

**ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО
ЗА ВИСОКЕ БРАНЕ**

**JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO
ZA VISOKE BRANE**



ДРУГИ КОНГРЕС

ЗБОРНИК РАДОВА

КЊИГА 1

ТЕМЕ 1, 2, 3, 5 и 6

КЛАДОВО 2003.

Издавач: **Југословенско друштво за високе бране (ЈДВБ)**
Секретаријат: Енергопројект Хидроинжењеринг а.д.
Булевар Михајла Пупина 12, 11070 Нови Београд
☎ (011) 311-28-85; 311-44-91; fax: (011) 311-19-74
e-mail: ehidro@Eunet.yu

За издавача: Александар Божовић, председник ЈДВБ

Гл. и одговорни уредник: Драган Гојгић, секретар ЈДВБ

Прелом слога: Аутори

Припрема за штампу: Секретаријат ЈДВБ

Штампа публикације, дизајн и продукција CD-а: Енергопројект Инграф, Бул. Михајла Пупина 12, Београд

Тираж: 300 примерака

Организациони Одбор Конгреса

Братимир Катић (*председник*) - ЕПС ЈП "Ђердап" – Београд
Раденко Пејовић (*потпредс.*) - Грађевински факултет Универзитета Црне Горе – Подгорица
Вељко Марковић - Грађевински факултет Ниш
Петар Стевановић - ГП Хидротехника–Хидроенергетика а.д.- Београд
Ксенија Неимаревић - ГП Хидротехника–Хидроенергетика а.д.- Београд
Дејан Дивац - Институт за водопривреду "Јарослав Черни" - Београд
Снежана Водоплав - Енергопројект Нискоградња а.д., Београд
Братислав Стишовић - Енергопројект Хидроинжењеринг а.д., Београд
Драган Шурбатовић - Електропривреда Црне Горе АД Никшић
Олга Радуловић - Електропривреда Црне Горе АД Никшић
Слободан Јовановић - ЈП "Србијаводе"- Регионални центар Ниш
Живко Николић - ЕПС ЈП "Дринске ХЕ" - Бајина Башта
Станислав Вукосављевић - ЕПС ЈП "Лимске ХЕ" - Нова Варош
Србислав Миљковић - ЕПС ЈП "Ђердап" - Ђердап 1 - Кладово
Драган Мирушковић - ЕПС ЈП "Ђердап" - Ђердап 2 - Неготин
Предраг Радошављевић - ЕПС ЈП "Ђердап" - Београд
Владислав Пајић - ЕПС ХЕ "Електроморава" - Чачак
Александар Божовић - председник ЈДВБ
Драган Гојгић - секретар ЈДВБ

Редакциони Одбор Конгреса

Игњат Туцовић (*председник*) - Енергопројект Хидроинжењеринг а.д. - Београд
Бранислав Ђорђевић - Грађевински факултет Београд
Љубодраг Савић - Грађевински факултет Београд
Јелисавета Мушкатиновић - Институт за водопривреду "Јарослав Черни" - Београд
Срђан Вујадиновић - Електропривреда Црне Горе АД Никшић
Вицко Летица - Енергопројект Хидроинжењеринг а.д. - Београд
Живодар Ерчић - Енергопројект Хидроинжењеринг а.д. - Београд
Љубомир Вајда - Енергопројект Хидроинжењеринг а.д. - Београд

SADRŽAJ

KNJIGA 1**Tema 1: UTICAJ VISOKIH BRANA I AKUMULACIJA NA SOCIJALNO I
EKOLOŠKO OKRUŽENJE I MERE ZA SKLADNO UKLAPANJE..... 1**

Izvestilac: Prof. dr. Branislav Đorđević

T1-R01: Mihailo Sretenović, dipl.inž., Predrag Radosavljević, dipl.inž., JP "Đerdap" – Kladovo, Sektor za razvoj, investicije i održavanje priobalja - Beograd Primena preporuka Međunarodnog komiteta za visoke brane (ICOLD) u postupku standardizacije upravljanja zaštitom životne sredine ISO 14000 u JP "Đerdap" kroz realizaciju programa osmatranja, merenja i analize uticaja uspora Dunava na priobalje.....	3
T1-R02: dr Tina Dašić i prof.dr Branislav Đorđević - Građevinski fakultet, Beograd Praćenje i modeliranje kvaliteta u cilju zaštite akumulacija od eutrofikacije	15
T1-R03: Prof.dr Branislav Đorđević i dr Tina Dašić - Građevinski fakultet, Beograd Garantovani protoci nizvodno od brana kao mera zaštite biocenoza	23
T1-R04: Milena Damjanović, dipl.inž., Dragica Vulić, dipl.inž., - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" - Beograd, i Milka Domazet, dipl.inž. – JP Elektroprivreda Srbije Degradacioni procesi i bilansiranje zagađenja u akumulacijama Đerdapa sa aspekta zaštite životne sredine	31
T1-R05: Mr Svetlana Stevović, dipl.inž., Energoprojekt - Hidroinženjering, Beograd Osvrt na metodiku izrade elaborata uticaja na okolinu u oblasti hidroenergetike	41
T1-R06: Prof.dr Branislav Đorđević, dipl.inž.građ., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu Valjano rešavanje socioloških delova projekta - preduslov za realizaciju brana i akumulacija	49
T1-R07: mr Marina Babić Mladenović, - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd, Zoran Obušković, Energoprojekt-Hidroinženjering – Beograd, Zoran Knežević - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd Zasipanje akumulacija u Srbiji – problemi i pravci rešavanja	63
T1-R08: mr Marina Babić Mladenović, Zoran Knežević - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd, Mihailo Sretenović, JP "Đerdap" - Sektor za razvoj, investicije i održavanje priobalja – Beograd Dinamika i posledice zasipanja akumulacije "Đerdap I"	71
T1-R09: Mihailo Sretenović, Predrag Radosavljević, Slobodan Popović, JP "Đerdap" –Beograd Izgradnja i eksploatacija hidroenergetskih objekata i objekata za zaštitu priobalja u zoni njihovih akumulacija	79
T1-R10: Vladislava Bartoš Divac, Sandra Prohaska, - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd, i Predrag Radosavljević - JP Đerdap - Beograd Upravljački model u funkciji gazdovanja sistemima Đerdap I i Đerdap II	87

