna, njegove perspektive in zaloge. Nekateri avtorji so posvetili precej časa uporabi naravnega kamna v preteklosti, tako v ljudski kot v poklicni arhitekturi na različnih območjih Slovenije. Sledila so predavanja, ki so obravnavala pridobivanje ter ročno in strojno obdelavo različnih kamnin. Zanimiv je bil prispevek o optimalnem izkoriščanju naravnega



**DOLENJSKI  
PROJEKTIVNI BIRO p. o.  
NOVO MESTO, SOKOLSKA 1**

### TEHNIČNA DOKUMENTACIJA

- arhitektonski načrti za stanovanjske, upravne, industrijske in javne zgradbe
- načrti gradbenih konstrukcij za visoke in nizke zgradbe ter jeklene konstrukcije
- načrti nizkih in prometnih zgradb
- načrti strojnih in elektroinstalacij

### INVESTITORSKI POSLI

v zvezi s pripravo na graditev, z gradnjo objektov in zagonom objektov

### INVESTICIJSKA DOKUMENTACIJA

### URBANISTIČNA DOKUMENTACIJA

### STROKOVNO NADZORSTVO NAD GRADNJO OBJEKTOV

### IZVAJANJE GEODETSKO TEHNIČNIH STORITEV

INFORMACIJE? telefon (068) 24-409

kamna in o računalniškem modeliranju kamninskih mas. Prikazana je bila problematika obstojnosti naravnega kamna v mestnem okolju zaradi vpliva onesnaženega zraka in drugih škodljivih dejavnikov. Predavatelji so obravnavali še probleme neustreznega odnosa družbe do kamnarstva in pomanjkljivosti pri vzgajanju strokovnih kadrov. Dotaknili so se problemov odpiranja kamnolomov s (s stališča varstva narave) stališča in uporabe naravnega kamna v sodobni arhitekturi.

V kratkih razpravah ob referatih so se odprli številni problemi kamnarstva v Sloveniji. Rabili so kot izhodišča za zaključno razpravo v okviru »okrogle mize«, kjer so udeleženci oblikovali naslednje sklepe:

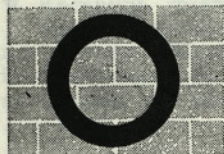
1. Nadaljevati moramo z raziskavami naravnega kamna v okviru raziskav nekovinskih mineralnih surovin. Posebno pozornost moramo posvetiti tistim kamninam, ki so se tržno že uveljavile in ki so perspektivno v dovolj velikih količinah.
2. Kamnarska industrija Slovenije kljub dobremu poslovanju ne more sama združiti dovolj sredstev za raziskovanje in odpiranje novih naha-

jališč naravnega kamna. Potrebna ji je širša družbena podpora.

3. Prihodnost slovenskega kamnarstva je tudi v številnih kamninskih različnih v manjših kamnolomih, iz katerih je mogoče izdelovati zahtevne unikatne izdelke.
4. Šolanje kamnosekov je treba dvigniti na višjo raven. Učijo naj jih dobri učitelji. Kamnarstvu pa je treba dati večji poudarek tudi na srednjih, višjih in visokih šolah, smeri: geologija, gradbeništvo, arhitektura, ter na šolah za oblikovanje in na likovnih akademijah.
5. Predlagamo, da se v bodoče uporablja izraz **naravni kamen**. Ta vključuje vse izraze, ki se danes uporabljajo zelo neenotno: arhitektonsko-gradbeni kamen, okrasni kamen, dekorativni kamen itd.
6. Naslednje posvetovanje v jugoslovanskem merilu naj bi bilo že čez dve leti.

Pred posvetovanjem so v številki Geološkega zbornika izšli povzetki referatov. V naslednji številki pa bodo izšla celotna besedila predstavljenih predavanj.

Jernej Pavšič



## OBLOGA SLIKOPLASTIKA

### LJUBLJANA - POLJE

telefon: komerciala: 482-944, 482-931, 482-970, 482-516,  
računovodstvo: 482-025,  
kadrovska sl.: 482-840, direktor: 483-570, žiro račun:  
50103-601-15507

Izvajamo vsa **ZAKLJUČNA DELA V GRADBENIŠTVU** družbenega in zasebnega sektorja, pri novogradnjah in adaptacijah kot so:

**Oblaganje sten in podov s keramičnimi, keramitnimi, klinker ploščicami in mozaikom — pečarska, soboslikarska in pleskarska dela — oblaganje s tapetami, polaganje tlakov iz plastičnih mas in iglanih preprog.**



UNIVERZA EDVARDA KARDELJA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ARHITEKTURO, GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

61001 Ljubljana, Jamova 2, p. p. 579

# POROČILA

# 5

GV XXXVII 1-2-3

## Vpliv radiacijskega hlajenja strehe na toplotni odziv zgradbe

UDK 536:512.68:624

R. KLADNIK, A. KRAINER,  
M. KLANJŠEK GUNDE, B. OREL

### UVOD

Kvantitativno vrednotenje prostorskih in časovnih porazdelitev energijskih tokov in temperatur znotraj stavb v odvisnosti od klimatskih pogojev okolja in fizikalnih lastnosti ovoja stavbe se je razvilo šele z uvedbo numeričnih računalniških metod. Reševanje tega problema je kompleksno, saj je za izbrano geometrijo stavbe treba upoštevati tako klimatske spremembe okolja kakor tudi fizikalne lastnosti materialov, ki sestavljajo ovoj zgradbe in njeno strukturo.

V literaturi so znani številni komercialno dosegljivi programi. Le redki med njimi so bili do sedaj že ustrezno testirani in njihovi rezultati primerjani z meritvami. Tudi računsko numerični pristopi so v programih različni, od končnih elementov do približnih empiričnih pristopov.

Za računanje toplotnega odziva stavbe smo razvili računalniški program KAMRA [1]. Ta omogoča računanje energijskih tokov in porazdelitev temperature v stavbi za poljubno geografsko orientacijo, lokacijo in konstrukcijo zgradbe, ko stavbe ne ogrevamo (prosti tek, varianta A), in v primeru, ko želimo z dovajanjem toplote (varianta B) ohraniti notranjo temperaturo stavbe.

Spreminjajoče se bioklimatske razmere okolja so v programu kot časovno odvisne temperature atmosfere in kot spremembe difuznega in direktnega sončnega sevanja, ki doteka v stavbo skozi okna ali pa pada nanjo neposredno.

#### Avtorji:

Prof. dr. Rudolf Kladnik, dipl. inž. fiz. in višji pred.  
Aleš Krainer, dipl. inž. arh.; oba FAGG, UEK Ljubljana ter mag. Marta Klanjšek-Gunde, dipl. inž. kem.  
in dr. Boris Orel dipl. inž. kem.; oba kemijski inštitut Boris Kidrič, Ljubljana.

Odvisnost toplotnega ravnovesja stavbe od sončnega sevanja opredeljujejo materialne lastnosti ovoja, njegova struktura in notranji prostori zgradbe. Ovoj zgradbe so tla, strop in stene, ki imajo lahko poljubno strukturo s toplotno izolacijo na zunanji in/ali notranji strani. Pravokotna okna so lahko poljubnih dimenzij in imajo poljuben položaj na stenah. Vpliv sončnega sevanja na energijsko ravnotežje stavbe opredeljujeta sončna absorptivnost  $a_s$  in termična emitivnost  $e_T$  sten, strehe in oken-skih stekel.

Toplotne izgube lahko spreminjamo z izbiro strukture in vrste ovoja. Večina toplotnih izgub (~ 70 odstotkov) gre na račun prevajanja in konvencije. Manj znano pa je računsko potrjeno dejstvo [2], da zgradba izgublja kar 30 odstotkov svoje toplote v obliki termičnega infrardečega sevanja z valovnimi dolžinami 10  $\mu\text{m}$  in več. Že temperaturne razlike nekaj  $^{\circ}\text{C}$  med ovojem zgradbe in okolico so dovolj za pojav precejšnjih energijskih tokov. Izmenjava radiacijskih tokov je poleg temperaturnih razlik odvisna samo še od spektralne emisivnosti ovoja zgradbe ter od spektralne emisivnosti atmosfere in okolice.

V dosednji verziji programa KAMRA smo upoštevali radiacijske izgube zgradbe ob predpostavki, da je termična emitivnost atmosfere  $e_T$  enaka 1 (idealno črno telo) [3]. Le v tem primeru je izmenjava sevanja strehe zgradbe z atmosfero enaka izmenjavi v horizontalni smeri.

