

M. Jovanović
Numerička rečna hidraulika u inženjerskoj praksi

Predavanje u vidu kompjuterske prezentacije održano je u okviru redovnog seminara AINS, 4.05.2011. godine u Svečanoj sali Građevinskog fakulteta u Beogradu.


Rezime predavanja:

Uvođenje složenih numeričkih alata u oblast rečne hidraulike revolucionarno je unapredilo praksu uređenja vodotoka – od iskustveno-empirijske discipline do teorijski utemeljene delatnosti koja omogućava pouzdanu analizu fizičkih procesa i efikasnu proveru projektnih rešenja. Nakon kratkog prikaza numeričkih modela otvorenih tokova - linijskih (1D), ravanskih (2D) i prostornih (3D) - i načina njihove kalibracije - navode se primeri iz sopstvene prakse koji ilustruju primenu numeričkih modela u oblastima projektovanja regulacionih radova i građevina, upravljanja rizikom od poplava i analize režima rečnog nanosa i morfodinamike rečnih tokova.

Uputstvo za gledanje prezentacije

Prezentacija se pokreće u nekom pdf viewer programu, npr. Acrobat Reader DC.



Na nekim slajdovima postoji ikona  koja naznačava mogućnost aktiviranja video inserta. To se obavlja upiranjem kursora na ikonu i dvostrukim pritiskom na dugme miša, čime se automatski startuje program Windows Media Player (ili neki drugi odgovarajući program). Zaustavljanje video inserta se obavlja isključenjem programa za gledanje video inserta, čime se korisnik vraća na polazni slajd.

Da bi se videli video inserti, potrebno je preuzeti (downloadovati) fajl [AINS-MJovanovic.zip](#) i na svom računaru kreirati poseban direktorijum !

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

др Миодраг Б. Јовановић

редовни професор Грађевинског факултета у Београду
редовни члан Академије инжењерских наука Србије

mjovanov@grf.bg.ac.rs

mjovanov@eunet.rs

Садржај

1. Нумерички модели у речној хидраулици
2. Калибрација нумеричких модела
3. Примена нумеричких модела
4. Закључак

1.

Нумерички модели у речној хидраулици

Шта су то “нумерички модели” у речној хидраулици?

Хидрауличке величине код “отворених токова” (гравитационих струјања са слободном површином) одређују се нумеричким решавањем

система парцијалних диференцијалних једначина са одговарајућим почетним и граничним условима.

Једначине које описују отворене токове представљају “дескриптивни модел” таквих токова, а заједно са методом нумеричког решавања, чине “нумерички” или “рачунски модел”.

Речни токови су **неустаљени** – временски променљиви. Само ако су промене по времену мале, дозвољава се претпоставка о **устаљности** речних токова.

У зависности од природе проблема, речни токови се **у простору** могу разматрати као:

- **линијски (1D)**
- **равански (2D)**
- **просторни (3D)**

Линијски (1D) токови

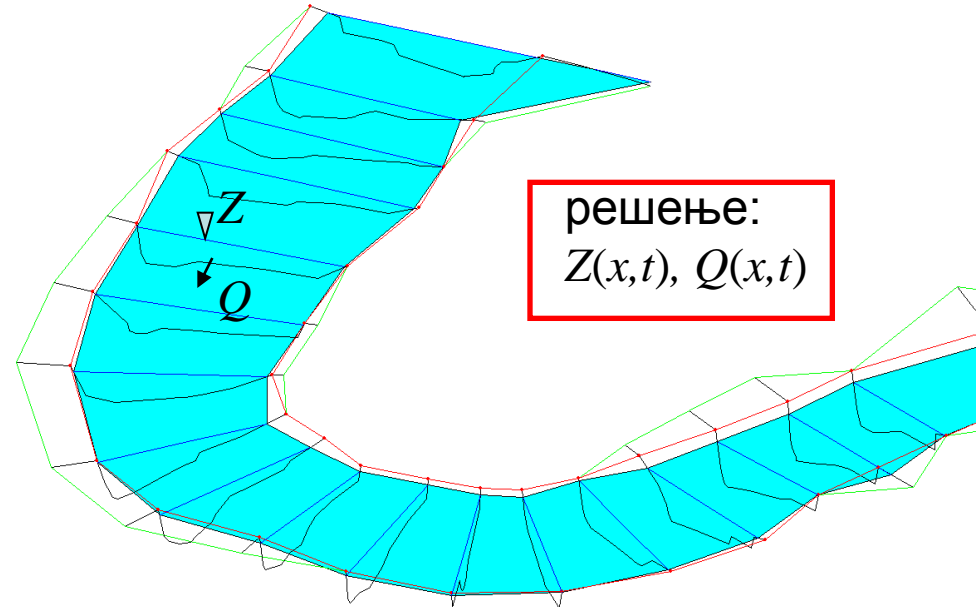
Закони одржања масе и количине кретања -
Сан Венанове једначине (St. Venant):

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{q}{B} = 0.$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \frac{\partial Z}{\partial x} + g \cdot A \cdot I_e = 0.$$

$$I_e = \frac{n^2 \cdot Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} = \frac{Q |Q|}{K^2}$$

+ почетни и гранични услови



За нумеричко решавање користе се:

- Метода карактеристика
- Метода коначних разлика / запремина
- Метода коначних елемената

Равански (2D) токови

Струјно поље:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

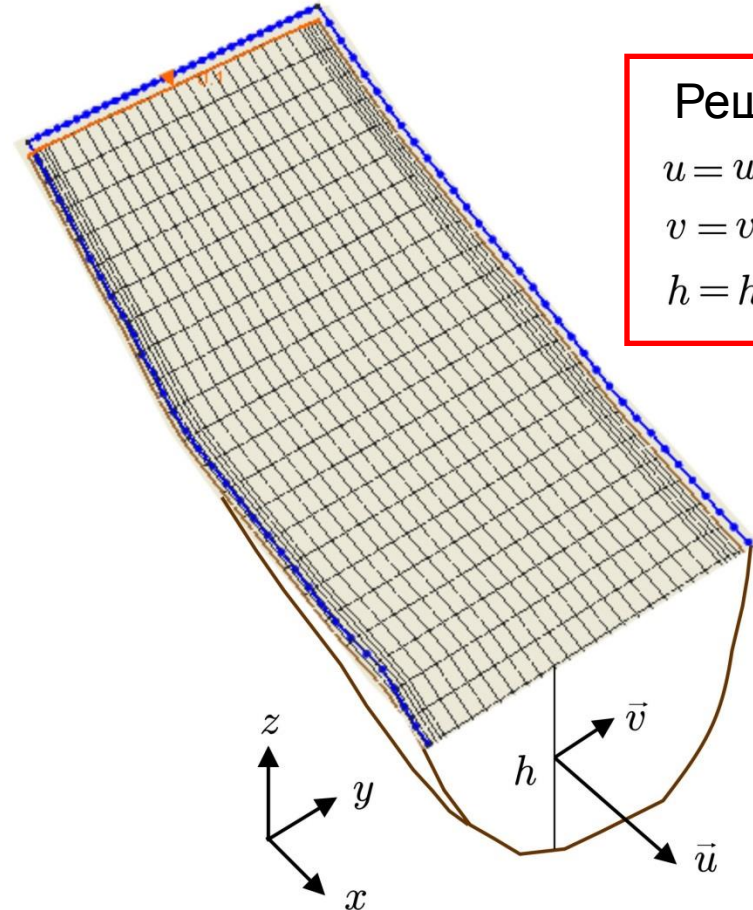
$$h \frac{\partial u}{\partial t} + h u \frac{\partial u}{\partial x} + h v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + g h \left[\frac{\partial z_D}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{g n^2 u}{h^{4/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} = 0$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + h u \frac{\partial v}{\partial x} + h v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + g h \left[\frac{\partial z_D}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{g n^2 v}{h^{4/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} = 0,$$

+ почетни и гранични услови

Транспорт скалара (концентрације, темп

посебне (“транспортне”) једначине које се решавају за познато струјно поље



Решење:

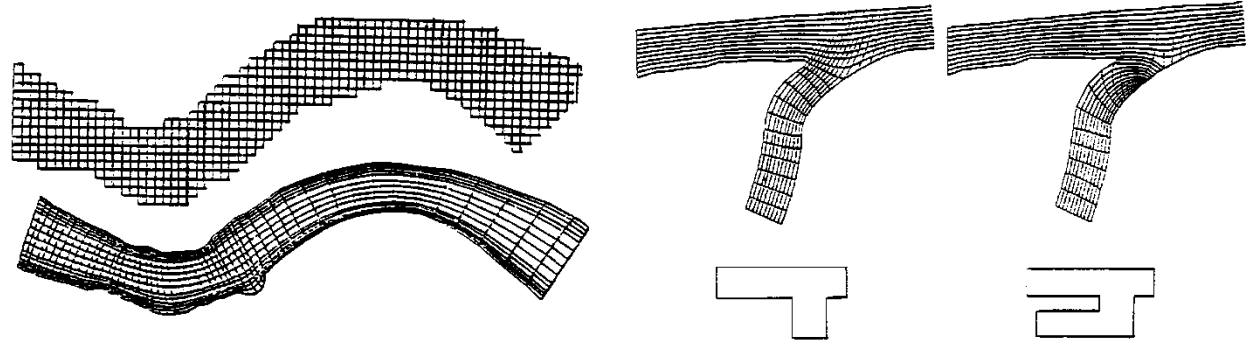
$$u = u(x, y, t)$$

$$v = v(x, y, t)$$

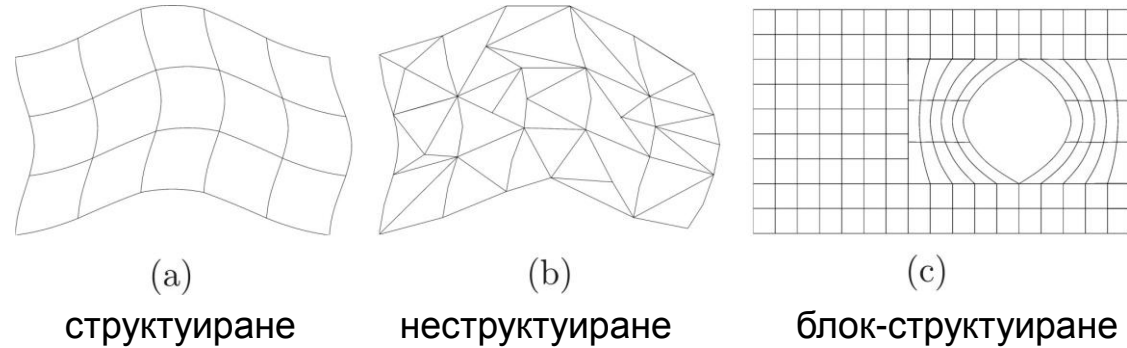
$$h = h(x, y, t)$$

Равански (2D) токови

Метода коначних разлика



Метода коначних запремина

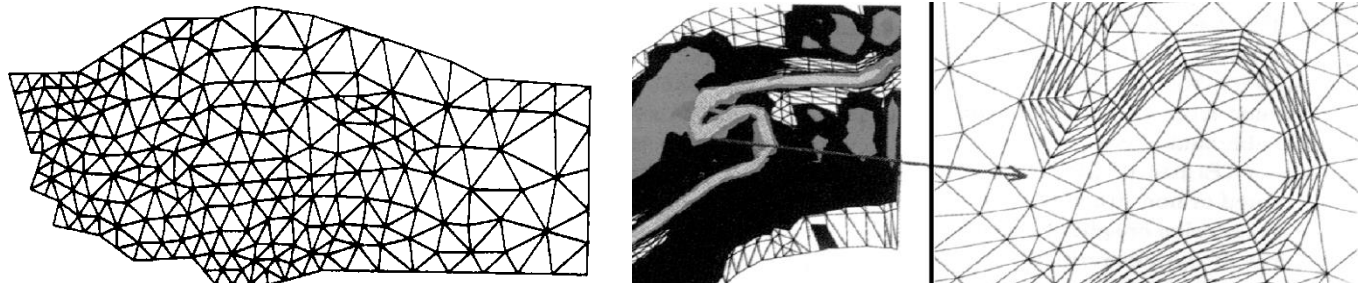


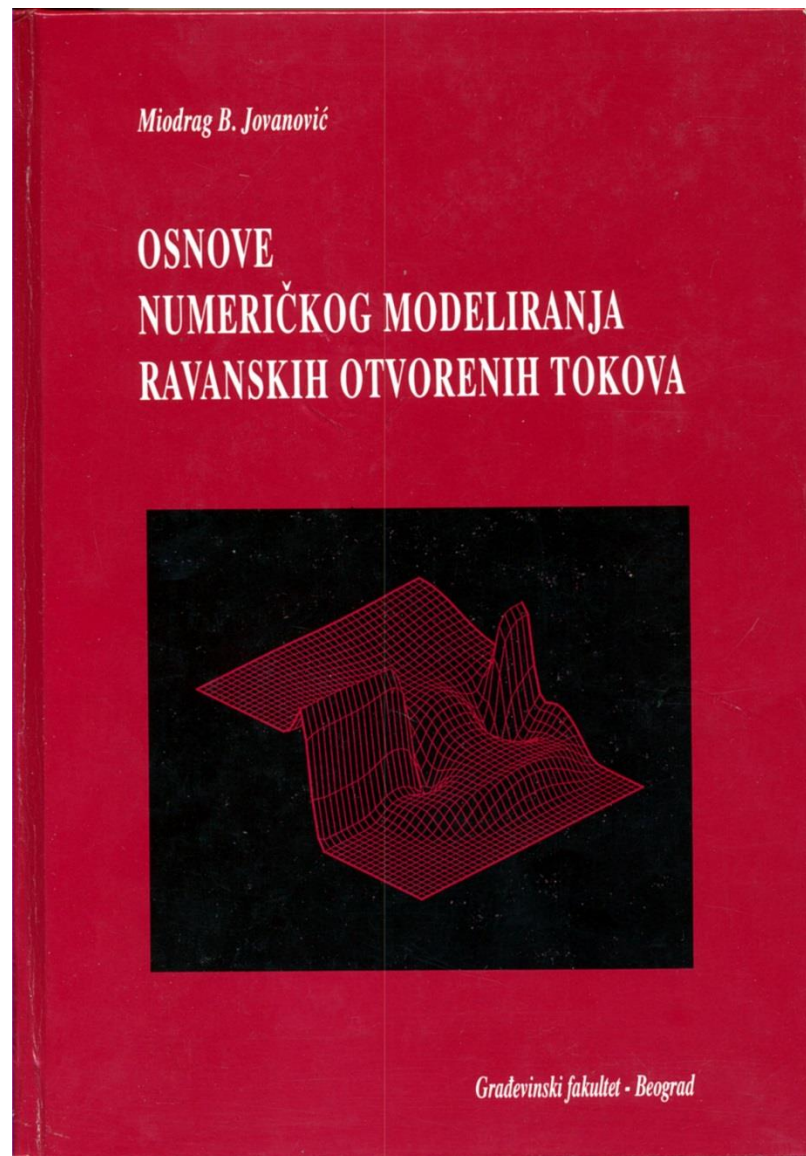
(a) структуриране

(b) неструктуриране

(c) блок-структуриране

Метода коначних елемената





Струјно поље:

Просторни (3D) токови

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{2}{3} \left[\nu_t \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} \right) - k \right] \right\} + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_t \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial (uv)}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{2}{3} \left[\nu_t \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial z} \right) - k \right] \right\} + \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_t \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial (wv)}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{2}{3} \left[\nu_t \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) - k \right] \right\} + \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right]. \end{aligned}$$

+ почетни и гранични услови

решење:

$$u = u(x, y, z, t)$$

$$v = v(x, y, z, t)$$

$$w = w(x, y, z, t)$$

$$p = p(x, y, z, t)$$

$$\downarrow$$

$$h = h(x, y, z, t)$$

Просторни (3D) токови

Сложени модели турбуленције - додатне транспортне једначине са одговарајућим почетним и граничним условима

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} + w \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P_k - \varepsilon$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + w \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \\ &+ C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}, \end{aligned}$$

где је P_k - производња (продукција) кинетичке енергије турбуленције:

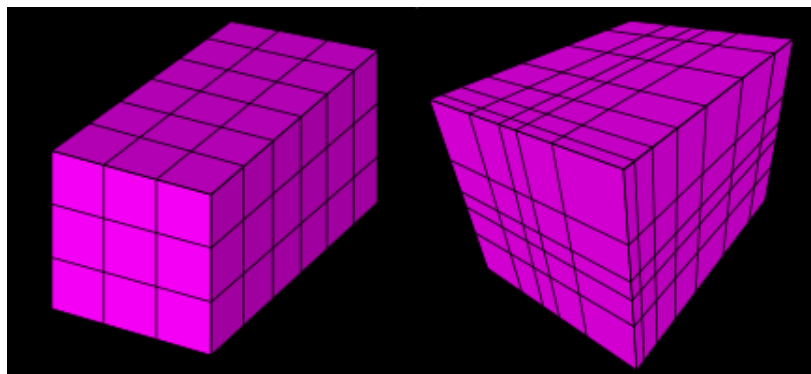
$$\begin{aligned} P_k &= \nu_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial u}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial u}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \\ &+ \nu_t \left[\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial v}{\partial z} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right], \end{aligned}$$

а $c_\mu = 0.09$, $C_{\varepsilon 1} = 1.44$, $C_{\varepsilon 2} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$ и $\sigma_\varepsilon = 1.3$ - емпиријске константе.

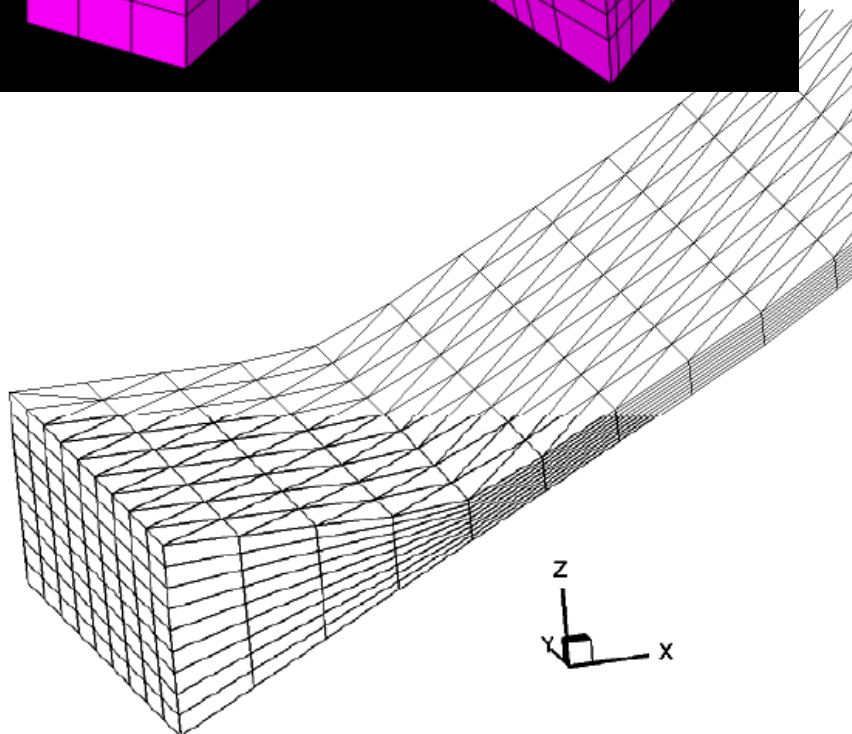
$$\nu_T = c_\mu \frac{k}{\varepsilon^2}$$

Просторни (3D) токови

Метода коначних запремина



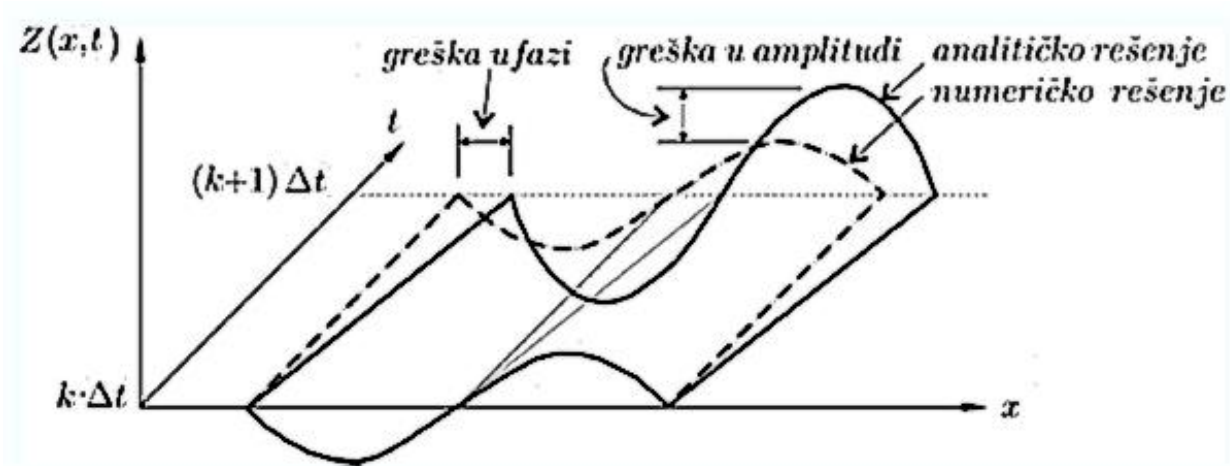
Метода коначних елемената



Проблеми нумеричког моделирања речних токова

Грешке рачунске схеме

пример линијског (1D) струјања

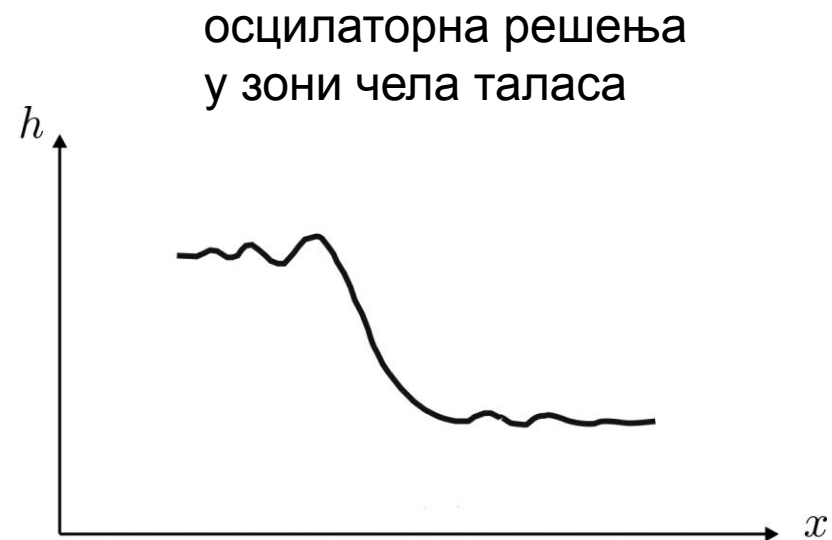
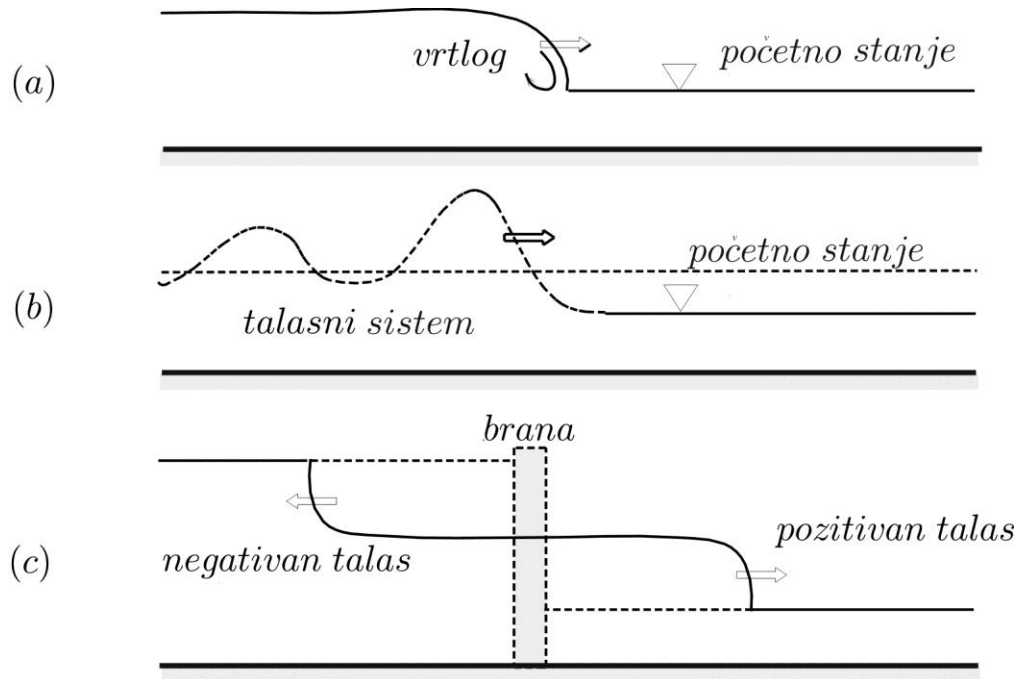


$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{(V \pm c)_{\max}}$$

Проблеми нумеричког моделирања речних токова (2)

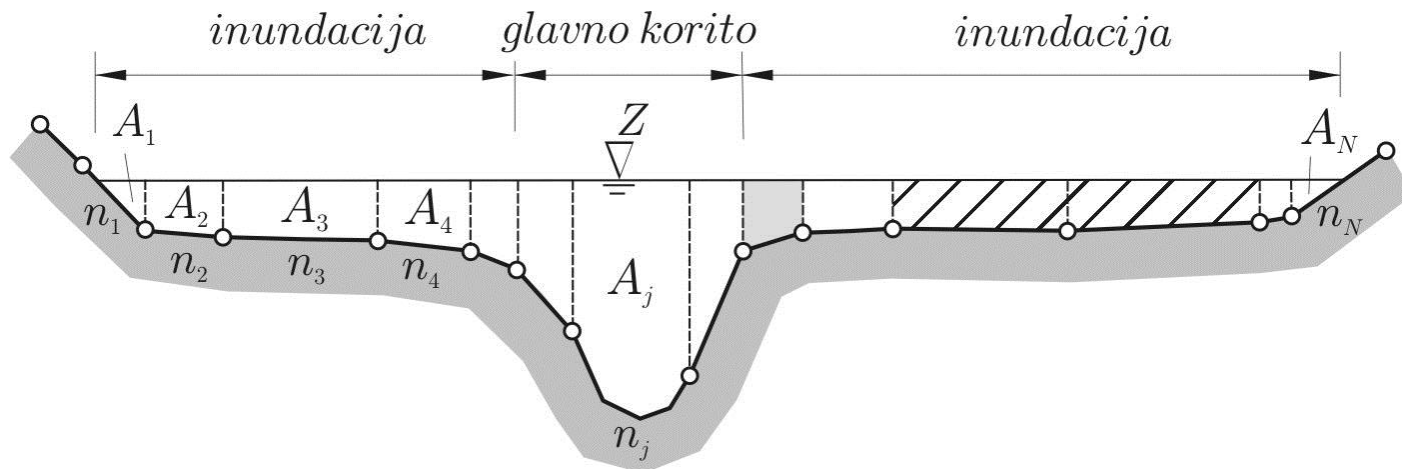
Таласи са стрмим челом

- бујични таласи
- таласи изазвани проломом насипа, брана, ...