T1-R11: Dejan Divac – Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" - Beograd, Nenad Grujović – Mašinski fakultet Univerziteta u Kragujevcu, Nebojša Bosanac – JP "Elektroprivreda Srbije" - Beograd Moguća uloga distribuiranih sistema za podršku integralnom upravljanju vodama na primeru sliva Drine.....	95
 Tema 2: SIGURNOST, ODRŽAVANJE I REHABILITACIJA	
BRANA U EKSPLOATACIJI	103
Izvestilac: Ignjat Tucović	
<hr/>	
T2-R01: Ksenija Neimarević, dipl.ing gradj., Beograd Održavanje brana.....	105
T2-R02: Ignjat Tucović, dipl.inž. - Energoprojekt-Hidroinženjering A.D., Beograd Upravljanje rizikom u analizi sigurnosti brana.....	113
T2-R03: D.Sunarić, S.Nedeljković, S.Cvetković-Mrkić, D.Jevremović – Rudarsko- geološki fakultet, Beograd Seizmičnost terena i projektovanje i održavanje brana	125
T2-R04: Mirjana Tucović, dipl.inž., Anica Jovičić, dipl.inž., Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd Analiza mogućnosti izmene osnovnog projektnog rešenja mašinske zgrade HE "Đerdap I" radi pojednostavljenja sanacije procurivanja donje vode.....	133
T2-R05: Čedo Kalajdžić, dipl. ing. geol., Hidroelektrane na Drini - Višegrad Proviranje vode ispod brane Višegrad	141
T2-R06: Drakul Jovo, dipl.inž.geol., Stanojević Dragan, dipl.inž.geol., Vojnović Bogdan, dipl.inž.građ. - Holding "Geosonda", Preduzeće "Konsolidacija" Beograd Sanacija horizontalnih spojnica kroz koje procuruje voda na brani HE "Međuvrše" - Čačak.....	149
T2-R07: Srbislav Miljković, dipl.ing., Milačko Stojnev, dipl.ing., Dragan Maksimović, dipl.ing., Tina Savić-Tomić, dipl.ing. - HE "Đerdap I", Kladovo Primena poliuretanskih masa za sanaciju prodora vode kroz dilatacione spojnice mašinske zgrade HE "Đerdap I"	155
T2-R08: Mr. Vicko Letica, dipl.ing., Mirjana Tucović, dipl.ing. - Energoprojekt-Hidroinženjering A.D., Beograd Revitalizacija brodske prevodnice Djerdap I.....	165
T2-R09: Mr. Vicko Letica, dipl.inž., Energoprojekt-Hidroinženjering A.D., Beograd Sanacija vrata na gornjoj glavi prevodnice Djerdap I.....	173
T2-R10: Dejan Vučković, Dragoljub Janić – Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd; Zoran Radošević – J.P. za planiranje i izgradnju Arandjelovca Rehabilitacija brane Bukulja	181
T2-R11: Vladislav Skoko, dipl.građ.ing., Mr. Vicko Letica, dipl.građ.ing., Zoran Ostojić, dipl.građ.ing. - Energoprojekt-Hidroinženjering A.D., Beograd Sanacija dela fleksibilne zaštite (gabionskog zastora) primarnog betonskog slapišta derivacione brane Sullana (Peru)	189

**Tema 3: HIDRAULIČKI PROBLEMI U PROJEKTOVANJU,
EKSPLOATACIJI I ODRŽAVANJU VISOKIH BRANA**

Izvestilac: Mr. Jelisaveta Muškatirović	197
<hr/>	
T3-R01: др. Љубодраг Савић, дипл.грађ.инж., - Грађевински факултет Универзитета у Београду, др. Драган Савић, дипл.грађ.инж., - Факултет Техничких наука Универзитета у Екситеру, Велика Британија Преглед метода за оцену сигурности брана	199
T3-R02: Радомир Капор, – Грађевински факултет Универзитета у Београду; Ненад Стефановић, – Грађевински факултет Универзитета у Београду; и Новица Петровић - Институт за водoprивреду "Јарослав Черни" - Београд Хидрауличка нестабилност у загушеном преливу	209
T3-R03: Dragiša Žugić, Dragan Tutulić - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd, Radomir Kapor – Građevinski fakultet Beograd, Vladimir Pop Trajkovic - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd Hidraulička modelska ispitivanja evakuacionih objekata brana sa proticajima koji su veći od projektovanih	217
T3-R04: др. Љубодраг Савић, дипл.грађ.инж., Бојан Миловановић, дипл.грађ.инж., мр. Владан Кузмановић, дипл.грађ.инж., др. Дејан Коматина, дипл.грађ.инж. - Грађевински факултет Универзитета у Београду Excel aplikacije u projektovanju hidrotehničkih građevina.....	225
T3-R05: Радомир Капор - Грађевински факултет Универзитета у Београду Проблеми у хидрауличком моделирању пропусне моћи одводних тунела евакуационих објеката на бранама	233
T3-R06: Živodar Erčić, dipl.inž., Božica Sandić, dipl.inž. – Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd Hidrološka sigurnost brane Roge	241
T3-R07: Stevan Prohaska, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, Tis Slav Petković, Republički hidrometeorološki Zavod Srbije, Beograd, Vesna Ristić – Rudarsko-geološki fakultet, Beograd Definisanje velikih voda na hidrološki nedovoljno izučenim profilima na primeru brane HE "Bočac" na reci Vrbas.....	251
T3-R08: Svetomir Prokić dipl.inž.građ - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd prof dr Stevan Prohaska dipl.inž.građ - Institut za vodoprivredu "J.Černi", Beograd Jovo Macanović dipl.inž.el – ZDP Hidroelektrane na Vrbasu, Mrkonjić Grad Goran Milanović dipl.inž.građ – ZDP Hidroelektrane na Vrbasu, Mrkonjić Grad Rizici i moguće štete ili ulaganje u sigurnost evakuacije velikih voda na brani HE Bočac	259
T3-R09: Svetomir Prokić dipl.inž.građ - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd doc dr Duško Đurić dipl.inž.građ - Arhitektonsko – građevinski fakultet, Banja Luka Miomir Arsić dipl.inž.građ - Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd Retenzioni kapacitet akumulacije Bočac.....	269
T3-R10: Slobodan Kovačina, dipl.inž.građ. Energoinvest-Higra, Sarajevo Analiza stanja i uslova rada evakuacionih organa na brani HE Jablanica.....	277