V pričujočem sestavku predstavljamo računsko določanje dinamičnih toplotnih izgub zgradbe z izpopolnjeno verzijo programa KAMRA. Tu je eksplicitno upoštevana izmenjava sevanja zgradbe z atmosfero. Ta izmenjava je v navpični smeri zaradi transmitivnosti atmosfere za infrardeče sevanje med 8 in 13  $\mu\text{m}$  drugačna kot v vodoravni

smeri, kjer je atmosfera nepropustna. Ta pojav je v literaturi znan kot radiacijsko hlajenje (angl. radiatve cooling) in je bil izkoriščen za klimatizacijo bivalnih prostorov zgradb že od samih začetkov civilizacije.

Eksperimentalni podatki, ki bi kazali na praktično uporabo radiacijskega hlajenja, so skopi kljub prisotnosti in praktičnem izkoriščanju tega pojava v suhih in vročih klimatskih predelih. Mitchell in Biggs [4] sta merila na dveh enakih zgradbah (3 × 3 × 2,4 m), ki sta bili kriti, prva z belo po-barvano kovino, druga z aluminizirano streho iz Tedlarja. Avtorja sta želela ugotoviti, kako vpliva radiacijsko hlajenje v primeru, če je streha stavbe črno telo s termično emitivnostjo 1 ali pa je spektralno selektivna.

Površina, ki je za radiacijsko hlajenje spektralno selektivna, doseže večje ohladike glede na temperaturo atmosfere zato, ker ima visoko spektralno emisivnost prav v tistem območju infrardečega spektra, v katerem je transmittivnost atmosfere velika. Črno telo seva pri vsaki valovni dolžini v spektru enako, spektralno selektivna površina pa največ v transmisijskem oknu atmosfere (8–13 μm), drugje mora biti njena emitivnost majhna.

Teoretično je pojav obravnaval v številnih študijah Granquist [5]. Računsko je pokazal uporabnost posebej pripravljenih tankih plasti in plinskih blazin, polnjenih z različnimi mešanici plina. Vsi navedeni primeri imajo to skupno lastnost, da jih ni lahko narediti in tudi niso poceni. Zato se nam je zdelo smotno ovrednotiti uspešnost radiacijskega hlajenja barvanih površin. Te se v gradbeniški praksi pogosto uporabljajo kot kritina streh, na primer profilirana pločevina Trimo. Poznavanje deleža, ki ga pri toplotnih izgubah stavb s takšno kritino predstavlja radiacijsko hlajenje tovrstne strehe, je pomembno za gradbeniško prakso.

Za vrsto različnih površin podrobneje podajamo podhladitve zaradi radiacijskega hlajenja pri različnih atmosferah. S programom KAMRA pa smo izračunali energijske izgube in ustrezne temperaturne ohladike zgradbe z različnimi konstrukcijami streh, kritih z različnimi materiali ob upoštevanju radiacijskega hlajenja.

**1. PROGRAM KAMRA  
METODE, EKSPERIMENTI IN REZULTATI**

Računalniški program KAMRA je že bil podrobneje predstavljen [1]. Shematična predstavitev spremenljivk in vhodnih podatkov je navedena v tabeli I. Ovrednotili smo energijo, ki je potrebna za vzdrževanje temperature 18<sup>0</sup> C v zgradbi z določenimi konstrukcijskimi sklopi, ob različnih pogojih osončenja, temperaturah atmosfere, letnega časa in stanjih atmosfere (višina, oblačnost); (glej tabelo II).

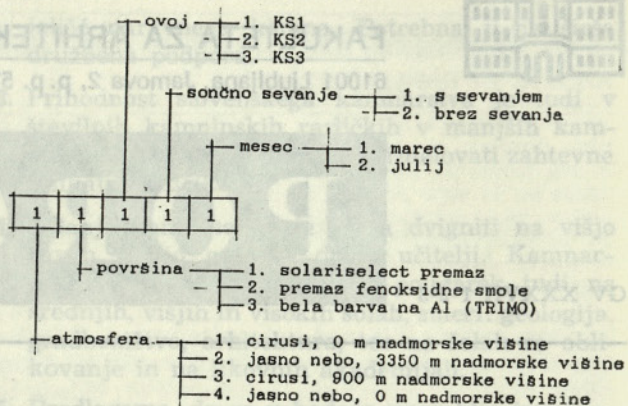


Tabela I. Shematični prikaz variant, računanih s programom KAMRA struktura ovoja:

- KS 1: stene: opeka 25 cm  
streha: prednapeti beton 5 cm
- KS 2: stene: opeka 25 cm  
streha: prednapeti beton 10 cm
- KS 3: stene: opeka 25 cm, polistiren 5 cm  
streha: prednapeti beton 10 cm, polistiren 5 cm
- Barva notranjih površin: rumena a = 0.45

**2. VPLIV SPEKTRALNE SELEKTIVNOSTI PRI RADIACIJSKEM HLAJENJU**

**a) Atmosfera**

Izmenjava sevanja med površino in hladnim vesoljem poteka skozi transmisijsko okno atmosfere (8–13 μm). Njegova oblika je močno odvisna od atmosferskih pogojev. Z večanjem vlažnosti (oblaki) in daljšanjem atmosferske poti se sevanje neba približuje sevanju črnega telesa, efekt radiacijskega hlajenja pa se hitro zmanjšuje.

Pri računski analizi smo uporabili atmosferske podatke Bella in sodelavcev [6]: termično sevanje nočnega neba na nadmorski višini 3350 m ob jasnem vremenu (atmosfera tipa A), na morski gladini ob jasnem vremenu (atmosfera tipa B) in na morski gladini ob oblačnem vremenu (atmosfera tipa C). Spektralne emisivnosti teh atmosfer prikazuje slika 1.

**b) Izračun radiacijskega hlajenja**

Prevladujoč mehanizem hlajenja je pri konvekcijsko zaščitnih površinah izmenjava termičnega sevanja atmosfere s termičnim sevanjem površine. V neravnovesnem stanju je izsevani tok enak razliki med tokom, ki ga odda površina v atmosfero (j<sub>out</sub>), in tokom, ki ga ta prejme do atmosfere (j<sub>in</sub>). To razliko imenujemo radiacijsko moč površine (RM):

$$RM = \Delta j = j_{out}(T_s) - j_{in}(T_A) \tag{1}$$

$$j_{out}(T_s) = \int_0^{\pi/2} d(\sin^2 \vartheta) \int_0^\infty d\lambda \lambda P(\lambda, T_s) \epsilon_s(\lambda, \vartheta) \tag{2}$$

tok, ki ga sprejme ( $j_{in}$ ), pa je določen s temperaturo atmosfere  $T_A$  takole:

$$j_{in}(T_A) = \int_0^{\pi/2} d(\sin^2 \vartheta) \int_0^{\infty} d\lambda P(\lambda, T_A) \varepsilon_s(\lambda, \vartheta) \varepsilon_A(\lambda, \vartheta). \quad (3)$$

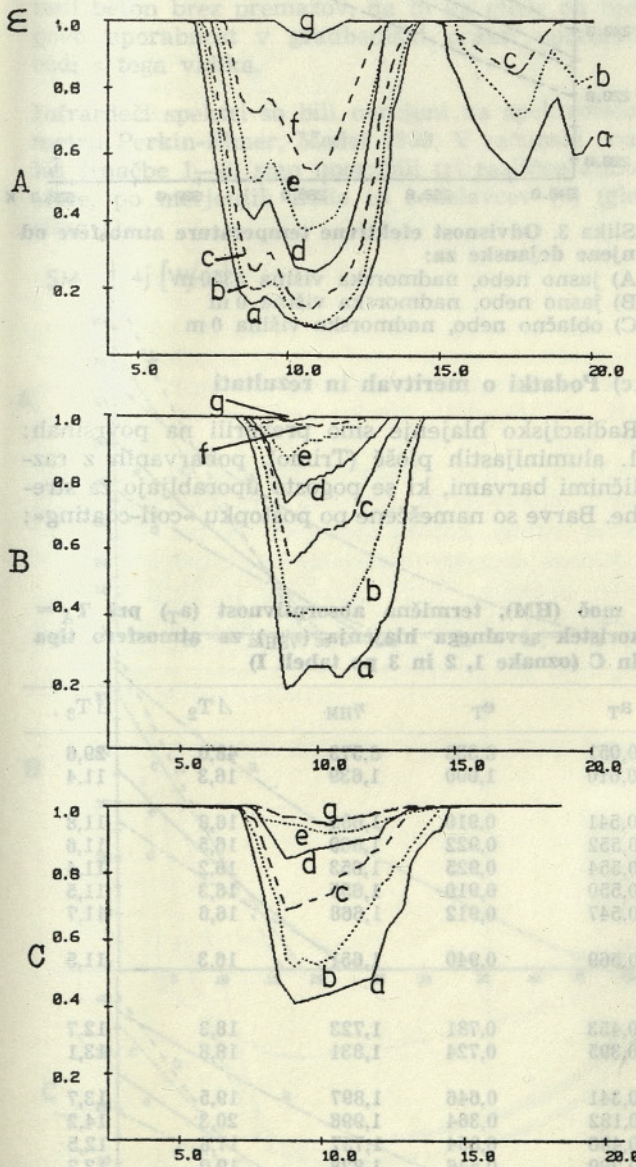
Tok, ki ga odda sevalnik, je odvisen od njegove absolutne temperature  $T_s$