Проблеми нумеричког моделирања речних токова (3)

Неуниформност рапавости по попречном пресеку

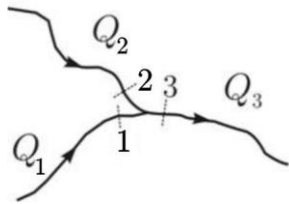


Проблеми нумеричког моделирања речних токова (4)

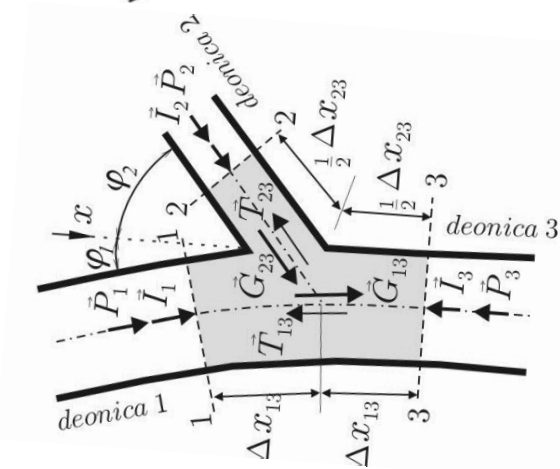
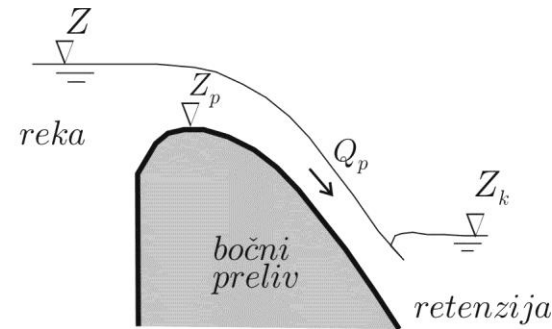
Дисконтинуитети струјног поља:
“унутрашњи гранични услови” са условима компатибилности

примери линијског (1D) струјања

Ушће:



Прелив:



- nepotopljeno prelivanje:

$$Q_p = C_{Q1} \cdot L_p \sqrt{2g} (Z - Z_p)^{3/2}$$

$$Z_k - Z_p \leq \frac{2}{3} (Z - Z_p)$$

- potopljeno prelivanje:

$$Q_p = C_{Q2} \cdot L_p \sqrt{2g} (Z_k - Z_p) (Z - Z_k)^{1/2}$$

$$Z_k - Z_p > \frac{2}{3} (Z - Z_p)$$

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Beleška o autoru. Dr Miodrag Jovanović je redovni profesor Građevinskog fakulteta u Beogradu, gde na osnovnim studijama predaje predmete Regulacija reka i Plovni putevi i pristaništa, a na doktorskim studijama, predmete Numeričke metode u hidrotehnici, Transportni procesi u hidrotehnici i ekologiji i Zaštita od poplava. Autor je velikog broja naučnih i stručnih radova. Bio je mentor više magistarskih teza i doktorskih disertacija, kao i šef katedre za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo Građevinskog fakulteta u Beogradu. Član je Akademije inženjerskih nauka Srbije i niza međunarodnih i nacionalnih profesionalnih udruženja.

www.grf.bg.ac.yu./mjovanovic/

O knjizi. „... U ovo vreme se struka hidrotehničkog inženjerstva sve više razdvaja u dve komplementarne grane - „hidroinformatičare“ koji razvijaju metode i pripremaju sve složenije računarske programe i „hidroinženjere“ koji pripremaju sredstva za rešavanje praktičnih inženjerskih zadataka. Kao posledica, oni prvi sve manje imaju neposrednog iskustva, dok onim drugima sve više manjka znanje osnovnih teorijskih stavova. Velika vrлина nove knjige Prof. M. Jovanovića je u tome što se podjednako obraća i jednoj i drugoj stručnoj kategoriji: budućim i sadašnjim „hidroinformatičarima“ daje obrazloženje tehničkog zadatka koga treba rešavati, a „hidroinženjerima“ ukazuje na osnove na kojima se zasnivaju hidroinformatičke metode. Takav pristup od neobične je važnosti već u sadašnjem trenutku, a sasvim je izvesno, postaće sve značajnijim svakom godinom koja prolazi...“

Prof. Stevan Bruk

ISBN 978-86-7518-084-5



Miodrag B. Jovanović

REGULACIJA REKA
Rečna hidraulika i morfologija

drugo
izdanje

REGULACIJA REKA Rečna hidraulika i morfologija

Miodrag B. Jovanović

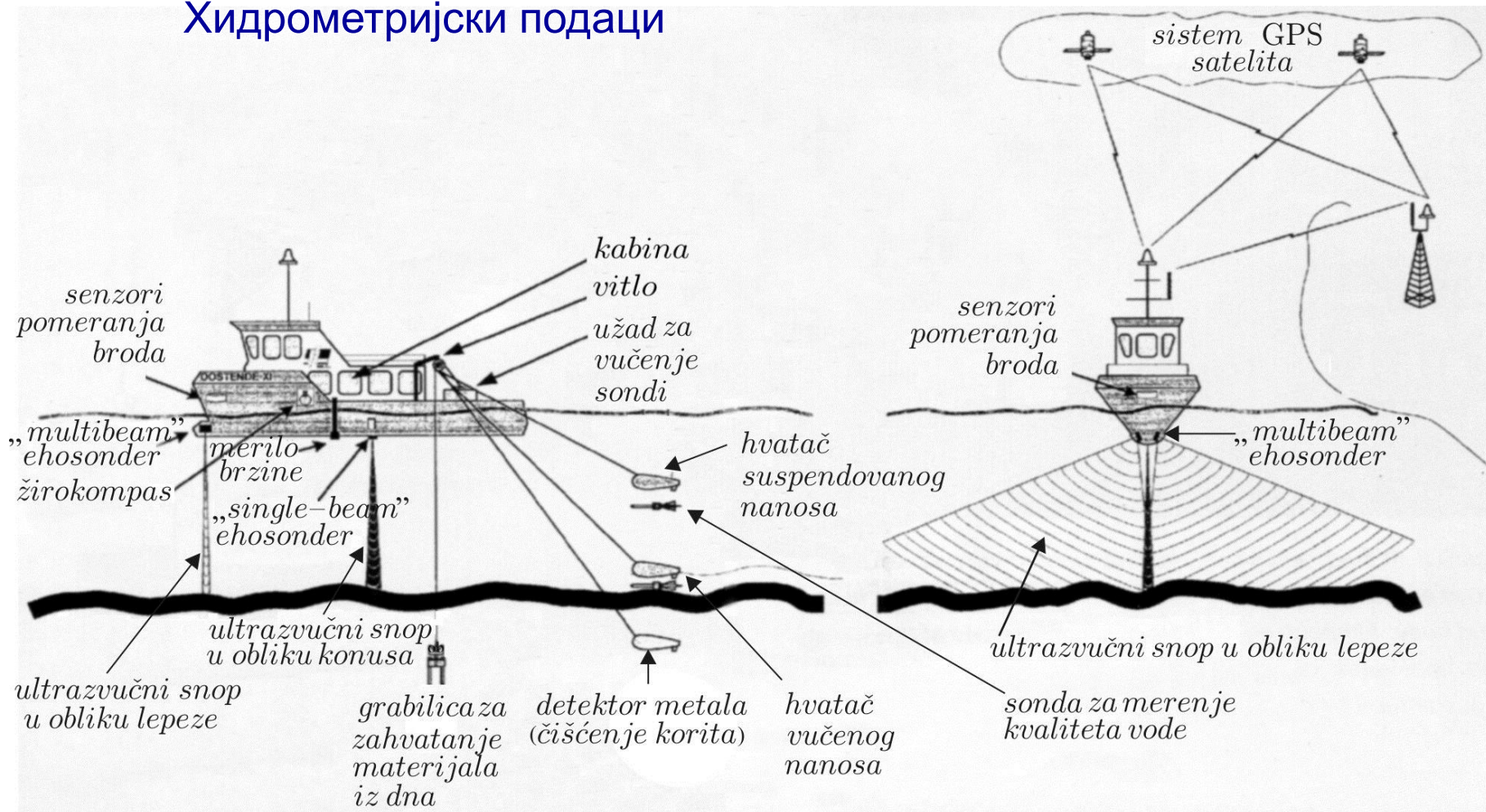
drugo izdanje

Građevinski fakultet - Beograd

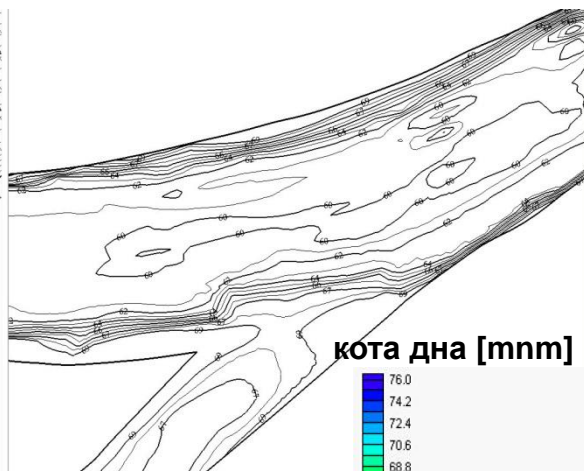
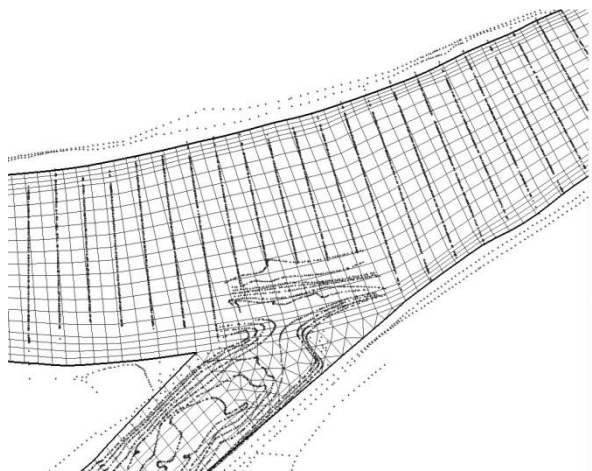
2. Калибрација нумеричких модела

Подлоге за прорачуне у речној хидраулици

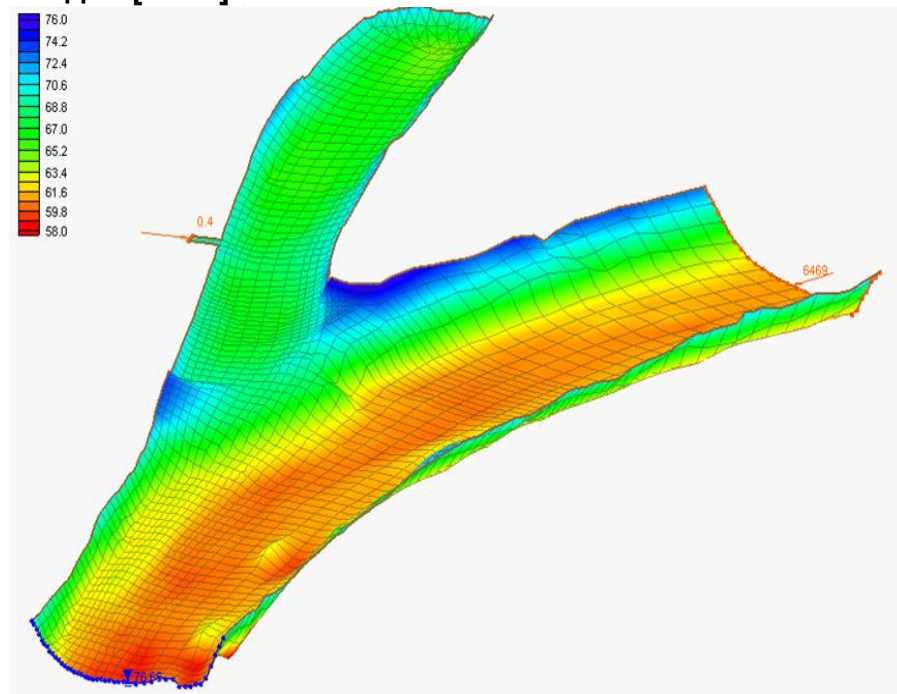
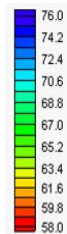
Хидрометријски подаци