Tema 5: AKTUELNA PROBLEMATIKA U PROJEKTOVANJU I GRAĐENJU BRANA NA JALOVIŠTIMA

Izvestilac: Gvozden Sandić 285

T5-R01: Gvozden Sandić, dipl.inž.građ. - Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd
Osvrt na pitanje sigurnosti brana na jalovištima u Srbiji i Crnoj Gori 287

T5-R02: M.Jovanović, R.Kapor, D.Komatina, D.Đorđević, N.Stefanović – Građevinski
fakultet Beograd, V.Jančić – JP EPS Termoelektrane "Kostolac"
Numerička simulacija hidrauličkih posledica havarija brana na pepelištima 293

T5-R03: Ljubomir Vajda, dipl.ing. - Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd
Procena rizika i sigurnost brana na jalovištima 301

T5-R04: Ljubomir Vajda, dipl.ing. - Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd
Izbor projektne velike vode jalovišnih brana 307

T5-R05: Gvozden Sandić, dipl.inž.građ. - Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd
Nadvišenje brane br. 9 jalovišta rudnika "Rudnik" 317

Tema 6: SLOBODNA TEMA 325

Izvestilac: Prof. dr. Toša Ninkov

T6-R01: Branislav Blagojević - Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd,
Branislav Trivić - Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
**Primena GIS-a u praćenju egzodinamičkih pojava i procesa
hidroenergetskog sistema Srbije** 327

T6-R02: Žarko Nestorović, dipl.geod.inž., Radomir Čelebić, geod.ing., Boban Radojković,
geod.ing., Evica Šejnjanović, geod.ing., - HE "Đerdap I", Kladovo
Geodetski radovi na HEPS "Đerdap I" – istorijat, stanje i perspektive 333

T6-R03: Kosta Petrović, dipl.ing.geod. – JP "Đerdap" Kladovo, HE "Đerdap II" - Negotin
Problemi geodetskog osmatranja brane "Đerdap II" 341

T6-R04: Prof.dr Krsta Vračarić, dipl. geod. inž. - Građevinski fakultet Univerziteta u
Beogradu
**Stabilnost tačaka mikrotrigonometrijske mreže i mreže preciznog
nivelmana hidroelektrane "Piva" ("Mratinje")** 349



NUMERIČKA SIMULACIJA HIDRAULIČKIH POSLEDICA HAVARIJA BRANA NA PEPELIŠTIMA

**M. Jovanović*, R. Kapor*, D. Komatina*,
D. Đorđević*, N. Stefanović*, V. Jančić****

**Građevinski fakultet – Beograd*

***JP EPS Termoelektrane "Kostolac"*

Rezime. *Cilj numeričke simulacije hidrauličkih posledica havarija brana na pepelištima je da se definiše područje ugroženo plavljenjem, sagledaju mogućnosti blagovremenog upozorenja stanovništva na tom području i preduzmu odgovarajuće mere zaštite. U ovom radu se govori o specifičnostima poplavnih talasa koji nastaju kao posledica delimičnog rušenja brana-nasipa na pepelištima, kao i problemima matematičkog modeliranja te pojave. Kao ilustracija koristi se prolom nasute brane na pepelištu TE Kostolac 13.06.2002. godine. Na osnovu snimljenih geometrijskih elemenata breše formirane u trupu brane, utvrđene zapremine otekle vode i materijala, kao i tragova plavljenja, izvršena je kalibracija numeričkog modela. Ovaj model je zatim korišćen za prognozu hidrauličkih posledica eventualne slične havarije u budućim uslovima eksploatacije pepelišta, pri najvećoj projektovanoj visini brane.*

Ključne reči: *brana na pepelištima, rušenje brana, poplavni talasi, linijski i ravanski modeli neustaljenog tečenja*

UVOD

Određivanje hidrauličkih posledica rušenja brana podrazumeva definisanje plavnog područja, maksimalnih kota nivoa i protoka na ovom području, kao i brzine prostiranja poplavnog talasa. Ti rezultati su neophodni za projektovanje sistema osmatranja i obaveštavanja (SOO) na potencijalno ugroženom području.

Procena hidrauličkih posledica rušenja brana na pepelištima nije rutinski posao iz više razloga. U svetu ne postoji opšta metodologija za proračun formiranja i prostiranja talasa od fluidizovanog - raskvašenog pepela. Problemi se najpre javljaju u opisu načina rušenja brane i u definisanju zapremine otekle mešavine vode i pepela. Zatim, složen je i način proračuna kretanja talasa te mešavine, koja, u zavisnosti od koncentracije čvrste faze, može imati svojstva nenjutnovskog fluida. Kada se talas kreće rečnim koritom, uobičajeno je da se primenjuju linijski modeli (prostorno jednodimenzionog) neustaljenog tečenja. Ako se međutim, talas formira u ravnici, gde ne postoji jasno definisan pravac kretanja, moraju se koristiti modeli ravanskog (prostorno dvodimenzionog) tečenja, čija primena zahteva veći stepen teorijskih znanja, iskustva i vremena za pripremu ulaznih podataka, proračun i obradu rezultata.

U nastavku se prikazuju rezultati numeričke simulacije hidrauličkih posledica proloma nasute brane na pepelištu "Kostolac" 13.06.2002. godine. Ovaj primer dobro ilustruje sve teškoće izrade, kalibracije i primene numeričkih modela rušenja brana.