Pomen oznak:

$P(\lambda, T)$  — Planckova funkcija,

$\varepsilon_s(\lambda, \vartheta) = 1 - R_s(\lambda, \vartheta)$  — spektralna emisivnost površine,

$\varepsilon_A(\lambda, \vartheta)$  — spektralna emisivnost atmosfere.



Slika 1. Emisivnost atmosfere pri kotih:  $0^0$  (a),  $60^0$  (b),  $75^0$  (c),  $82,8^0$  (d),  $86,4^0$  (e)  $88,2^0$  (f) in  $90^0$  (g) za atmosfere tipa:

- A) Jasno nebo na nadmorski višini 3350 m
- B) jasno nebo na morsk gladini
- C) oblačno na morsk gladini

Hladilna moč (HM) imenujemo radiacijsko moč površine pri  $T_s = T_A$ :  $HM = \Delta j (\Delta T = 0)$ . (4)

Ravnovesna temperatura pove, kolikšna je ohlajitev telesa pri danih pogojih:

$$\Delta T (\Delta j = 0) = (T_A - T_s) (\Delta j = 0). \quad (5)$$

Spektralno selektivnost za radiacijsko hlajenje definiramo s parametri.

$$\text{termična absorptivnost } a_T(T_A) = \frac{j_{in}(T_A)}{\int_0^{\infty} d\lambda P(\lambda, T_A)} \quad (6)$$

$$\text{termična emitivnost } e_T(T_s) = \frac{j_{out}(T_s)}{\int_0^{\infty} d\lambda P(\lambda, T_s)} \quad (7)$$

$$\text{in izkoristek radiacijskega hlajenja: } \eta_{RH}(T_s, T_A) = \frac{e_T(T_s)}{a_T(T_A)} \quad (8)$$

Spektralna emisivnost črnega telesa je pri vsaki valovni dolžini spektra enaka 1 — tako telo omogoča maksimalno možno izmenjavo radiacijske energije ne glede na valovno dolžino v spektru. Pri radiacijskem hlajenju izkoriščamo transmisijsko okno atmosfere; želimo torej spektralno selektivno površino z emisivnostjo 1 med 8 in 13  $\mu m$  in 0 povsod drugje. Takšno površino imenujemo idealni radiacijski hladilnik.

Radiacijsko moč (1) v odvisnosti od razlike temperatur  $\Delta T = T_A - T_s$  za črno telo in idealno selektivno površino v atmosferah tipa A, B in C prikazuje slika 2. Pri enakem tipu atmosfere je hladilna moč (4) črnega telesa vedno večja od hladilne moči spektralno selektivne površine, ravnovesna temperatura, ki jo doseže spektralno selektivna površina, pa je bistveno večja od tiste, ki jo omogoča črna. Temperaturna razlika  $\Delta T$ , kjer postane radiacijska moč selektivnega telesa enaka radiacijski moči črnega telesa, je za atmosfero tipa A  $13^0 C$ , za tip B  $4^0 C$  in za tip C le še  $2^0 C$  (glej sliko 2). Ta velika razlika jasno kaže, kako bistvenega pomena je spektralna selektivnost površine, čim bolj neugodni so atmosferski pogoji.

V programu KAMRA smo podali radiacijske izgube z dvema količinama, ki približno karakterizirata radiacijsko moč površine (enačba 1) v neintegralni obliki. Povprečna emisivnost

$$\bar{\varepsilon}(T_s) = \frac{\int_0^{\infty} d\lambda \varepsilon(\lambda) P(\lambda, T_s)}{\int_0^{\infty} d\lambda P(\lambda, T_s)} \quad (9)$$

omogoča določiti tok, ki ga površina izseva enostavno po Štefanovem zakonu:

$$j_{out} = \bar{\varepsilon} \sigma T_{s4}, \quad (10)$$



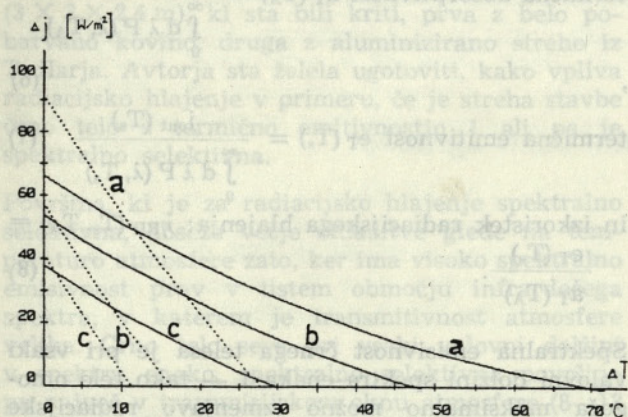
kjer je  $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$  Štefanova konstanta.

Tok, ki ga sprejme površina (enačba 3), pa poenostavimo z uvedbo efektivne temperature atmosfere  $T_{\text{eff}}$ :

$$j_{\text{in}} = \bar{\epsilon} \sigma T_{\text{eff}}^4, \quad (11)$$

ki jo določimo z zvezo:

$$\int_0^{\infty} d\lambda \epsilon_A(\lambda, \vartheta) P(\lambda, T_A) = \sigma T_{\text{eff}}^4. \quad (12)$$



Slika 2. Radiacijska moč idealno selektivne površine (polna črta) in črna telesa (črtkano) v odvisnosti od  $\Delta T = T_A - T_S$  pri  $T_A = -10^{\circ}\text{C}$  in atmosferah tipa A (a), B (b) in C (c)

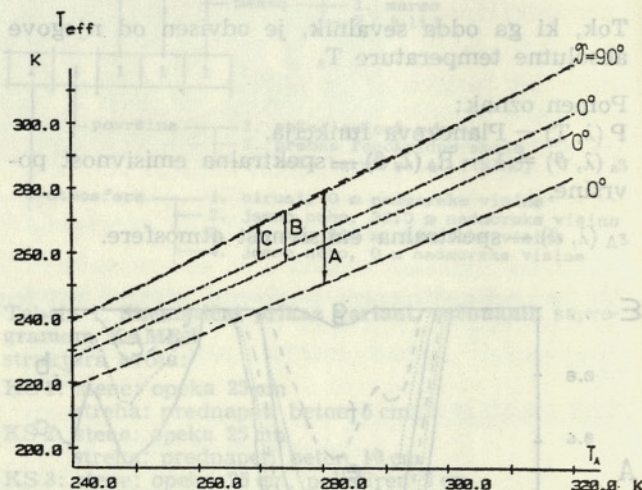
Pri tem smo naredili približek, saj je v enačbi (11) produkt dveh povprečij, ki sta sicer v integralni obliki skupna, torej kot povprečje produkta. Ta

Tabela 2. Ravnovesna ohladitev  $\Delta T_1$  ( $\Delta j = 0$ ), hladilna moč (HM), termična absorptivnost ( $a_T$ ) pri  $T_A = -10^{\circ}\text{C}$ , termična emitivnost ( $e_T$ ) pri  $T_S = -10^{\circ}\text{C}$  in izkoristek sevalnega hlajenja ( $\eta_{\text{SH}}$ ) za atmosfero tipa A;  $\Delta T_2$  in  $\Delta T_3$  sta ravnovesni ohladitvi za atmosferi B in C (oznake 1, 2 in 3 po tabeli I)