Обрада батиметрије

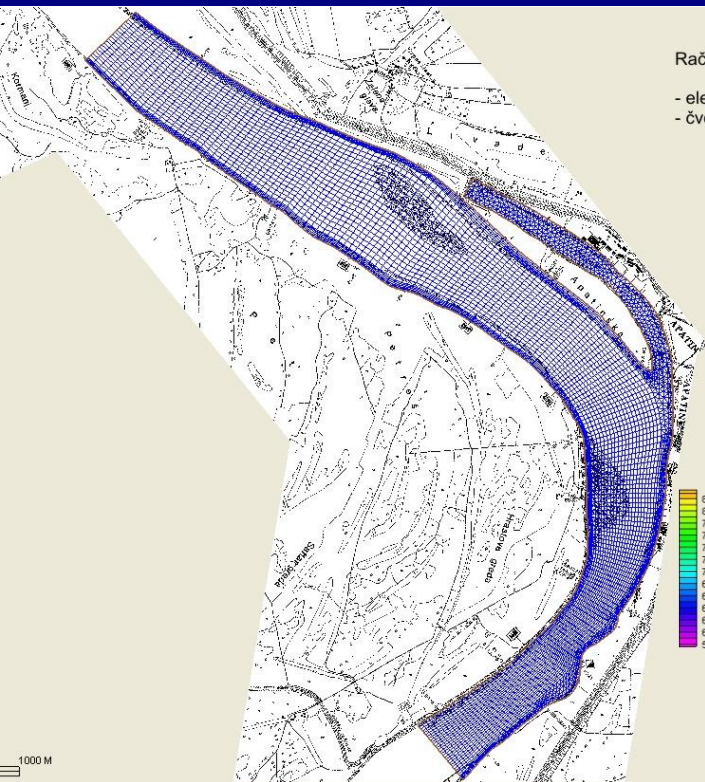


кота дна [mm]



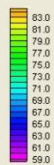
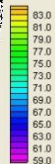
Пример ДМТ
Сава – Чукарнички залив

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Računska mreža

- elemenata: 6917
- čvorova: 19794



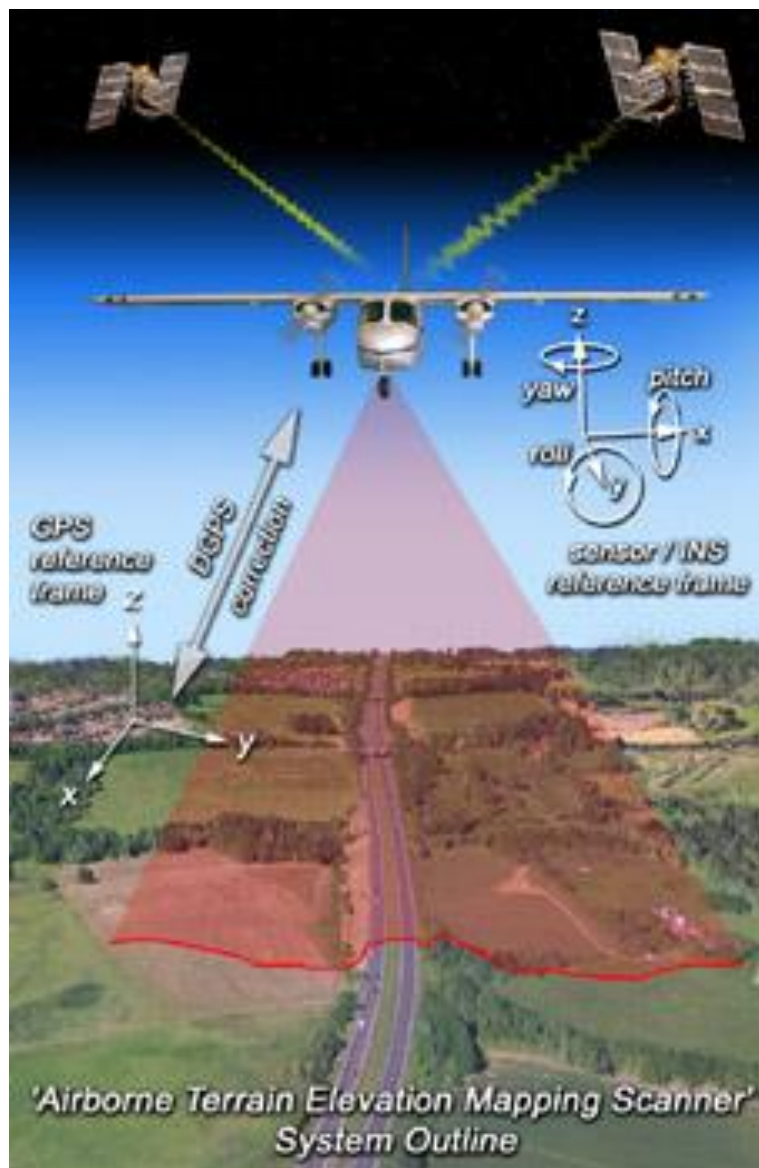
Batimetrija 2005.



Batimetrija 2005.



Пример ДМТ
Дунав код Апатина
km 1405 - 1400



Снимање унундационих површина
за прорачун поплавних таласа

LIDAR (LIght Detection And Ranging)

Оптичка метода даљинске детекције -
технологија ласерског скенирања терена
са земље или из ваздуха

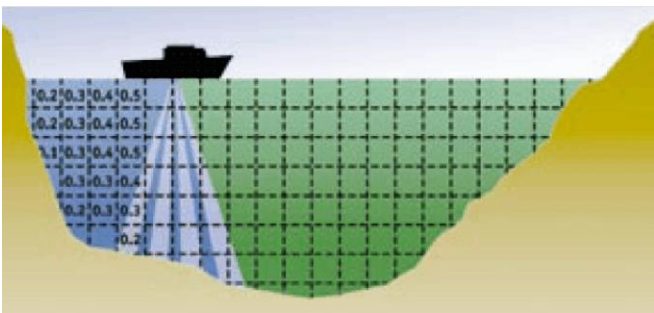
Принцип рада:

- уређај емитује ласерски зрак
- исти уређај прима са терена одбијени зрак
- дужина пређеног пута ласерског зрака одређује се мерењем времена, јер је брзина ласерског зрака константна

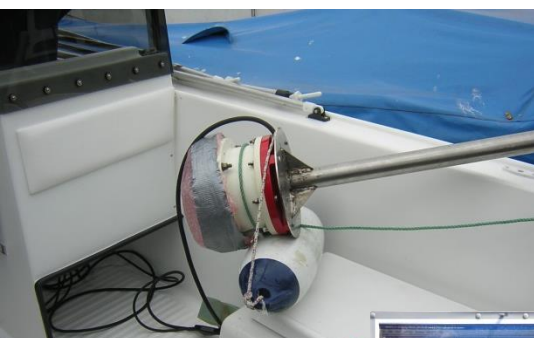
Вертикална тачност: 0,1 - 1 m

Тачност у хоризонталној равни: до 0,5 – 8,0 m

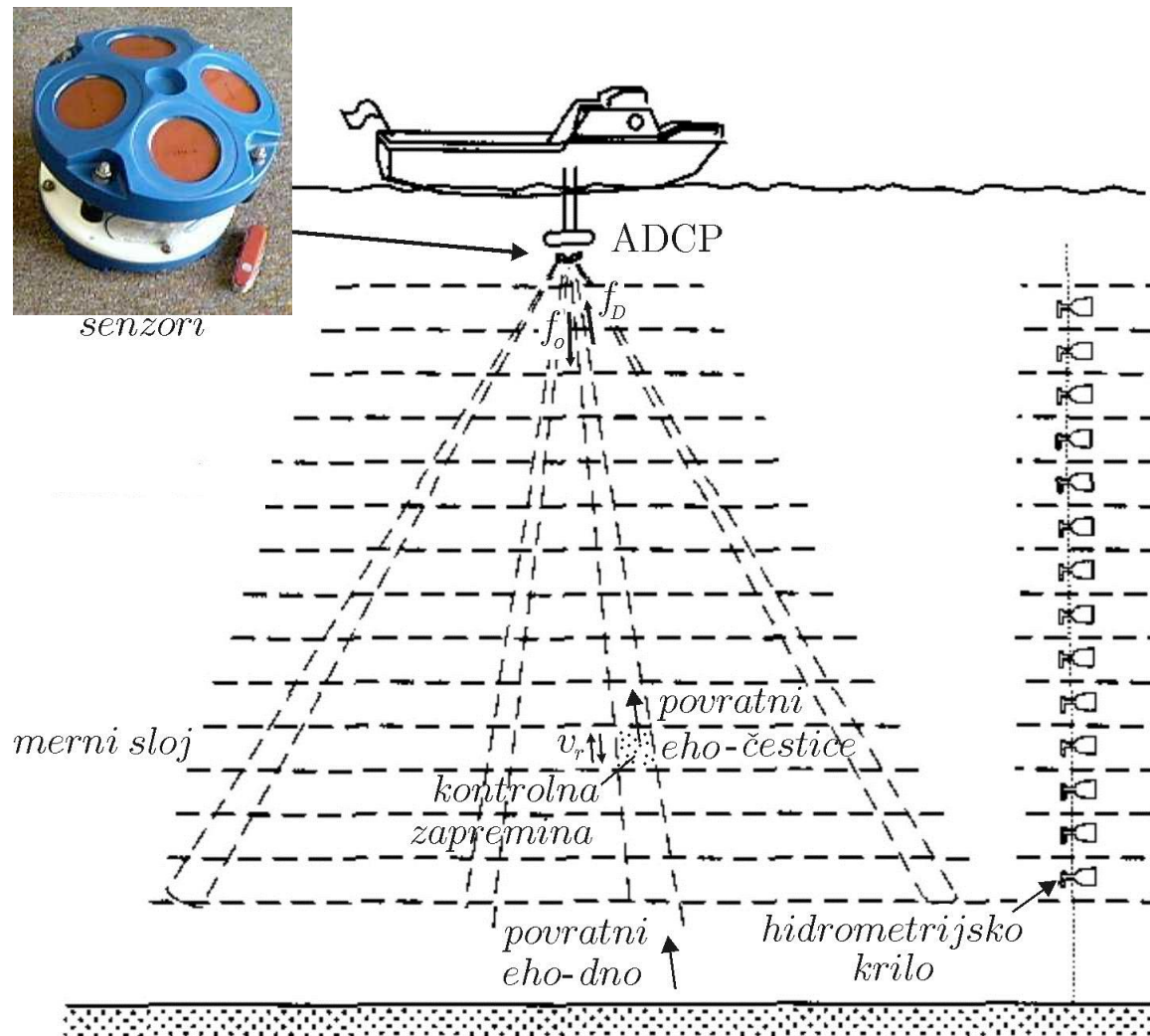
Мерење струјног поља - ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)