NUMERIČKI MODEL

U razvoju numeričkog modela javljaju se sledeći problemi:

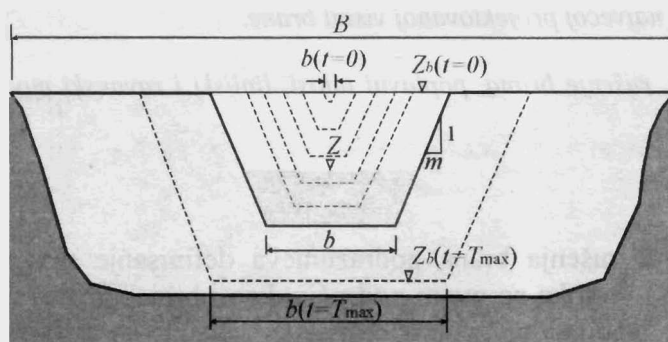
Definisanje načina rušenja brane/nasipa

Procena zapremine otekle mešavine vode i pepela

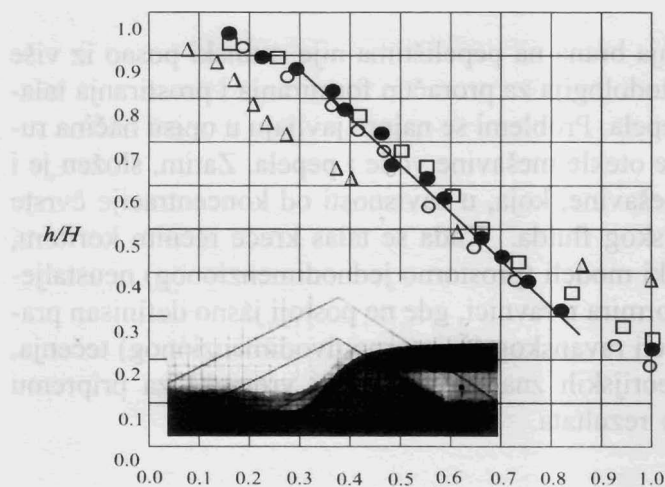
- Procena koncentracije pepela u mešavini
- Izbor reološkog modela mešavine
- Numerička simulacija linijskog/ravanskog tečenja
- Kalibracija i provera računskog modela

Dekompozicija modela daje tri međusobno povezane komponente: model rušenja brane, model linijskog tečenja i model ravanskog tečenja. Rezultati prve komponente predstavljaju ulazne podatke za druge dve, koje se, u zavisnosti od topografskih uslova, mogu koristiti pojedinačno, ili u kombinaciji.

S obzirom na dužinu i konstruktivne karakteristike brana/nasipa, realno je pretpostaviti da je rušenje delimično i postepeno, uz formiranje breše u telu brane. Model se ne bavi fizikom nastanka i evolucije breše, već se prognoza izlaznog hidrograma zasniva na pretpostavljenom obliku breše (slika 1) i usvojenoj zakonitosti njenog razvoja (slika 2).



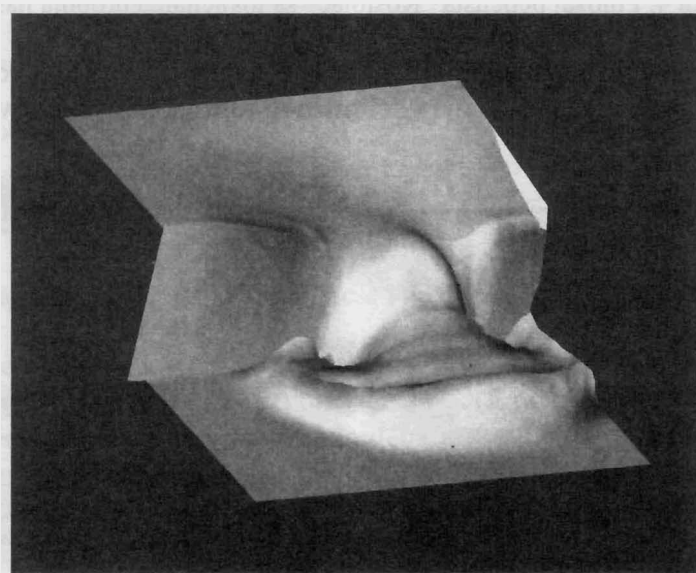
Slika 1. Shematizacija breše u telu brane; breša je trapeznog ili pravougaonog oblika. Širina breše i njena kota dna se menjaju zadatom brzinom od usvojenih početnih do krajnjih vrednosti. Isticanje kroz brešu se tretira kao prelivanje preko širokog praga [1].



Slika 2. Rezultati laboratorijskih ispitivanja prelivanja nasipa izgrađenih od homogenog, sitnog pešćanog materijala sa malim učešćem gline. Erozioni proces se odvija približno konstantnom brzinom, što znači da je linearna aproksimacija zavisnosti visine nasipa od vremena (ovde prikazana u bezdimenzionom obliku), fizički prihvatljiva [2].

Pored karakteristika breše, na izlazni talas bitno utiče i kriva zapremine. Tom krivom se obuhvata zapremina vode koja se izdvaja na površini deponije u tehnološkom procesu dopremanja pepela (hidraulički transport cevima), kao i zapremina pepela odnetog iz deponije u slučaju proloma brane. Ovu zapreminu je teško unapred definisati, već se određene pretpostavke mogu načiniti na osnovu podataka o havarijama u prošlosti, kao što će biti pokazano u nastavku.

Mešavina vode i pepela koja je prilikom proloma brane otekla iz deponije predstavlja dvofazni fluid. Odnos zapremine materijala i zapremine mešavine predstavlja početnu koncentraciju čvrste faze, od koje zavisi visina i brzina kretanja poplavnog talasa. Ispitivanja tečenja dvofaznih, nenjutnovskih fluida su pokazala da se njihovo tečenje može opisati jednačinama koje važe za vodu ako je koncentracija čvrste faze do 10%. Pri većim koncentracijama, te jednačine se moraju modifikovati uvođenjem odgovarajućih konstitutivnih zavisnosti izmedju napona i brzine deformacije (“reološki modeli”). Ovom problemu je kod nas posvećeno više radova (na primer [3]), pa se o tome ovde neće govoriti, kao ni o modelima linijskog i ravanskog neustaljenog tečenja, kojima se bavi brojna specijalizovana literatura. Na slici 3 su ilustrovane velike mogućnosti takvih numeričkih modela.