VZOREC	$\Delta T_1$ ( $\Delta j = 0$ )	HM	$a_T$	$e_T$	$\eta_{\text{HM}}$	$\Delta T_2$	$\Delta T_3$
selektivna površina	70,0	66,150	0,051	8,333	6,573	48,0	29,6
črno telo	28,0	91,480	0,610	1,000	1,639	16,3	11,4
pobarvane Al-plošče:							
bela	28,7	85,430	0,541	0,910	1,680	16,8	11,8
siva	28,5	85,780	0,552	0,922	1,669	16,5	11,6
rjavo rdeča	28,1	83,900	0,554	0,925	1,653	16,2	11,4
temna rjavo rdeča	28,2	83,580	0,550	0,910	1,655	16,3	11,5
modra	28,5	84,695	0,547	0,912	1,668	16,6	11,7
cement							
brez premazov	28,2	86,000	0,569	0,940	1,651	16,3	11,5
aluminijaste plošče, barvane s polimernimi smolami:							
silikonska	30,2	76,005	0,453	0,781	1,723	18,3	12,7
epoksi	32,0	76,231	0,395	0,724	1,831	18,8	13,1
oleoftalna:							
— neredčena	32,0	70,884	0,341	0,646	1,897	19,5	13,7
— redčena 10 %	32,9	42,195	0,182	0,364	1,998	20,3	14,2
— 360 SJ redčena 10 %	30,0	85,326	0,486	0,854	1,757	17,8	12,5
— 360 SJ redčena 30 %	30,0	57,438	0,299	0,546	1,828	19,0	13,7
fenoksidna:							
— redčena 10 %	28,9	15,896	0,067	0,135	2,029	15,3	11,2
— redčena 15 %	29,4	32,886	0,180	0,321	1,789	18,1	13,1
— redčena 20 %	33,1	39,879	0,177	0,349	1,972	19,0	13,9
— redčena 15 %	39,1	38,230	0,124	0,288	2,333	24,5	16,8
solariselect F	35,9	51,362	0,181	0,398	2,197	22,7	15,9

poenostavitev pa omogoča le majhne spremembe v programu KAMRA.

Z enačbo (12) dobimo odvisnosti  $T_{\text{eff}}(T_A)$ . Za območje temperatur, ki so za atmosfero običajne, je ta odvisnost linearna — prikazana je na sliki 3.



Slika 3. Odvisnost efektivne temperature atmosfere od njene dejanske za:

- A) jasno nebo, nadmorska višina 3350 m
- B) jasno nebo, nadmorska višina 0 m
- C) oblačno nebo, nadmorska višina 0 m

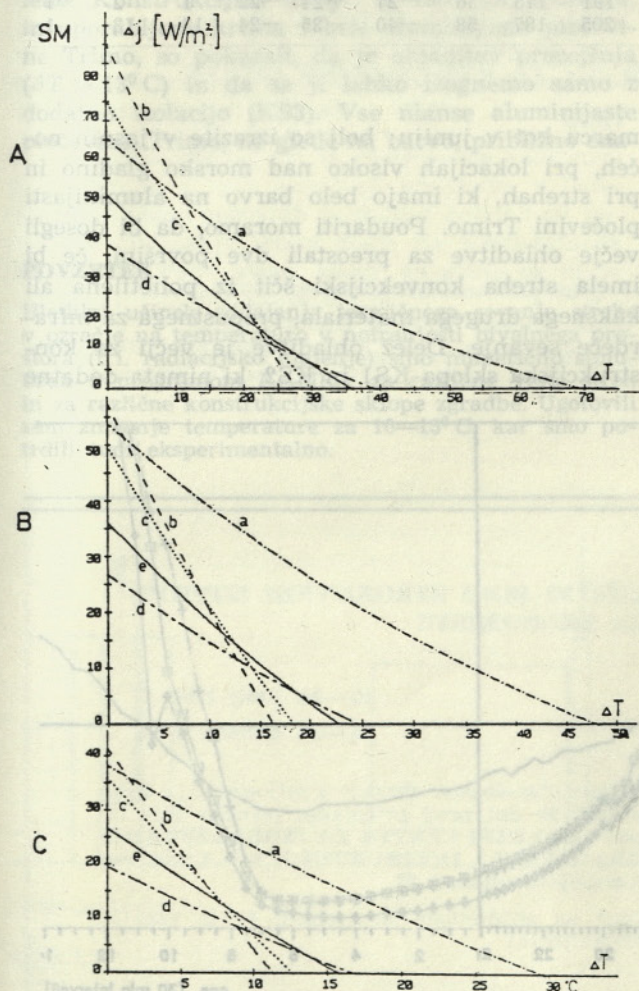
### c) Podatki o meritvah in rezultati

Radiacijsko hlajenje smo preverili na površinah: 1. aluminijastih plošč (Trimco), pobarvanih z različnimi barvami, ki se pogosto uporabljajo za strehe. Barve so nameščene po postopku »coil-coating«;

2. aluminijastih plošč, pobarvanih z različnimi polimernimi smolami. Uporabili smo silikonsko smolo (Dow Chemicals 7909), fenoksidno smolo (Dow Chemicals) in oleofatno smolo. Premazi so bili nanešeni ročno s slojnikom. Debelino suhih premazov smo spreminjali z redčenjem — s spreminjanjem koncentracije topila v smoli.

Debelinsko odvisno spektralno selektivno barvo Solariselect F (Color Medvode) [7] smo pripravili iz fenoksidne smole, črnega pigmenta (Ferro Company Fe-6331) in pirogene kremenice ter sicer običajnih omakal in dodatkov. Barva je primerna za nanos po metodi »coil-coating« in se uporablja za barvanje sončnih zbiralnikov. Obravnavali smo tudi beton brez premazov, da bi ga glede na njegovo uporabnost v gradbeniški praksi opredelili tudi s tega vidika.

Infrardeči spektri so bili narejeni na spektrofotometru Perkin-Elmer, Model 1800. V računski analizi (enačbe 1—8) smo uporabili tri različne atmosfere, po merjenjih Bella in sodelavcev [6] (glej sliko 1).



Slika 4. Sevalne moči v odvisnosti od  $\Delta T$  pri  $T_A = -10^\circ C$ , selektivne površine (a), črnega telesa (b), silikonske smole (c), 25% redčene fenoksi smole (d) in premaza Solariselect F (e) v atmosferah tipa A,

Temperaturno odvisnost površine smo merili s sistemom Data Acquisition Control Unit HP 3421 A, opremljenim s termočlenom Cu/Cukonstantan, na testni sončni hiši FAGG, Ljubljana. Kot referenčno točko smo uporabili mešanico ledu in vode (273 K).

d) Rezultati računov in eksperimentov

Tabela II prikazuje rezultate računske analize radiacijskega hlajenja vzorcev z upoštevanjem atmosfer tipa A, B in C. Aluminijaste plošče, pobarvane z različnimi barvami, se obnašajo kot črna telesa — refleksija je vzdolž celotnega spektra praktično enaka nič. To potrjujejo tudi rezultati v tabeli II, ki le malo odstopajo od ustreznih vrednosti za črno telo. Podobno se obnaša tudi nepobarvana betonska površina. Selektivnost za radiacijsko hlajenje pa se pojavi pri polimernih smolah. Računana ohladitev  $\Delta T$  ( $\Delta j = 0$ ) je pri najbolj neugodni atmosferi (tip C) zaznavno večja od ohladitve, ki jo doseže črno telo pri enakih pogojih ( $1^\circ C$  in več).

Izmerili smo refleksijske spektre silikonske smole, debelinsko odvisne spektralno selektivne barve Solariselect F in belo pobarvane aluminijaste pločevine Trimmo. Na teh vzorcih smo eksperimentalno merili ohladitve. Diagrami  $\Delta j$  ( $\Delta T$ ) za izidealno selektivno telo, črno telo, silikonsko smolo NH, 25-odstotno redčeno fenoksidno smolo in Solariselect F za atmosfere tipa A, B in C so prikazani na sliki 4. Diagrami za te vzorce kažejo potek, ki je značilen za selektivni hladilnik (glej tudi sliko 2!).