senzori

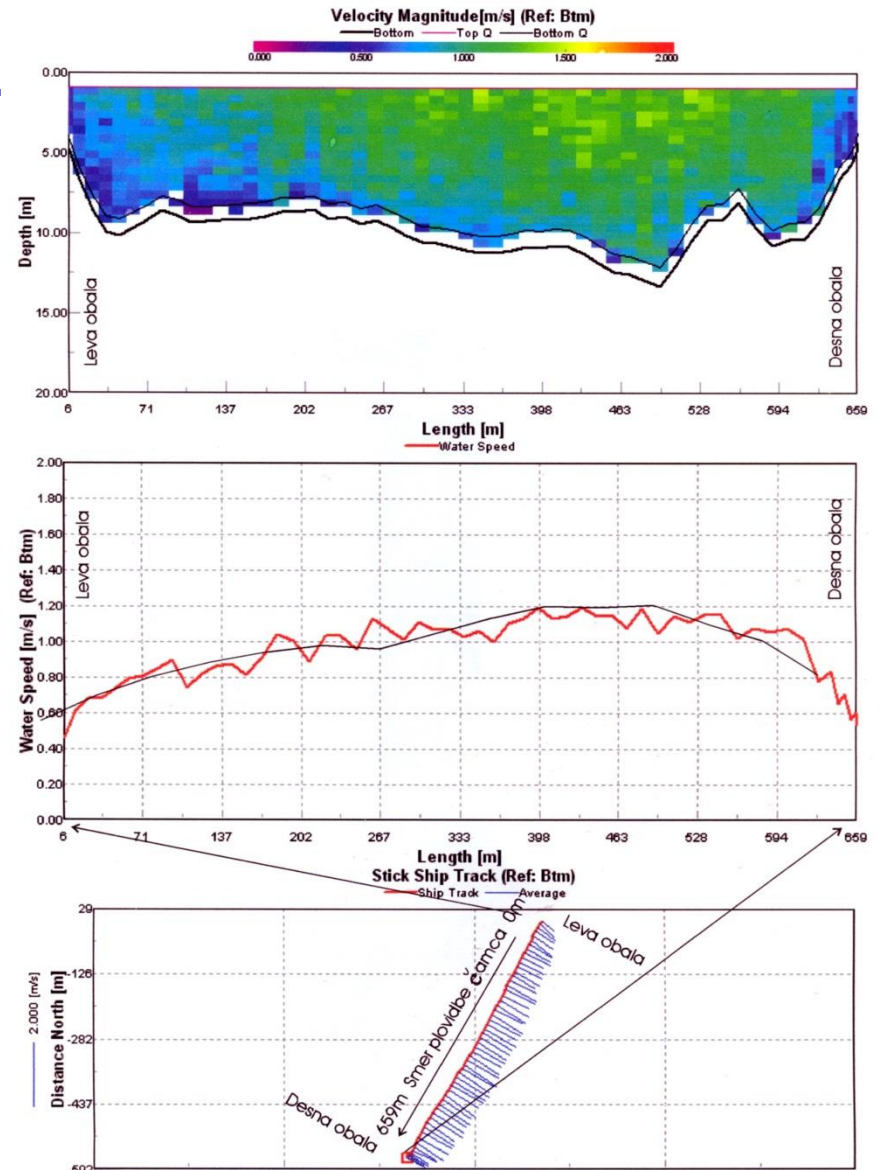
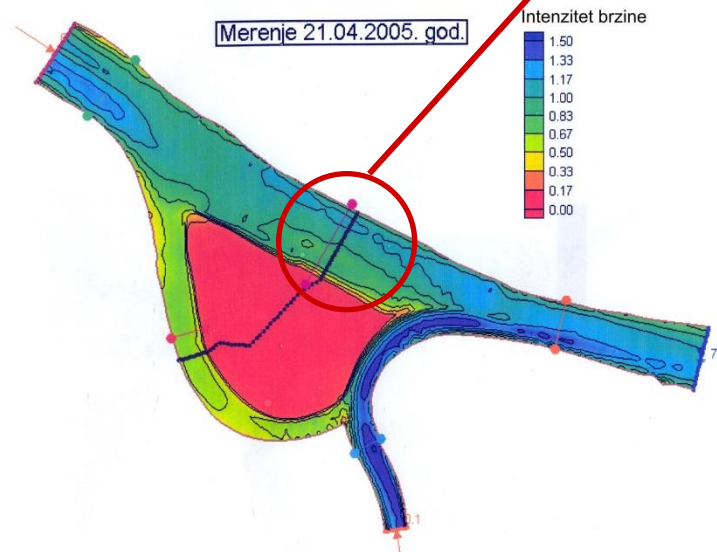
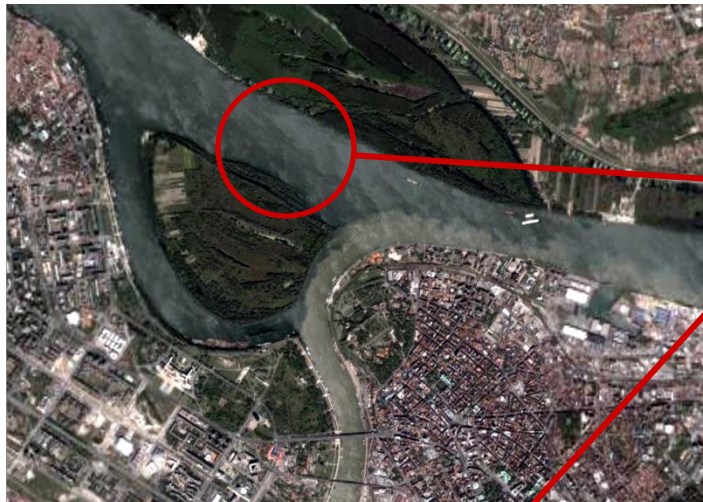


4. мај 2011.



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Пример 1: теренска мерења на ушћу Саве у Дунав, 2004 – 2005. год.



4. мај 2011.

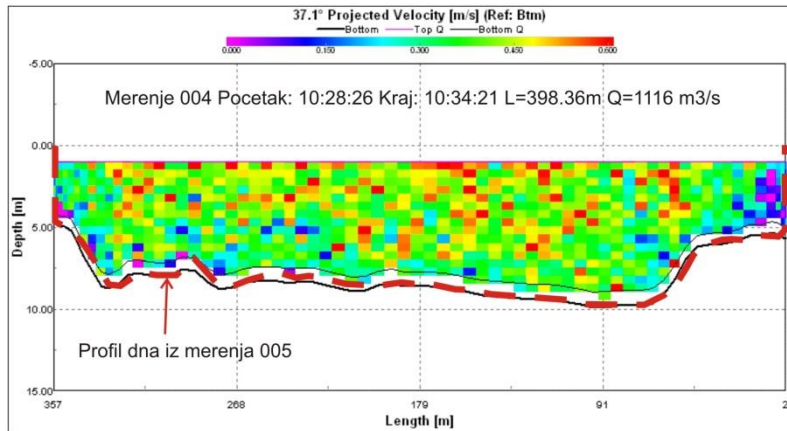
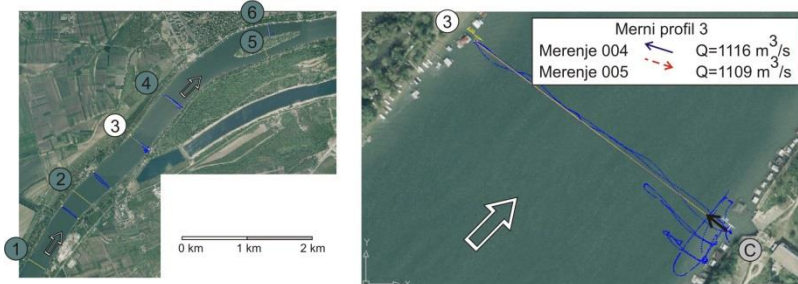
АИНС

28

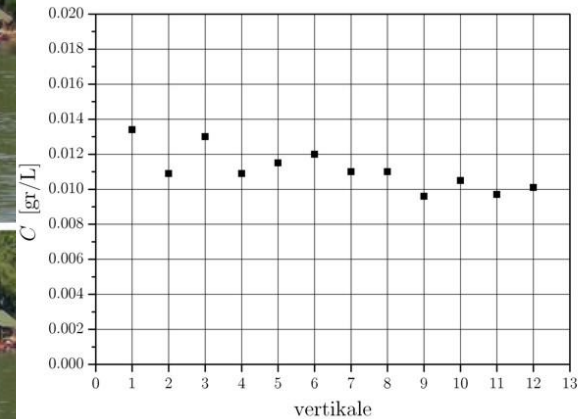
Пример 2: теренска мерења на Сави у зони Макиша, 2007 год.

Мерење струјног поља (РХМЗ)

Merni profil 3 (15 m uzvodno od vodozahvata)



Мерење концентрације наноса (“Ј.Черни”)



3. Примена нумеричких модела

... примери из сопствене праксе којима се илуструју могућности нумеричких модела као ефикасних алата за нумеричку симулацију физичких процеса и проверу пројектних решења

Области:

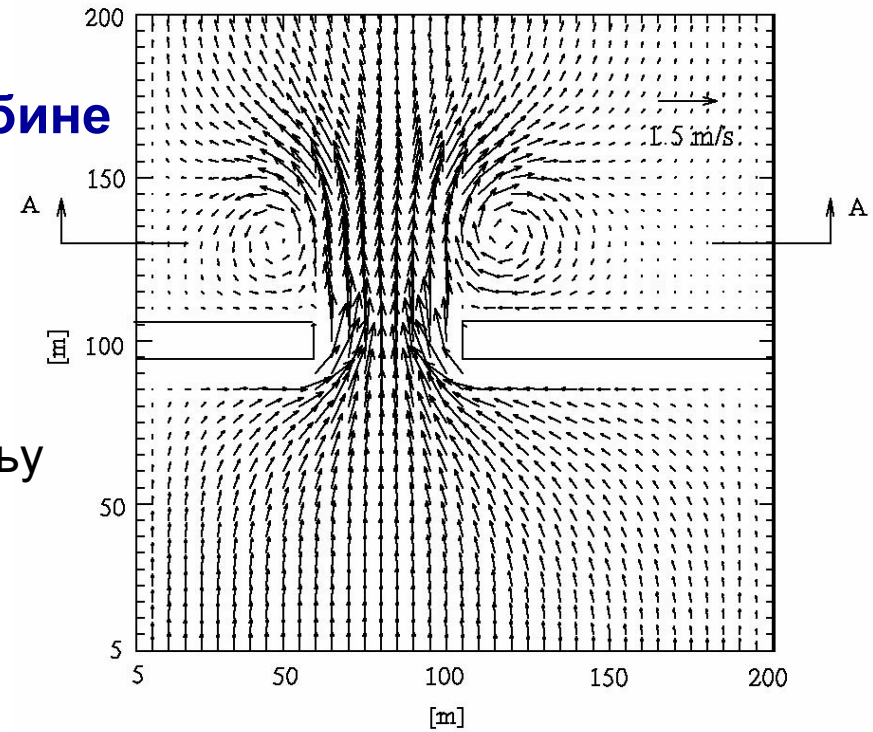
- 3.1 регулациони радови и грађевине**
- 3.2 ерозија корита око мостовских стубова**
- 3.3 управљање ризиком од поплава**
- 3.4 транспортни процеси у хидротехници**
- 3.5 морфодинамика речног корита**

3.1 Регулациони радови и грађевине

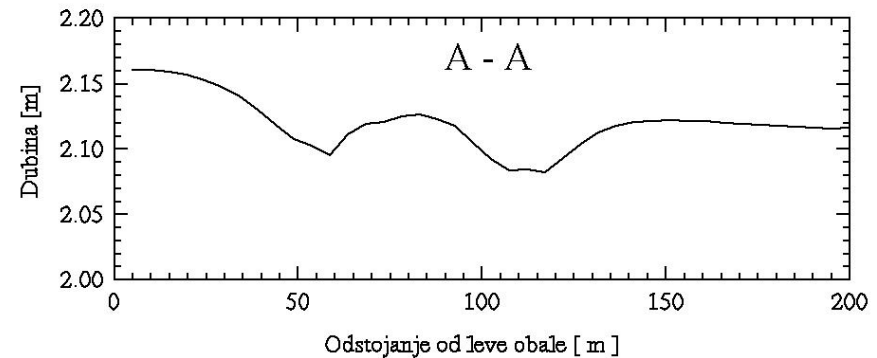
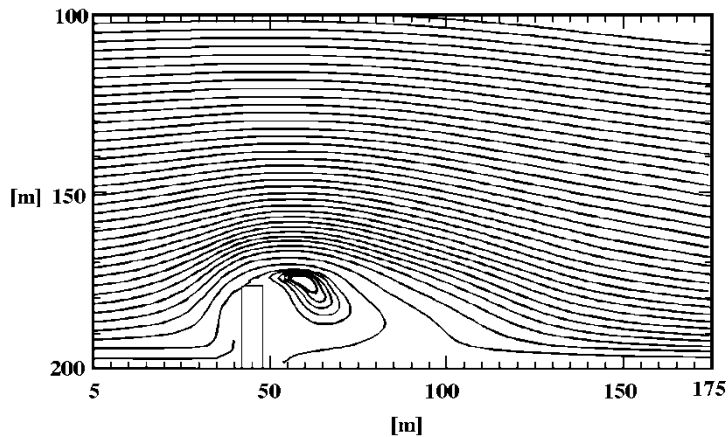
Развој оригиналног софтвера за струјања са наглом променом дубине

(М. Јовановић, Д. Ђорђевић, 1991-1998)