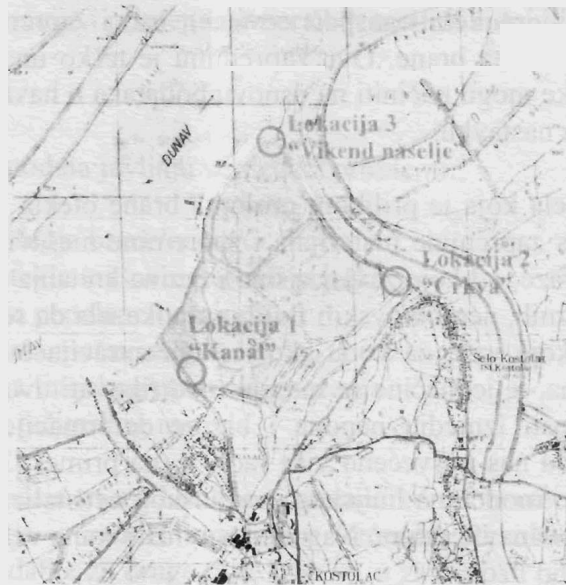


Slika 3. Numerička simulacija isticanja kroz brešu u telu nasipa primenom metode konačnih razlika [1]

NUMERIČKA SIMULACIJA HIDRAULIČKIH POSLEDICA PROLOMA NASIPA NA PEPELIŠTU “KOSTOLAC”

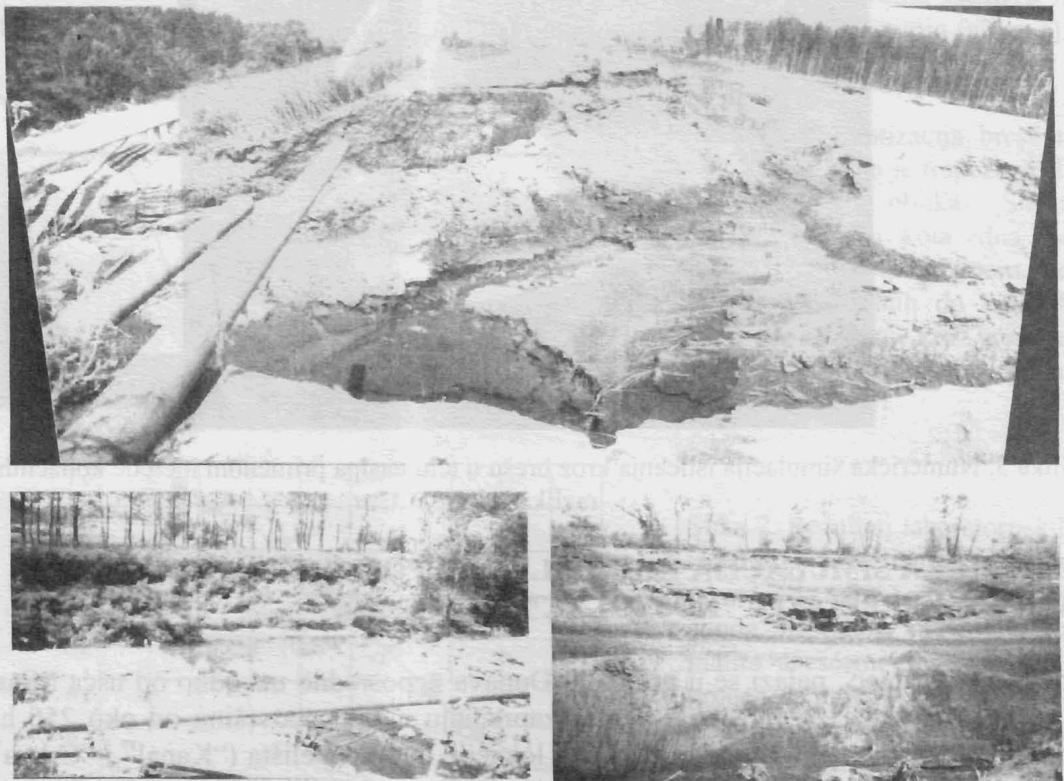
Pepelište “Kostolac” nalazi se u priobalju Dunava neposredno uzvodno od ušća Mlave (slika 4). Tri kasete za odlaganje pepela zapremaju ukupnu površinu od oko 250 ha. Februara 1999. i juna 2002. godine na dve lokacije ovog pepelišta (“Kanal” i “Crkva”) došlo je do delimičnog proboja nasipa (čija je visina u sadašnjim uslovima eksploatacije pepelišta oko 5 m) i isticanja mešavine vode i pepela. Ovi događaji poslužili su za kalibraciju numeričkog modela, koji je zatim korišćen za prognozu hidrauličkih

posledica eventualnih sličnih havarija na istim lokacijama (kao i na lokaciji “Vikend naselje”), u konačnoj fazi eksploatacije pepelišta, pri visini nasipa od oko 23 m.