Eksperimenti, ki smo jih opravili v jasni februarški noči (slika 5), so potrdili velikost računsko določenih ohladitev ( $\Delta T$ ), ne ujemajo pa se ohladitve spektralno selektivnih in neselektivnih vzorcev. Izmerjene ohladitve slednjih so večje za približno 2,7 K.

DISKUSIJA

Izmerjene ohladitve vzorcev (tankoslojna črna barva za sončne zbiralnike (Solariselect F), premaz fenoksidne smole na aluminijasti pločevini in bela barva na aluminijasti pločevini Trimmo), ki so prikazane na sliki 5, kažejo, da slednja doseže največjo podhladitev. Neujemanje z računsko napovedanimi podhladitvami (tabela II) si razlagamo tako, da se dovede v testno celico s sipanjem infrardečega sevanja okolice toplota, ki prepreči ohladitev pod temperaturo, pri kateri postanejo radiacijski tokovi spektralno selektivnih površin večji od spektralno neselektivnih (glej sliki 2 in 4). Bela aluminijasta pločevina Trimmo se zato ohladi bolj kot preostali dve površini, ki sta sicer spektralno selektivni za radiacijsko hlajenje.

V programu KAMRA smo radiacijske izgube strehe obravnavali tako, da smo za vsako od treh uporabljanih atmosfer določili njeno efektivno tem-

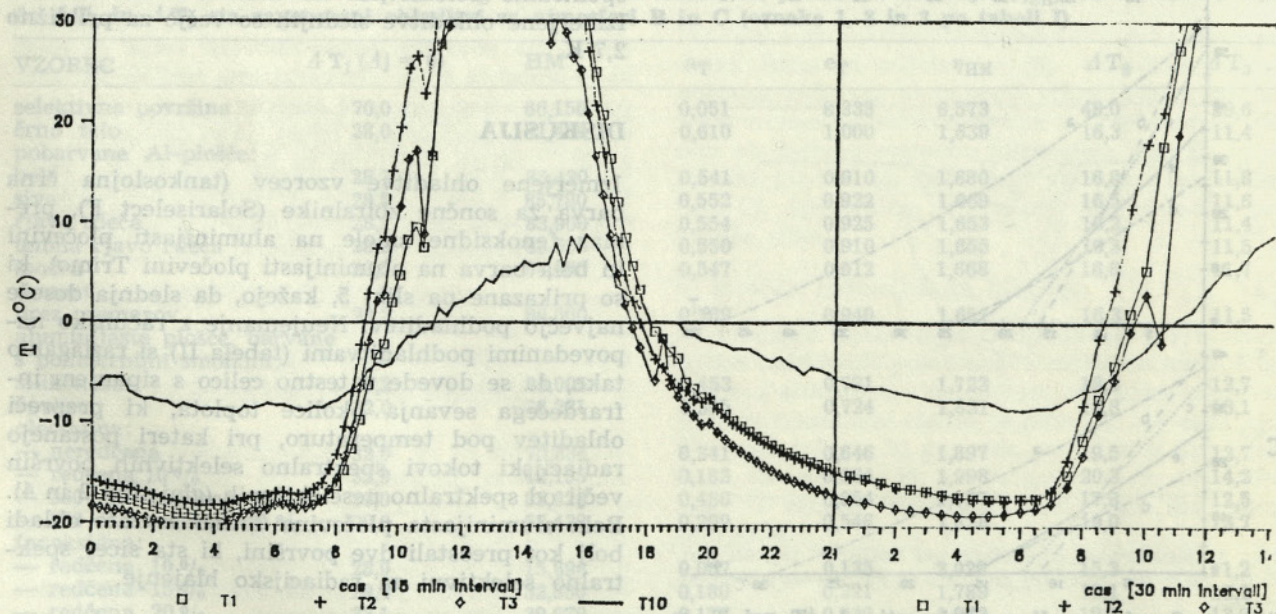
Tabela 3. Potrebna energija (kWh/24 h) za vzdrževanje konstantne  $T_n$  (temperatura notranjega zraka  $18^{\circ}\text{C}$  pri različnih atmosferskih razmerah: 1. Tabela 1, 2. Tabela II, 3. Interpolacija med 1. in 2., 4. Tabela III, z radiacijskim hlajenjem (stolpci 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 in vrstice 1, 2, 3, 4, brez radiacijskega hlajenja, vrstica X, stolpca 1.2, 2.2

Potrebna energija		1. marec						2. julij					
kWh na dan za $T_n = 18^{\circ}\text{C}$		1. s sončnim sevanjem			2. brez sončnega sevanja			1. s sončnim sevanjem			2. brez sončnega sevanja		
nadmorska višina nebo	primer	1. KS 1	2. KS 2	3. KS 3	1. KS 1	2. KS 2	3. KS 3	1. KS 1	2. KS 2	3. KS 3	1. KS 1	2. KS 2	3. KS 3
X hladilni učinek ni upoštevan	1. solariselect				184	169	56				2	3	0
	2. fenoksidna smola				184	169	56				2	3	0
	3. bela barva				190	174	56				16	15	1
1. 0 m cirusi	1. solariselect	100	94	22	189	174	56	-128	-111	-33	-2	0	-1
	2. fenoksidna smola	160	145	28	189	173	56	-30	-27	-23	-2	0	-1
	3. bela barva	156	141	28	200	183	57	-46	-40	-24	7	8	0
2. 3350 m jasno nebo	1. solariselect	110	102	23	199	182	57	-117	-102	-32	9	9	0
	2. fenoksidna smola	169	153	29	198	181	57	-20	-18	-22	8	8	0
	3. bela barva	177	159	30	221	200	60	-23	-21	-22	30	27	3
3. 900 m cirusi	1. solariselect	98	92	21	187	172	56	-130	-112	-34	-4	-1	-1
	2. fenoksidna smola	158	144	28	187	172	56	-32	-28	-23	-4	-2	-1
	3. bela barva	152	138	27	196	179	57	-50	-44	-25	3	5	0
4. 0 m jasno nebo	1. solariselect	102	96	22	191	176	57	-125	-108	-33	1	3	-1
	2. fenoksidna smola	162	147	28	191	175	56	-27	-24	-22	1	2	-1
	3. bela barva	161	146	28	205	187	58	-40	-35	-24	13	13	1

peraturo (enačba 12). Medtem ko je tok, ki ga seva atmosfera na streho zgradbene, podan kar s  $T_{eff}$  (enačba 11), pa je izsevni tok strehe odvisen le od njene termične emitivnosti in temperature (enačba 10).

Rezultati računa s programom KAMRA so podani v tabeli III in potrjujejo že omenjeno dejstvo, da znaša delež radiacijskih izgub zgradbe več 10 odstotkov celotnih toplotnih izgub. Izgube so večje v

marcu kot v juniju; bolj so izrazite v jasnih nočeh, pri lokacijah visoko nad morsk gladino in pri strehah, ki imajo belo barvo na aluminijasti pločevini Trimo. Poudariti moramo, da bi dosegli večje ohlaiditve za preostali dve površini, če bi imela streha konvekcijski ščit iz polietilena ali kakšnega drugega materiala, prepustnega za infrardeče sevanje. Delež ohlaiditve je večji za konstrukcijska sklopa KS1 in KS2, ki nimata dodatne



Slika 5. Eksperimentalno določene temperature, merjene na pokriti testni enoti: T1 — silikonska smola, T2 — Solariselect F, T3 — debela plast črne barve, T10 — atmosferska temperatura. Merjeno na testni solarni hiši FAGG, Ljubljana, v jasni februarški noči, 1. 1987, brez vetra

izolacije iz polistirena. Tako izolacijo ima sklop KS3.

Za julijske razmere je značilno pregrevanje zgradbe v nočnem času, če je strešna kritina s premazom Solariselect F in premazom iz silikonske smole na aluminijasti pločevini. Oddajanje toplote s sevanjem strehe v atmosfero je za navedeni površini manjše, kot je za belo aluminijasto površino Trimo. To je v skladu z rezultati za mesec marec.

## SKLEP

Pokazalo se je, da so radiacijske izgube zgradbe zaradi oddajanja termičnega infrardečega sevanja v nočno nebo od 10 do 17 odstotkov celotnih toplotnih izgub zgradbe. V primerih, ko sicer želimo povečati hlajenje, torej pri stavbah v sušnih, vročih podnebnih razmerah, dosežemo večje podhladitve z dodatnim konvencijskim ščitom nad streho in s površinami, ki so spektralno selektivne.