Пример 1: струјање у сужењу



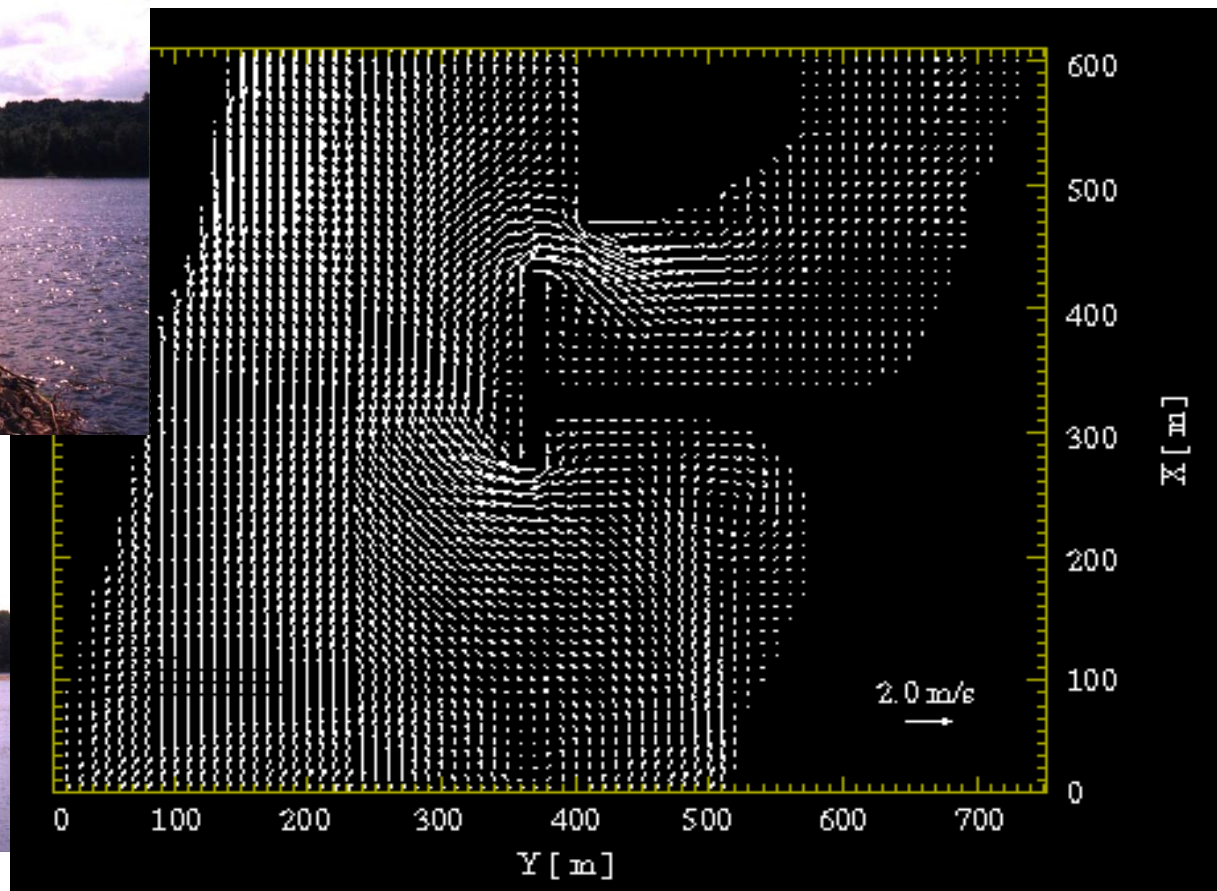
Пример 2: струјање око напера



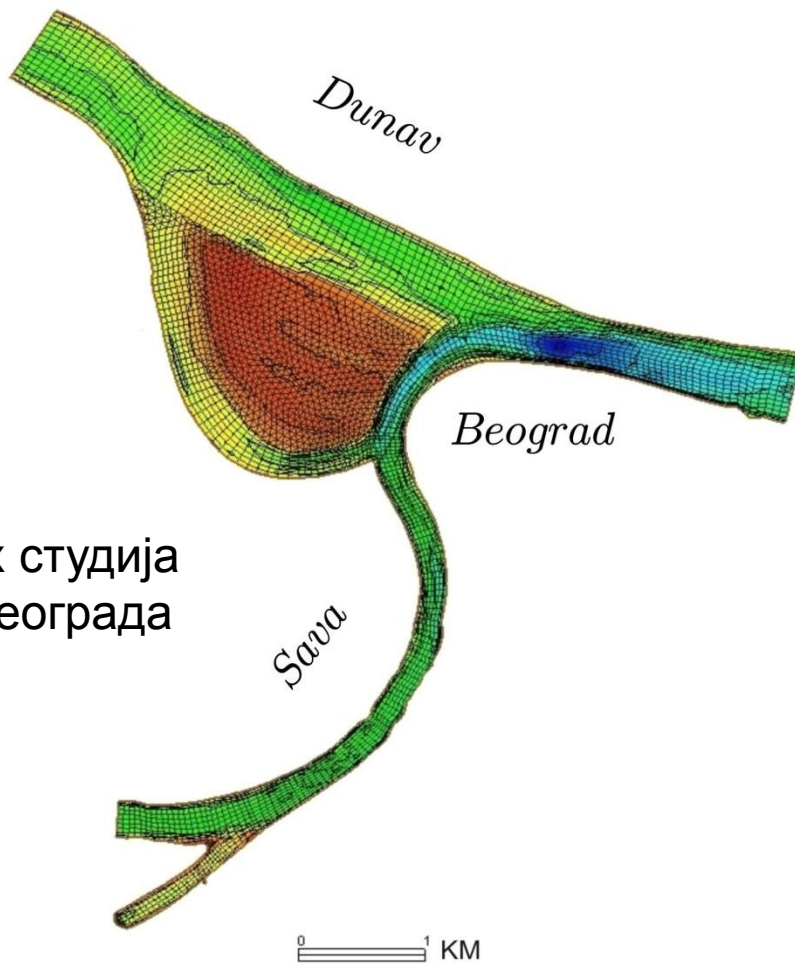
Пример 3: струјање око грађевине у речном кориту



река Сава код Шапца

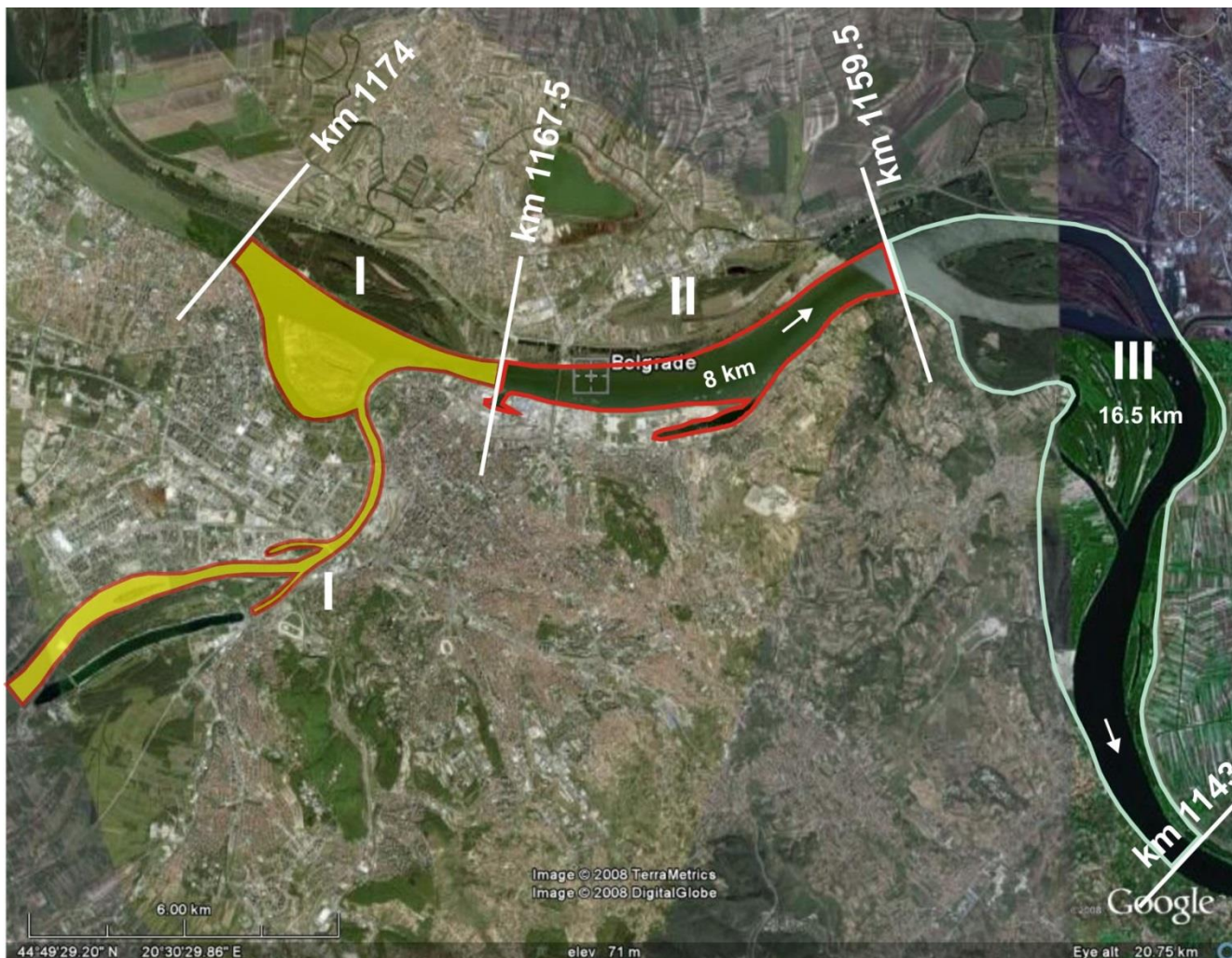


После 2000. године прешло се на коришћење комерцијалног софтвера на бази коначних елемената (RMA2, Telemac)

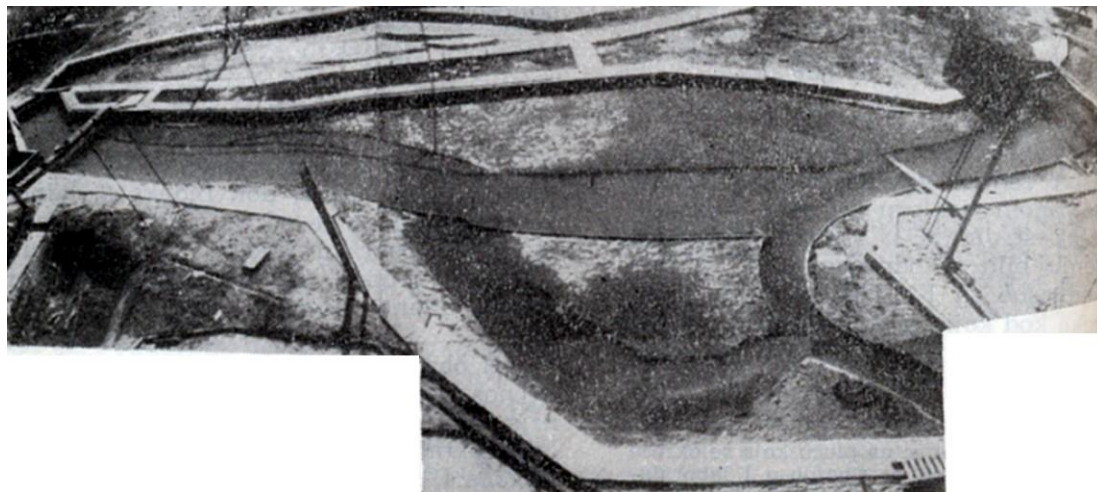
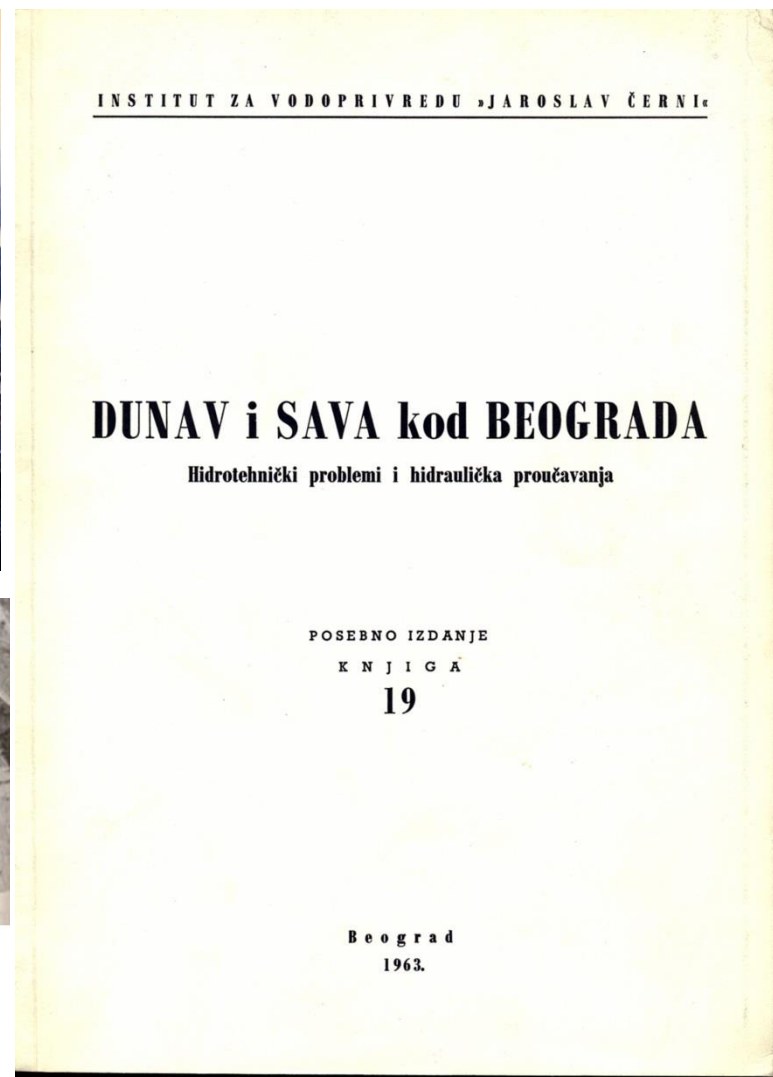