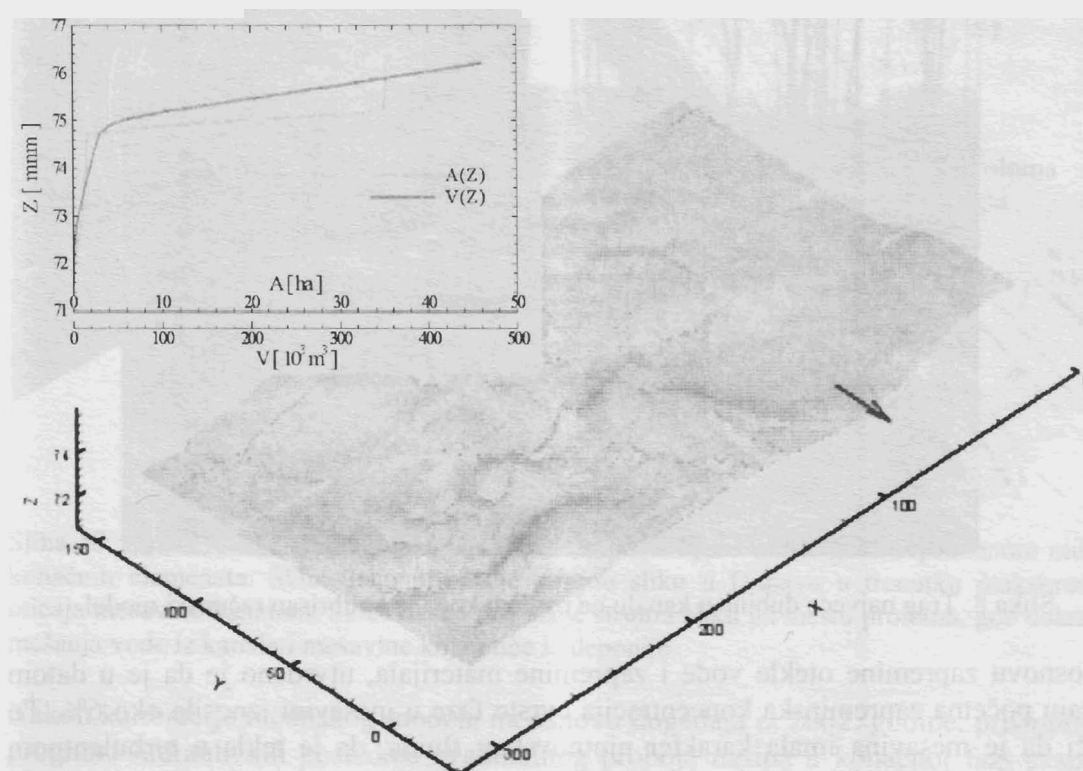
Slika 4. Položaj pepelišta “Kostolac” sa lokacijama proboja nasipa

U nastavku se prikazuju rezultati za lokaciju 1 “Kanal”. Snimci na slici 5 iz juna 2002. godine prikazuju posledice preliivanja i delimičnog rušenja nasipa na ovoj lokaciji.



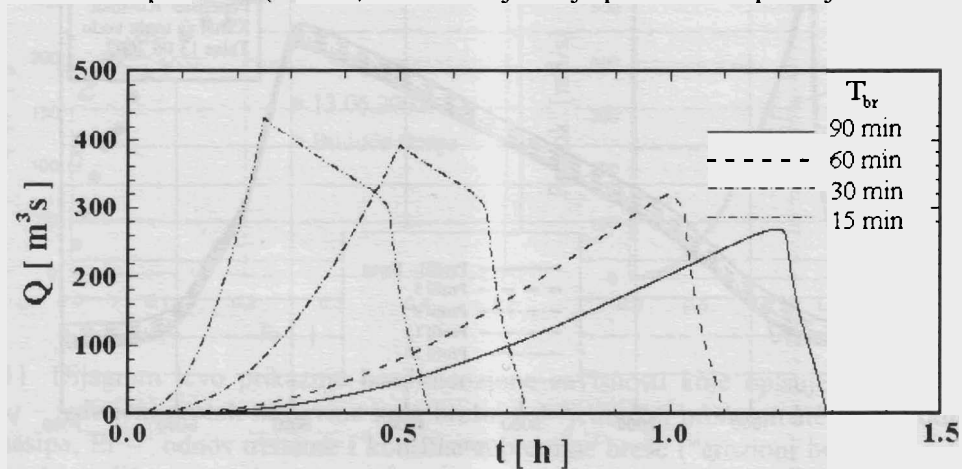
Slika 5. Prvi snimak prikazuje brešu širine 26 m, visine 5 m, kroz koju je oteklo $460\,000\text{ m}^3$ mešavine vode i pepela u kanal za odvođenje tople vode (snimak dole levo). Polegla vegetacija ukazuje na najveću dubinu u kanalu. Snimak dole desno prikazuje depresiju koja je formirana odnošenjem materijala iz deponije [1].

Koristeći podatke geodetskog snimanja deponije u zoni breše, načinjen je digitalni model terena i sračunata je kriva zapremine koja obuhvata zapreminu odnetog materijala i zapreminu vode izdvojene na površini pepelišta (slika 6).



Slika 6. Digitalni model deponije u zoni breše i odgovarajuće krive površine i zapremine

Sa ovako određenom krivom zapremine, sračunati su hidrogrami mešavine otekle kroz brešu za pretpostavljena vremena razvoja breše od 15 do 90 min (slika 7). Maksimalnom protoku svake varijante odgovara određena maksimalna dubina/kota nivoa, u kanalu. Poređenjem ove dubine/kote, sa tragom najveće dubine/kote koja je registrovana na terenu nakon proloma (slika 8), utvrđeno je da je prolom nasipa trajao oko 90 min.



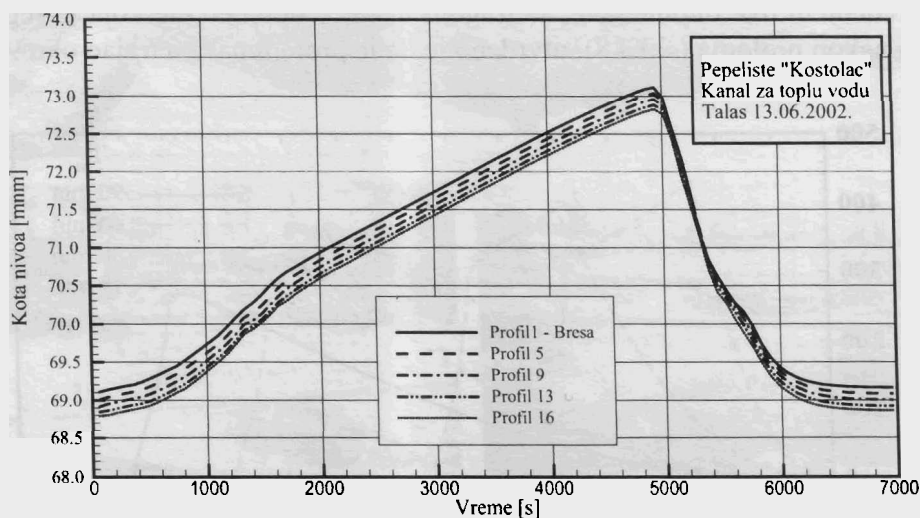
Slika 7. Računski hidrogrami otekle mešavine za različita trajanja formiranja breše

Pod pretpostavkom linearnog razvoja breše, moglo se zaključiti da se najveći protok javio 1.36 h (81 min) nakon početka rušenja i da je iznosio oko $230 \text{ m}^3/\text{s}$. Ovom protoku je odgovarala dubina od 2.16 m i brzina isticanja od 4.5 m/s.