V hladnejših podnebnih conah je hlajenje nezaželeno. Konstrukcijski sklopi, ki smo jih uporabili, in uporabljena krtina z bele aluminijaste pločevine Trimo, so pokazali, da je ohladitev precejšnja ( $\Delta T = 13^{\circ}\text{C}$ ) in da se ji lahko izognemo samo z dodatno izolacijo (KS3). Vse nianse aluminijaste pločevine, Trimo, ne glede na barvo, približno ena-

## POVZETEK

Hladilni učinek oddajanja termičnega sevanja strehe v ozračje na temperaturo v notranjosti bivalnega prostora (t. i. radiacijsko hlajenje) smo numerično simulirali s programom KAMRA za različne vrste streh in za različne konstrukcijske sklope zgradbe. Ugotovili smo znižanje temperature za  $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ , kar smo potrdili tudi eksperimentalno.

ko vplivajo na radiacijsko hlajenje. Uporaba konvekcijskega ščita za hladne cone ni zaželeno, saj bi se radiacijsko hlajenje samo še povečalo. Zmanjšanje radiacijskega hlajenja dosežemo le z ustrezno večjo toplotno izolacijo, ki prepreči prevelike toplotne tokove na vrhnji strani stavbe in s tem ustrezno višje površinske temperature.

## Literatura

1. R. Kladnik, A. Krainer et al, Dinamični model toplotnega odziva KS in zgradbe, URP Gradbeni materiali, RS Slovenije, C2-0544-792, poročila 1983 do 1987.
2. B. J. Stay, J. M. Chalmers, M. W. Mackenzie, and D. R. Mosely, A. Method for Determining the Optical Properties of Materials with Respect to Thermal Radiation and Radiation from a Number of Other Sources, Applied Spectroscopy, 39, 412 (1985).
3. I. Kuščer, A. Moljk, Fizika, 2. del, DZS Ljubljana, 1962. (Sevanje segrelih teles, str. 484—490).
4. D. Mitchell and K. L. Biggs, Radiation cooling of buildings at night, Applied Energy, 306, 263 (1979).
5. C. G. Granquist and A. Hjortsberg, Radiative cooling to low temperatures: General considerations and Application to selectively emitting SiO films, J. Appl. Phys., 52, 4205 (1981).
6. E. E. Bell, L. Eisner, J. Young, R. A. Oetjen, Spectral Radiance of Sky and Terrain at Wavelengths between 1 and 20 Microns. II. Sky Measurements, J. Opt. Soc. America, 50, 1313 (1960).
7. B. Orel, Z. Crnjak Orel, M. Klanjšek Gunde, I. Radoczy, M. Vodlan, Patent št. 784/85, Ljubljana, 1985.

## SUMMARY

The cooling effect of the thermal radiation emission of the roof into the atmosphere on the interior temperature of the building has been numerically simulated by the program KAMRA, for different roof compositions and for different building wall constructions. A temperature decrease of  $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$  has been obtained, confirmed also experimentally.



**ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE**

**LJUBLJANA, ERJAVČEVA ULICA 15**

---

**ROKI PRIPRAVLJALNIH SEMINARJEV ZA STROKOVNE IZPITE  
V GRADBENIŠTVU ZA LETO 1988**

- 6. seminar: od 19. do 23. septembra 1988
- 7. seminar: od 17. do 21. oktobra 1988
- 8. seminar: od 21. do 25. novembra 1988
- 9. seminar: od 19. do 23. decembra 1988

**ROKI PRIPRAVLJALNIH SEMINARJEV ZA STROKOVNE IZPITE  
EKONOMSKE STROKE ZA LETO 1988**

- 2. seminar: od 12. do 14. decembra 1988

Prijave, z natančnimi podatki udeležencev (ime-priimek, strokovnost, naslov) in izjavo o plačniku stroškov seminarja v obliki dopisa, prejema **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15** do 10. dne v mesecu tekočega seminarja.

---

**IZPITNI ROKI STROKOVNIH IZPITOV  
ZA GRADBENIKE, ARHITEKTE  
IN GEODETE V LETU 1988**

**PISNI**

- 24. september 1988
- 22. oktober 1988
- 19. november 1988

**USTNI**

- 10.—14. oktober 1988
- 14.—18. november 1988
- 12.—16. december 1988

**IZPITNI ROKI STROKOVNIH IZPITOV  
ZA EKONOMISTE**

20.—24. junij 1988

24.—28. oktober 1988

Prijave (izpolnjene obrazce s prilogami) je treba poslati 20 dni pred pričetkom pisnega dela izpita na **ZVEZNI CENTER ZA IZOBRAŽEVANJE GRADBENIH INŠTRUKTORJEV, Ljubljana, Kardeljeva ploščad 27.**

Izpit za ekonomiste se razpiše, če je vsaj 10 prijavljenih!

## Epoksidna lepila za zahtevnejša konstrukcijska lepljenja

UDK 678.06:665.93

BOŠTJAN HOČEVAR

V člankih Projekt in izvedba ojačitve armirano-betonske konstrukcije z dolepljenjem jeklenih lamel (I. in II. del), ki sta izšla v Informacijah ZRMK (1982, št. 2,39 in 240), smo omenili epoksidno lepilo Sikadur 31 Normal; z njim smo v sodelovanju z Gradisom sanirali most v Črni na Koroškem.

Hkrati smo začeli na Zavodu razvijati epoksidno lepilo Be-pox 31, ki naj bi bilo enakovredno lepilu Sikadur 31. Lepilo smo formulirali po uvoznih komponentah CIBA GEIGY. Izdelali smo dve varianti, ki se v glavnem razlikujeta le v reaktivnosti lepila. Zimska formulacija je primernejša za nižje temperature (+ 5 do + 25<sup>0</sup> C), poletna pa za višje temperature (+ 15 do + 35<sup>0</sup> C).

Ker je lepilo namenjeno za zahtevnejša konstrukcijska lepljenja, smo zasnovali preiskave, s katerimi smo poleg osnovnih podatkov dobili tudi podatke o obnašanju lepila glede na temperaturne spremembe, vpliv vlage, alkalij in glede na dinamične ter statične obremenitve.

Preizkušanci za preiskave so v glavnem standardizirani, nekateri pa so pripravljani po podatkih iz

literature; to velja predvsem za strižne preizkušance, zlepljene: jeklo-jeklo-jeklo in jeklo-beton.

Betonski elementi preizkušancev so pripravljani z agregatom zrnivosti 0,4—4/8 mm in s tlačno trdnostjo 75 N/mm<sup>2</sup>. Za kovinske elemente smo uporabili jeklo nedefinirane kakovosti.

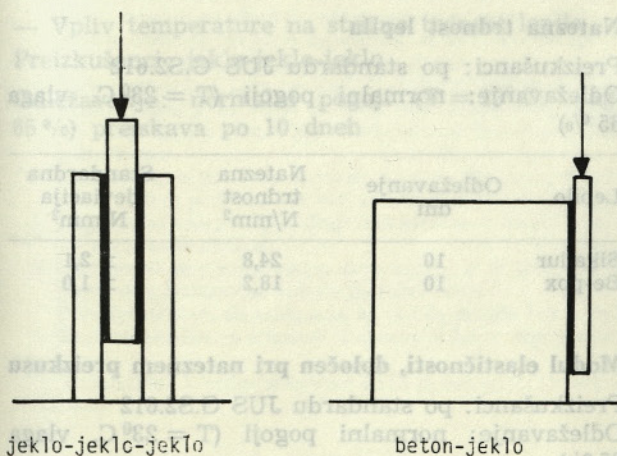
Betonski in kovinski elementi preizkušancev so bili pred nanosom lepila peskani (jekleni elementi do stopnje SA 2 — 2,5 po švedski skali).

Lepilo smo dobro homogenizirali in nato pripravili ustrezne preizkušance.