6 хидрауличко-морфолошких студија Дунава и Саве на подручју Београда

Етапни развој рачунског модела београдског хидрочвора



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

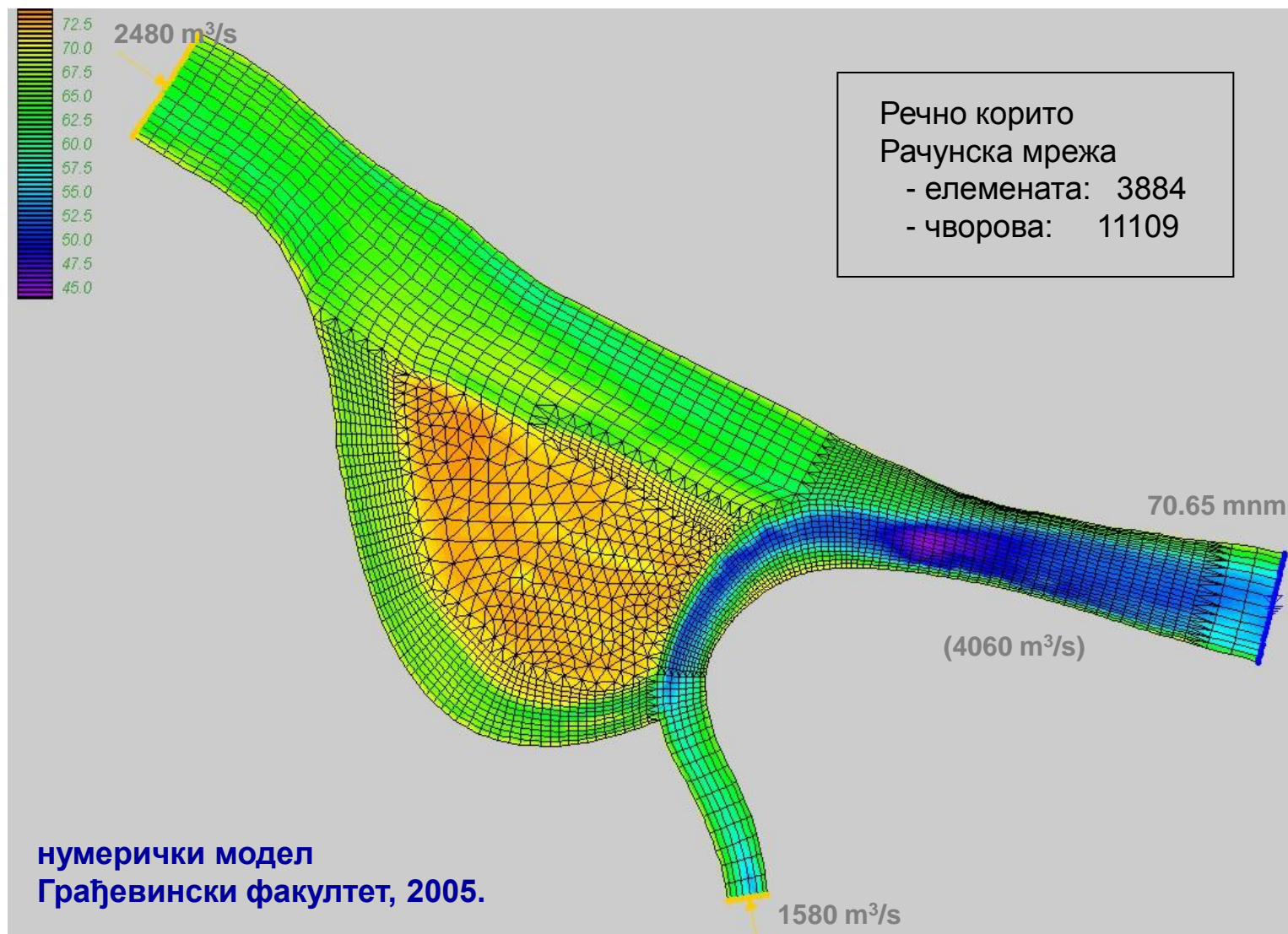


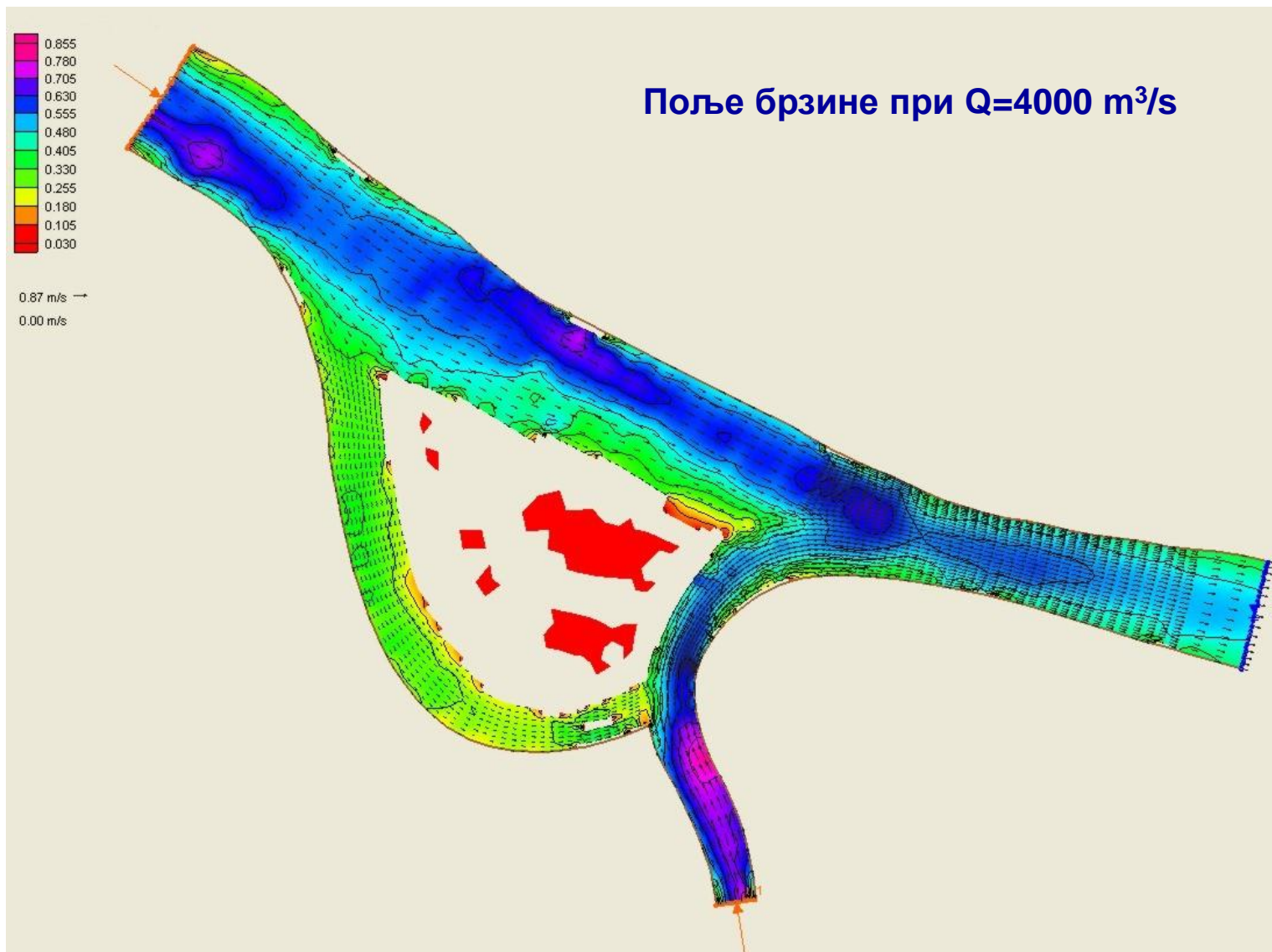
4. мај 2011.