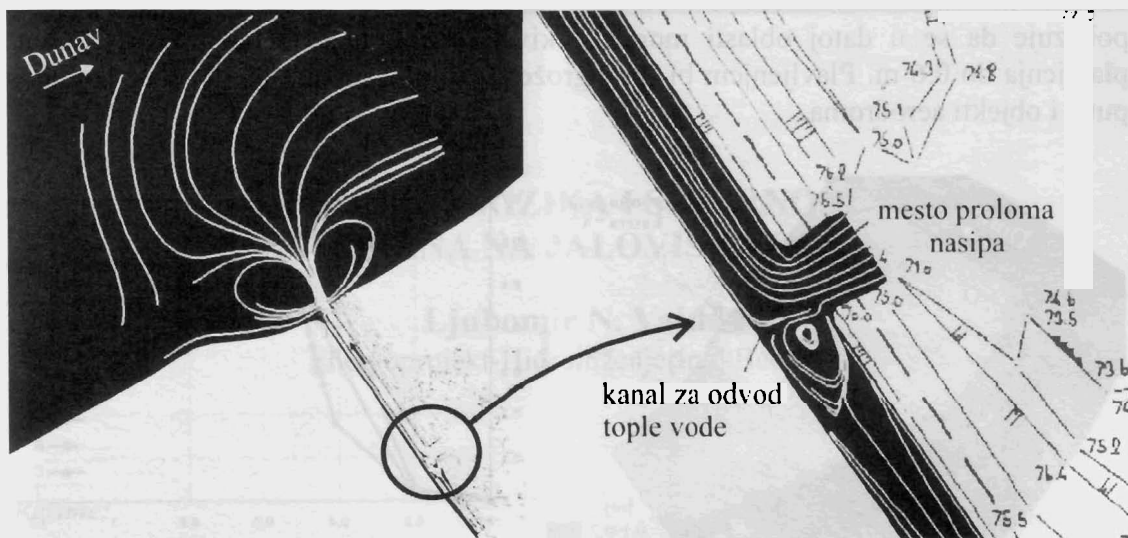
Slika 8. Trag najveće dubine u kanalu na osnovu koga je kalibrisan računski model

Na osnovu zapremine otekle vode i zapremine materijala, utvrđeno je da je u datom slučaju početna zapreminska koncentracija čvrste faze u mešavini iznosila oko 6%. To znači da je mešavina imala karakter njutnovskog fluida, da je tekla u turbulentnom režimu i da se proračun prostiranja talasa ove mešavine mogao zasnivati na rešavanju San Venanovih jednačina, bez uvođenja posebnih reoloških zavisnosti. Rezultati proračuna prikazani su na slici 9. Može se konstatovati da je poplavni talas u celosti "prihvaćen" kanalom za toplu vodu i njime odveden u Dunav. U ovom kanalu nema mogućnosti za ublaženje talasa, tako da je usputno smanjenje protoka i kota nivoa zanemarljivo. Najveće kote nivoa su iznosile oko 73 mm (slika 9), a dubine oko 4.8 m.



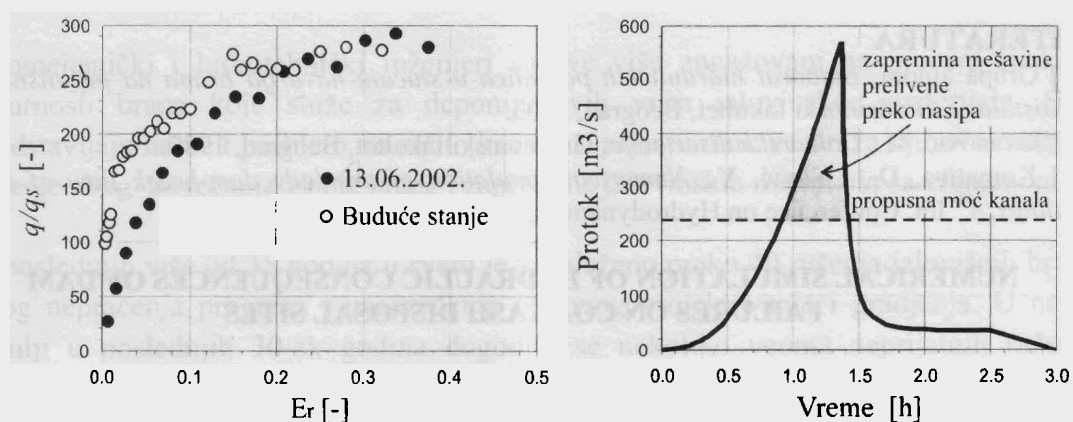
Slika 9. Rezultati proračuna prostiranja talasa mešavine kanalom od profila breše do ušća u Dunav, primenom linijskog modela. Može se konstatovati malo usputno ublaženje talasa.

Detaljnija numerička simulacija istog događaja obavljena je pomoću modela ravanskog tečenja zasnovanog na metodi konačnih elemenata. Rezultati su prikazani na slici 10.