### Rezultati preiskav

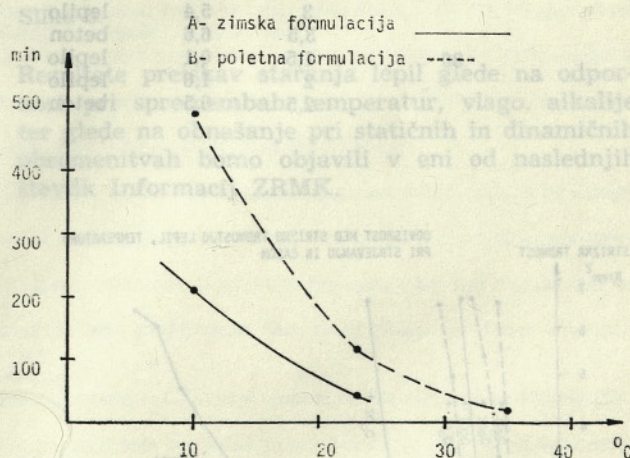
#### Čas vgrajevanja

Meritve veljajo za maso lepila 2 kg obeh formulacij.



Slika 1.

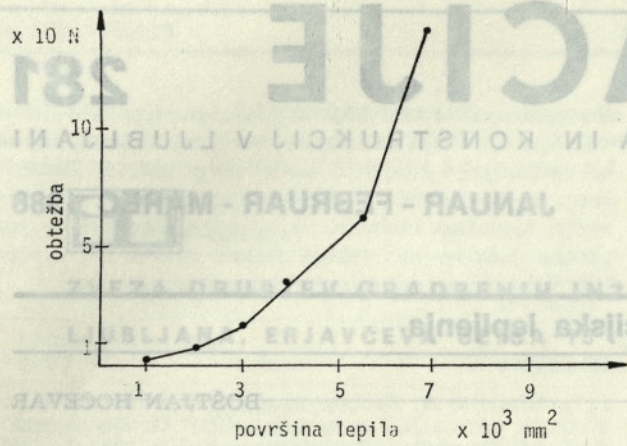
Avtor:  
Boštjan Hočevar, dipl. inž. kem., višji raziskovalni sodelavec



Slika 2.

### Gnetljivost

Okrog 6 kg lepila v obliki valja s premerom 2 cm smo obtežili med dvema ploščama. Pri različnih preizkušancih smo izmerili površino razlezne mase.

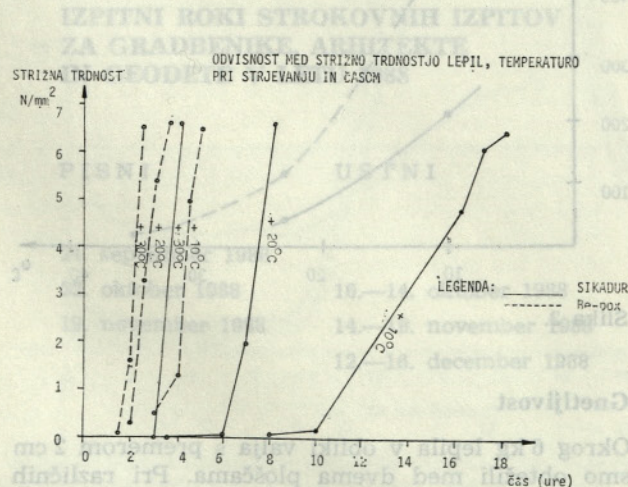


Slika 3.

### Hitrost strjevanja

Preizkušanci: jeklo — beton

Lepilo	Temperatura odležavanja °C	Čas odležavanja dni	Strižna trdnost N/mm <sup>2</sup>	Porušitev
Sikadur	10	8	0,1	lepilo
		10	0,2	lepilo
		16	4,8	lepilo
		17	6,1	lepilo
		18	6,5	beton
		18	0,0	lepilo
Be-pox	20	3,5	0,0	lepilo
		6	0,1	lepilo
		7	2,0	lepilo
		8	6,6	beton
		3	0,0	lepilo
		4	6,6	beton
Be-pox	10	3	0,5	lepilo
		4	1,3	lepilo
		4,5	5,0	lepilo
		5	6,5	beton
		2	0,3	lepilo
		2,5	3,3	lepilo
Be-pox	20	3	5,4	lepilo
		3,5	6,6	beton
		1,5	0,1	lepilo
		2	1,6	lepilo
		2,5	6,5	beton



Slika 4.

### Oprijemljivost na beton

Preizkušanci: jeklo-beton

Odležavanje: normalni pogoji (T = +13°C, vlaga 65%)

Lepilo	Beton	Strižna trdnost N/mm <sup>2</sup>	Standardna deviacija N/mm <sup>2</sup>	Porušitev
Sikadur	suh	8,1	± 1,3	beton
	moker	6,3	± 0,8	beton
Be-pox	suh	8,4	± 0,8	komb.
	moker	6,1	± 0,2	komb.

Pomen oznak:

moker — preizkušanci so bili pred lepljenjem 24 ur v vodi, nato pa 10 minut odcejani;

komb. — delna porušitev v betonu (10%) in delno skozi stik (okrog 90%).

### Tlačna trdnost

Preizkušanci: prizma 40 × 40 × 50 mm

Odležavanje: normalni pogoji (T = 23°C, vlaga 65%)

Lepilo	Odležavanje dni	Tlačna trdnost N/mm <sup>2</sup>	Standardna deviacija N/mm <sup>2</sup>
Sikadur	10	69,9	± 1,0
Be-pox	10	87,5	± 4,0

### Modul elastičnosti pri tlaku

Preizkušanci: prizma 40 × 40 × 160 mm

Odležavanje: normalni pogoji (T = +23°C, vlaga 65%)

Lepilo	Odležavanje dni	Modul elastičnosti N/mm <sup>2</sup>	Standardna deviacija N/mm <sup>2</sup>
Be-pox	trenutni	9300	± 210
	trajni	8200	± 160

### Natezna trdnost lepila

Preizkušanci: po standardu JUS G.S2.612

Odležavanje: normalni pogoji (T = 23°C, vlaga 65%)

Lepilo	Odležavanje dni	Natezna trdnost N/mm <sup>2</sup>	Standardna deviacija N/mm <sup>2</sup>
Sikadur	10	24,8	± 2,1
Be-pox	10	18,2	± 1,0

### Modul elastičnosti, določen pri nateznem preizkusu

Preizkušanci: po standardu JUS G.S2.612

Odležavanje: normalni pogoji (T = 23°C, vlaga 65%)

Lepilo	Odležavanje dni	Modul elastičnosti N/mm <sup>2</sup>	Standardna deviacija N/mm <sup>2</sup>
Sikadur	10	7080	± 300
Be-pox	10	8768	± 444

## Upogibna trdnost lepila

Preizkušanci: prizma  $10 \times 15 \times 120$  mm

Odležavanje: normalni pogoji ( $T = 23^{\circ}\text{C}$ , vlaga 65 %)

Lepilo	Odležavanje dni	Upogibna trdnost $\text{N/mm}^2$	Standardna deviacija $\text{N/mm}^2$
Sikadur	10	41,0	$\pm 1,0$
Be-pox	10	36,4	$\pm 1,2$

## Modul elastičnosti, določen pri upogibnem preizkusu

Preizkušanci: prizma  $10 \times 15 \times 120$  mm

Odležavanje: normalni pogoji ( $T = 23^{\circ}\text{C}$ , vlaga 65 %)

Lepilo	Odležavanje dni	Modul elastičnosti $\text{N/mm}^2$	Standardna deviacija $\text{N/mm}^2$
Sikadur	10	6845	$\pm 293$
Be-pox	10	7635	$\pm 154$

## Strižna trdnost lepila

Hkrati s preiskavo strižne trdnosti lepila smo ugotavljali tudi njegovo oprijemljivost na peskano površino jekla.