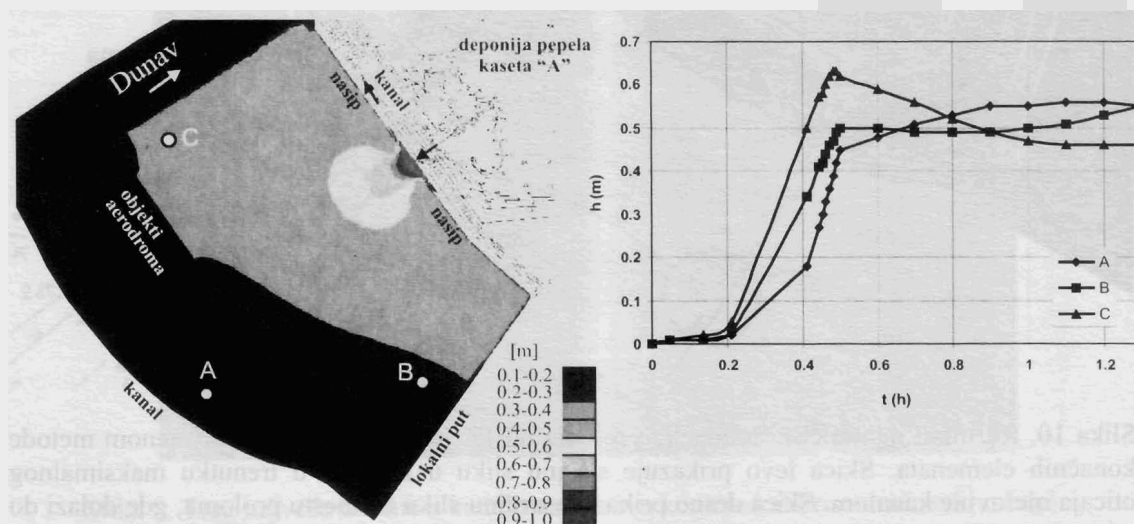
Slika 10. Rezultati numeričke simulacije proloma od 13. juna 2002. godine primenom metode konačnih elemenata. Skica levo prikazuje strujnu sliku u Dunavu u trenutku maksimalnog oticaja mešavine kanalom. Skica desno prikazuje strujnu sliku na mestu proloma, gde dolazi do mešanja vode iz kanala i mešavine koja otiče iz deponije.

Nakon kalibracije računskog modela na osnovu događaja iz 2002. godine, pristupilo se prognozi hidrauličkih posledica eventualnog proboja nasipa u konačnoj fazi eksploatacije pepelišta, kada će visina nasipa biti oko 23 m. Kriva zapremine sa slike 6 ekstrapolovana je do nove visine nasipa (kota 94 mm), zadržavajući istu dubinu izdvojene vode kao u sadašnjem stanju. Trajanje razvoja breše (3 h) određeno je iz uslova da odnos protoka mešavine kroz brešu i pronosa materijala erodiranog iz trupa nasipa u budućim uslovima bude približno isti kao prilikom proloma 2002. godine (slika 11).



Slika 11. Dijagram levo prikazuje bezdimenzionu zavisnosti koje opisuje brzinu formiranja breše: q – jedinični protok mešavine kroz brešu, q_s – jedinični pronos materijala erodiranog iz trupa nasipa, Er – odnos trenutne i konačne zapremine breše (“erozioni broj” : $0 \leq Er \leq 1$). Zavisnosti su slične za trajanje razvoja breše od oko 3 h. Dijagram desno prikazuje odgovarajući računski hidrogram oticaja.

Deo talasa, koji odgovara propusnoj moći kanala, biće odveden kanalom u Dunav, a deo će prelići nasip i razliti se u zoni aerodroma. Prelivena zapremina mešavine iznosi oko 215 000 m³. Rezultati numeričke simulacije plavljenja prikazani su na slici 12. Proračun pokazuje da se u datoj oblasti mogu očekivati brzine tečenja do 1 m/s i dubine plavljenja do 0.6 m. Plavljenjem bi bili ugroženi brojni stambeni objekti duž lokalnog puta i objekti aerodroma.



Slika 12. Rezultati numeričke simulacije hidrauličkih posledica proloma nasipa visine 23 m. Ovi rezultati, dobijeni primenom metode konačnih elemenata, moraju se imati u vidu pri donošenju odluke o konačnoj visini nasipa (odnosno o trajanju eksploatacije pojedinih kasete), kao i o preduzimanju mera zaštite ugroženog područja.

ZAKLJUČAK

Problem predviđanja hidrauličkih posledica havarija brana na pepelištima je izuzetno složen. Numerički modeli predstavljaju moćno sredstvo za rešavanje ovog problema, ali njihova kalibracija i primena zahteva podatke o havarijama zabeleženim u prošlosti.

LITERATURA

- [1] Grupa autora, *Elaborat hidrauličkih posledica u slučaju havarija brana na pepelištu TE "Kostolac"*, Građevinski fakultet, Beograd, 2003.
- [2] Jovanović, M., *Doktorska disertacija*, Građevinski fakultet, Beograd, 1987.
- [3] Komatina, D., Lalović, V., *Numerical simulation of unsteady dam-break flow of mine tailings*, 4th Int. Conference on Hydrodynamics, Yokohama, 2000.

NUMERICAL SIMULATION OF HYDRAULIC CONSEQUENCES OF DAM FAILURES ON COAL ASH DISPOSAL SITES

Abstract. The objectives of numerical simulation of hydraulic consequences of dam failure on coal ash disposal sites are to define the scope of flooding, consider possibility of early warning, and undertake the appropriate protective measures. This paper discusses the specific characteristics of flood waves induced by partial dam failure on ash disposal sites, as well as the problems of numerical modelling of this phenomenon. The results of a case study, used for model calibration, are presented.

Key words: dams at coal ash disposal sites, dam failure, flood waves, 1D and 2D steady flow models

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

627.8(082)
502.17:627.8(802)

ЈУГОСЛОВЕНСКО друштво за високе бране.
Конгрес (2 ; 2003 ; Кладово)
Зборник радова. Књ. 1, Теме 1, 2, 3, 5 и 6 / Југословенско
друштво за високе бране, Други конгрес, Кладово, 07-10
октобар 2003. - Београд : Jugoslovensko društvo za visoke
brane, 2003 (Beograd : Energoprojekt InGraf). - IV, 356, [3] str.
: ilustr. ; 29 cm

Ćir. i lat. - Tiraž 300. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.
- Registar.

ISBN 86-84787-01-3 (knj. 1)
ISBN 86-84787-00-5 (niz)

а) Бране - Зборници б) Бране - Животна средина -
Зборници
COBISS.SR-ID 108984332

ISBN 86-84787-00-5



9 788684 787004 >

ISBN 86-84787-01-3



9 788684 787011 >