— Končna strižna trdnost lepila

Preizkušanci: jeklo-jeklo-jeklo

Odležavanje: normalni pogoji ( $T = 23^{\circ}\text{C}$ , vlaga 65 %)

Lepilo	Odležavanje dni	Strižna trdnost $\text{N/mm}^2$	Standardna deviacija $\text{N/mm}^2$
Sikadur	10	25,1	$\pm 0,6$
Be-pox	10	31,1	$\pm 1,3$

— Vpliv temperature na strižno trdnost lepila

Preizkušanci: jeklo-jeklo-jeklo

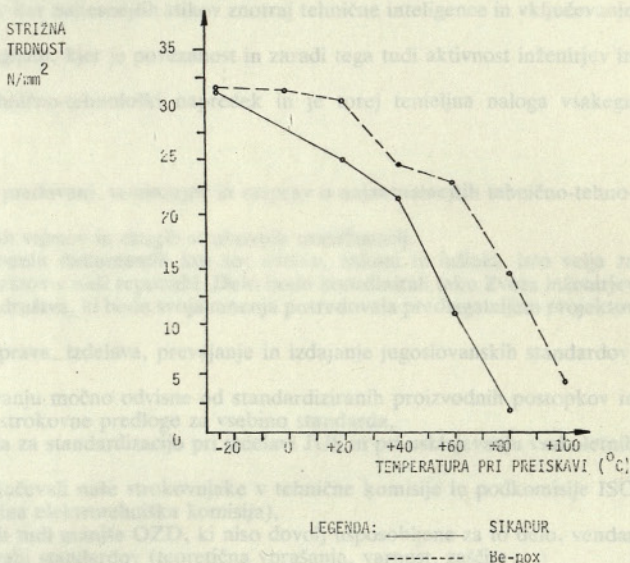
Odležavanje: normalni pogoji ( $T = 23^{\circ}\text{C}$ , vlaga 65 %) preiskava po 10 dneh

Lepilo	Temperatura pri preiskavi $^{\circ}\text{C}$	Strižna trdnost $\text{N/mm}^2$	Standardna deviacija $\text{N/mm}^2$
Sikadur	-25	31,2	$\pm 0,2$
	+20	25,1	$\pm 0,6$
	+40	21,6	$\pm 1,1$
	+60	10,8	$\pm 0,2$
	+80	2,2	$\pm 0,4$
Be-pox	-25	31,6	$\pm 3,0$
	0	31,3	$\pm 1,0$
	+20	30,5	$\pm 1,2$
	+40	24,6	$\pm 1,8$
	+60	23,0	$\pm 1,6$
	+80	14,6	$\pm 2,5$
	+100	4,6	$\pm 0,8$

Opomba:

Porušitev je potekala v lepilu; rezultati so grafično prikazani na diagramu.

ODVISNOST MED STRIŽNO TRDNOSTJO LEPILA IN TEMPERATURO PRI PREISKAVI



Slika 5.

Rezultate preiskav staranja lepil glede na odpornost pri spremembah temperatur, vlago, alkalije ter glede na obnašanje pri statičnih in dinamičnih obremenitvah bomo objavili v eni od naslednjih številok Informacij ZRMK.

PREDSEDNIK ZITS

mag. Peter KUNC, dipl. ing.





## ZVEZA INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

LJUBLJANA, ERJAVČEVA 15, JUGOSLAVIJA

### ZAKLJUČKI

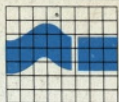
#### 15. REDNE SKUPŠČINE ZITS V ZREČAH, DNE 7. 4. 1988

1. Skupščina ugotavlja, da so ustrezno organizirani inženirji in tehniki pomembna in odgovorna družbena sila, zato je ena od najpomembnejših nalog društev in zvez IT Slovenije vzpostavitev kar najtesnejših stikov znotraj tehnične inteligence in vključevanje novih, predvsem mlajših članov v naše vrste.  
Posebno skrb je posvetiti tistim društvom in zvezam oziroma regijam, kjer je povezanost in zaradi tega tudi aktivnost inženirjev in tehnikov nezadovoljiva.
2. Stalno strokovno izobraževanje članov je nujen pogoj za tehnično-tehnološki napredek in je torej temeljna naloga vsakega posameznika.  
Naloge društev in zvez na tem področju so:
  - izdajanje strokovnih glasil
  - organiziranje dopolnilnih izobraževalnih programov, strokovnih predavanj, seminarjev in razprav o najaktualnejših tehnično-tehnoloških problemih v naši republiki, ter
  - organiziranje študijskih ogledov tehnoloških procesov, strokovnih sejmov in drugih strokovnih manifestacij.
3. Člani naj se vključujejo v javno razpravo o pomembnih družbenih dokumentih kot so: ustava, zakoni in odloki. Isto velja za sodelovanje pri reševanju in ocenjevanju številnih strateških projektov v naši republiki. Delo bodo koordinirali tako Zveza inženirjev in tehnikov Slovenije kot tudi v njo vključene strokovne zveze in društva, ki bodo svoja mnenja posredovala predlagateljem projektov in ustreznim organom.
4. Posebno pomembno področje dela ZITS in njenih članic je priprava, izdelava, prevajanje in izdajanje jugoslovanskih standardov. To delo bomo opravljali:
  - s sodelovanjem z zainteresiranimi OZD, ki so v svojem poslovanju močno odvisne od standardiziranih proizvodnih postopkov in izdelkov; naši strokovnjaki bodo opravili koordinacijo in dajali strokovne predloge za vsebino standarda,
  - z vključevanjem naših strokovnjakov v komisije Zveznega zavoda za standardizacijo pri izdelavi JUS in pri usklajevanju vsakoletnih planov za izdajo JUS standardov,
  - v soglasju z Zvezo inženirjev in tehnikov Jugoslavije bomo vključevali naše strokovnjake v tehnične komisije in podkomisije ISO (mednarodna organizacija za standardizacijo) in IEC (mednarodna elektrotehniška komisija),
  - s tvornim sodelovanjem preko splošnih združenj bomo angažirali tudi manjše OZD, ki niso dovolj usposobljene za to delo, vendar so iz širšega družbenega vidika pomembne pri izdajanju in uporabi standardov (teoretična vprašanja, varnost, zaščita...)
  - s prevajanjem mednarodnih in domačih standardov bomo izpolnjevali našo neposredno in odgovorno nalogo. Za pokrivanje naštetih stroškov bomo ob dosedanjih virih iz Zveznega zavoda za standardizacijo iskali tudi nove vire,
  - z izdajanjem standardov v slovenščini bomo prav tako poiskali dodaten vir sredstev pri neposredno zainteresiranih OZD, pri čemer bomo prodajo standardov organizirali po tržnem načelu,
  - z večjo informiranostjo o standardih, ki jo bomo dosegli z vključevanjem ustreznih strokovnih prispevkov v osrednji časopis Nova proizvodnja in tudi druga strokovna glasila.
5. Širiti je potrebno krog naročnikov oziroma bralcev strokovnih revij, katere izdajajo ZITS in njene članice.  
Prizadevati si je za redno izhajanje in kvaliteto vsebin revij.  
Na ravni ZITS je vlagati napore za dodatno financiranje vseh strokovnih revij, tako Nove proizvodnje, kot tudi ostalih, ki jih izdajajo naše članice.
6. Nadaljevati je potrebno z delom na področju slovenske tehnične terminologije. Z ozirom na hitro naraščanje novih proizvodov v svetu na tem področju vse bolj zaostajamo.
7. Negovati je sodelovanje z društvi in zvezami v drugih republikah z Zvezo inženirjev in tehnikov Jugoslavije kot tudi z organizacijami IT v sosednjih državah.
8. Nadaljevati je s komercialno dejavnostjo, ki je glavni vir finančnih sredstev za dejavnost naše zveze (izdaja Splošnega tehničnega priročnika, namiznega koledarja, rokovnika).  
Prizadevati si je, da realizacija ne bi bila manjša kot v preteklem letu.
9. Zveza inženirjev in tehnikov Slovenije si bo še naprej prizadevala za izgraditev CTK in v njenem okviru za prostore DOMA IT.

Po pooblastilu 15. redne skupščine ZITS je kolegij ZITS formuliral zgoraj navedene zaključke na seji dne 23. 5. 1988 in z njimi seznanja vse svoje članice.

PREDSEDNIK ZITS

mag. Peter KUNC, dipl. ing.



Vodnogospodarski inštitut kot raziskovalna organizacija deluje na vseh področjih vodnega gospodarstva in hidravlike.

Vodogradbeni laboratorij, ki je najstarejši hidravlični laboratorij v Jugoslaviji s 50-letno raziskovalno tradicijo, izvaja vse raziskave za hidrotehnične objekte in hidromehansko opremo na matematičnih in fizičnih modelih.

Oddelek za pomorsko inženirstvo se ukvarja z raziskavami morja, obmorskih in luških objektov, z izdelavo zasnov, študij in projektov za gradnjo luk, rečnih pristanišč ter ostalih maritimnih objektov.

Vodnogospodarski oddelek pokriva s svojo dejavnostjo raziskav, študij in projektov področja hidrologije, erozije, regulacij, melioracij, namakanja, zadrževalnikov in akumulacij, vodovodov itd.

Za izvajanje vseh navedenih del ima inštitut ustrezen visokokvalificiran kader in je opremljen s sodobno merilno in računalniško tehniko.