АИНС

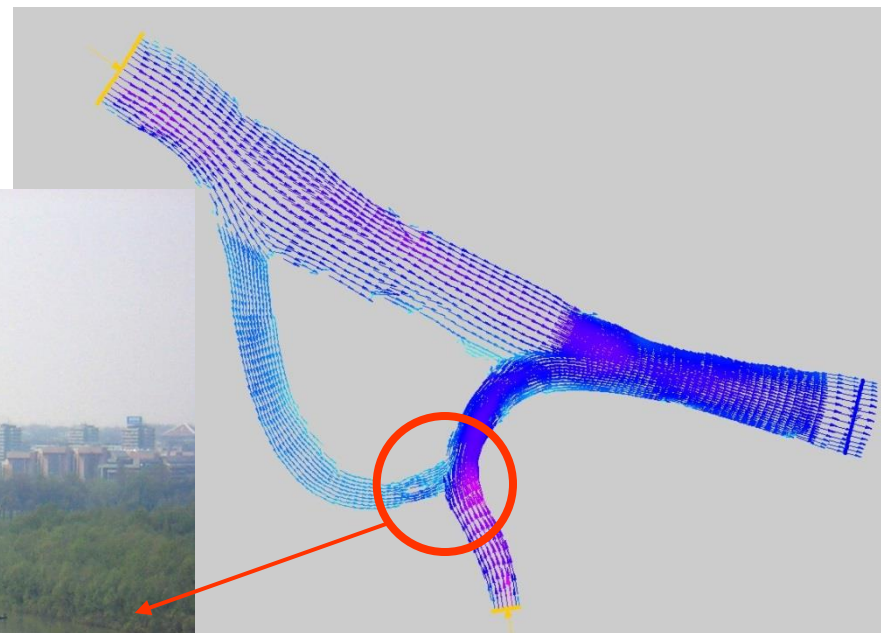
37

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

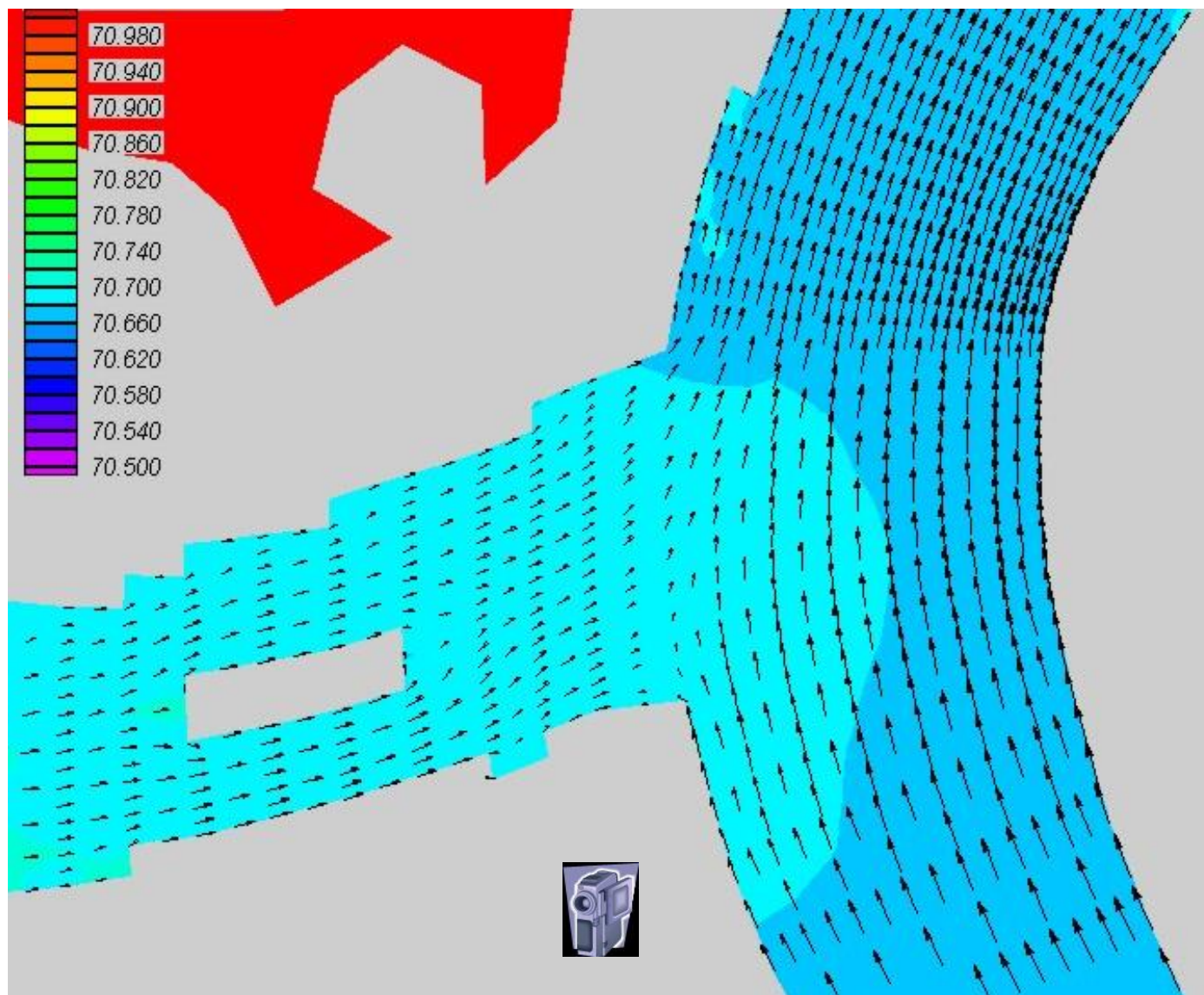




Спој дунавског рукавца са Савом

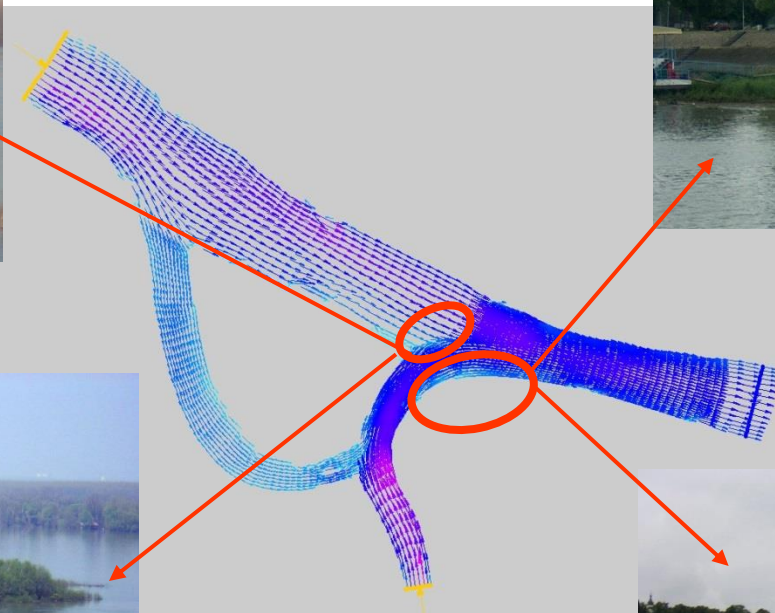


Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Ушће Саве у Дунав

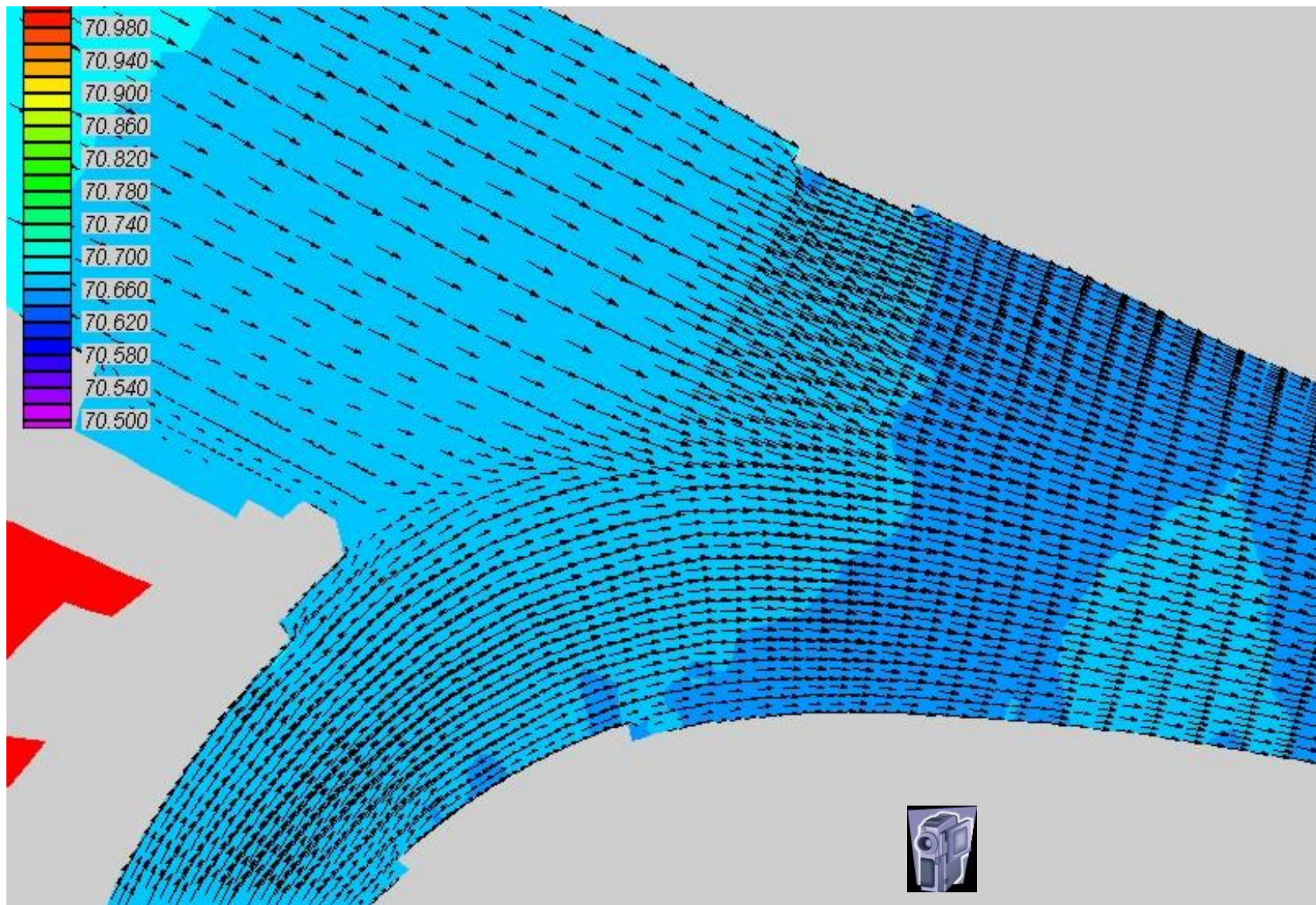


4. мај 2011.

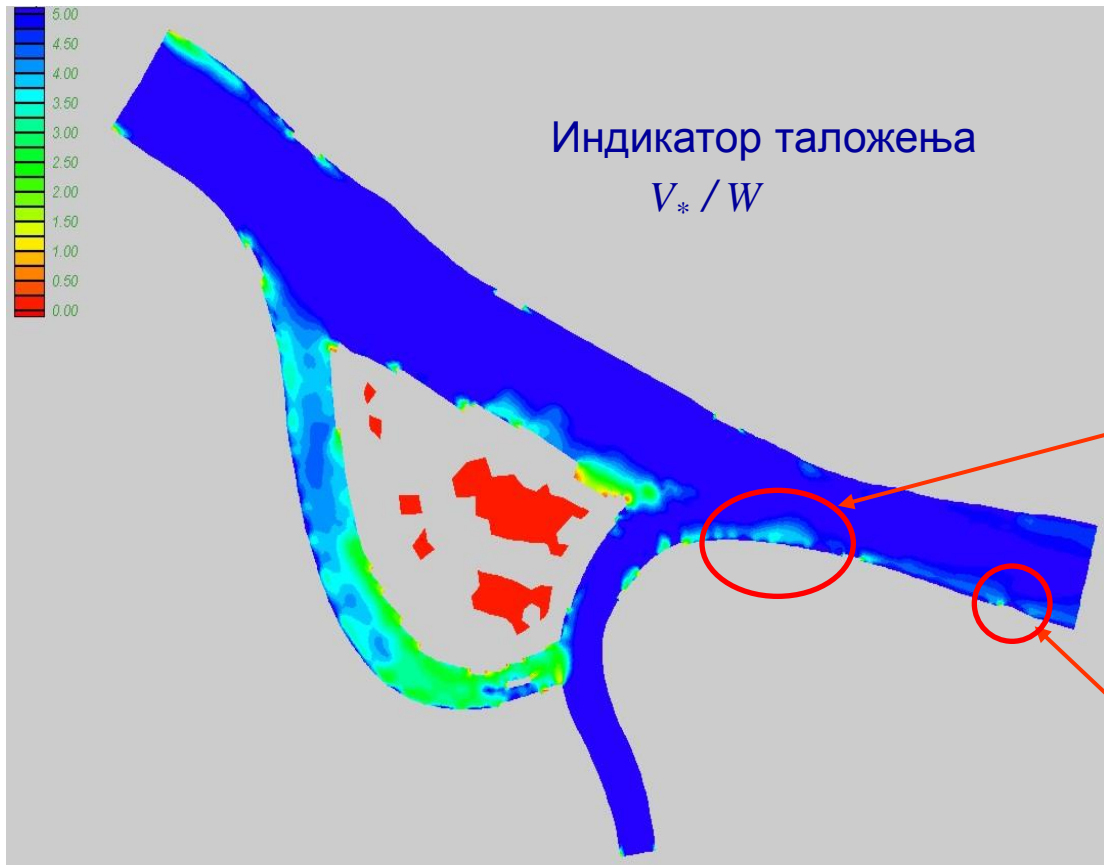
АИНС

42

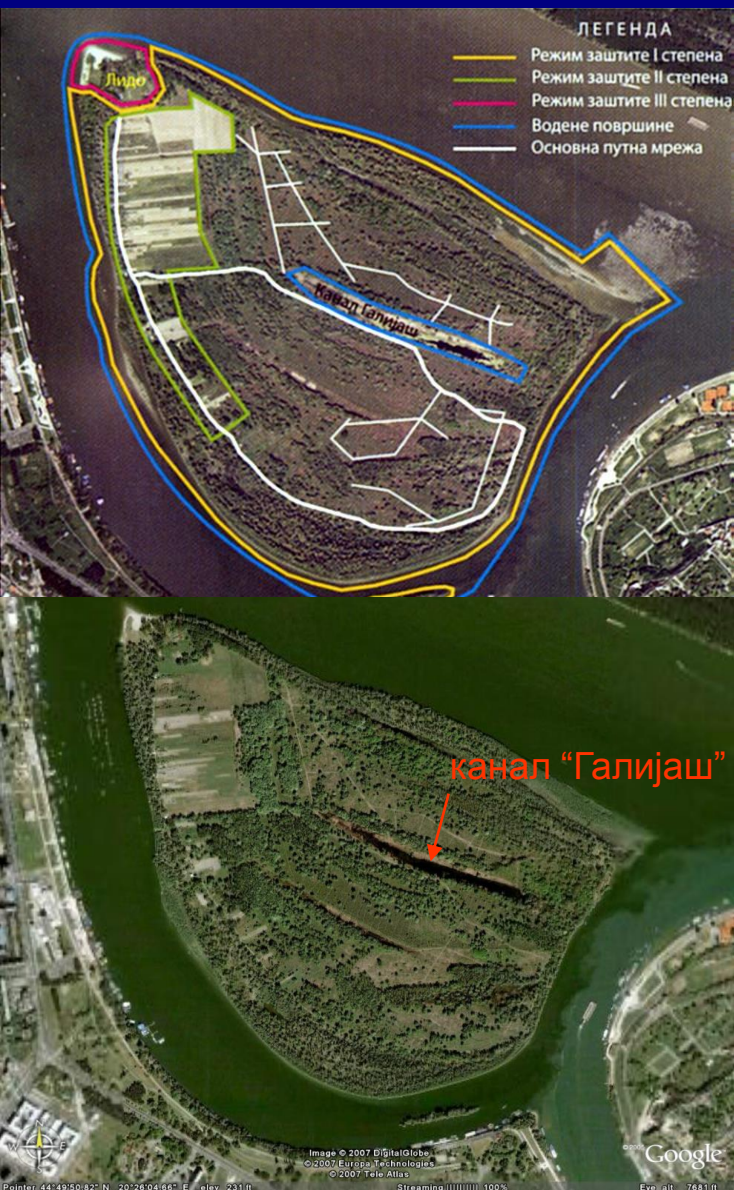
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



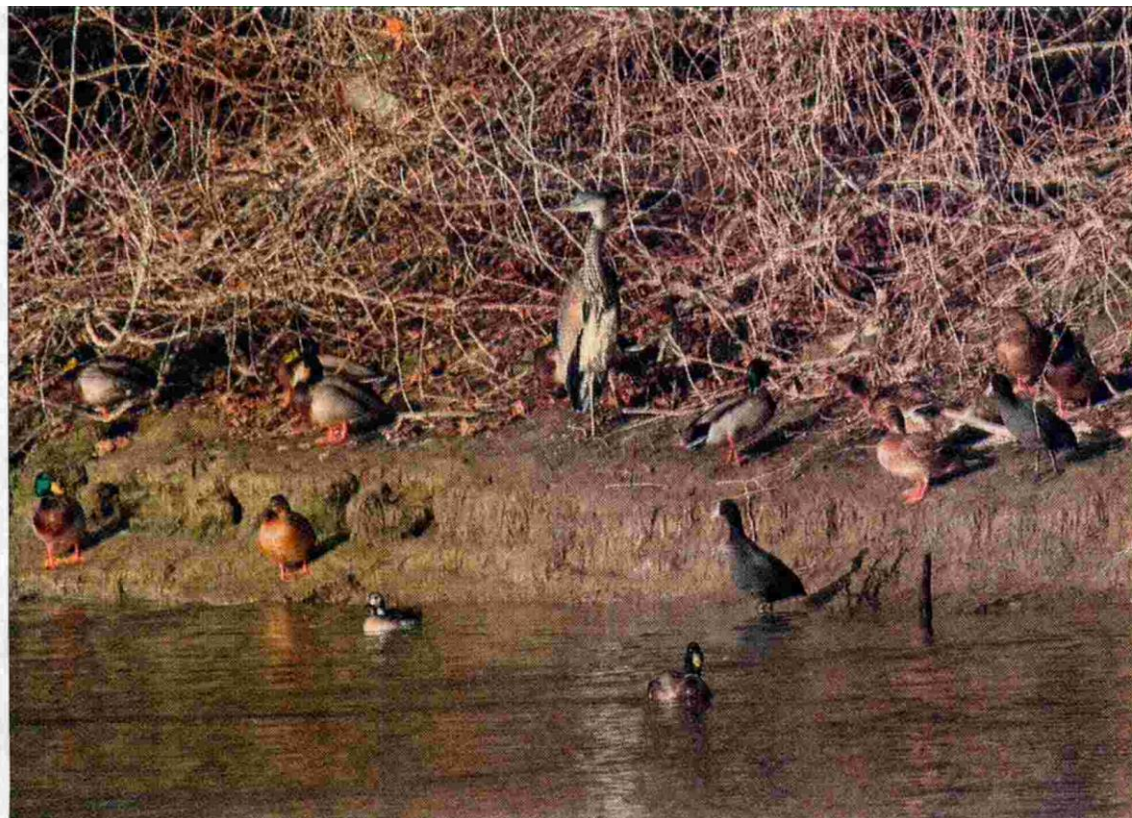
Квалитативна оцена стабилности корита



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Еколошки пројекат: реконструкција и ревитализација канала "Галијаш" на Великом Ратном острву (2008)



ПТИЦЕ СА СЕВЕРА: Екипа Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ при недавном обиласку Великог ратног острва приметила је патку ледењарку, која се гнезди на Северном леденом океану, у Норвешкој и на Исланду. Код нас није пуно пута виђена, мада се научници сећају да се понекад зими појављивала на Ратном острву и увек је представљала доживљај за посматраче птица. Осим ње, која је у првом плану, друштво јој праве сива чапља, црна лиска и патка глувара.

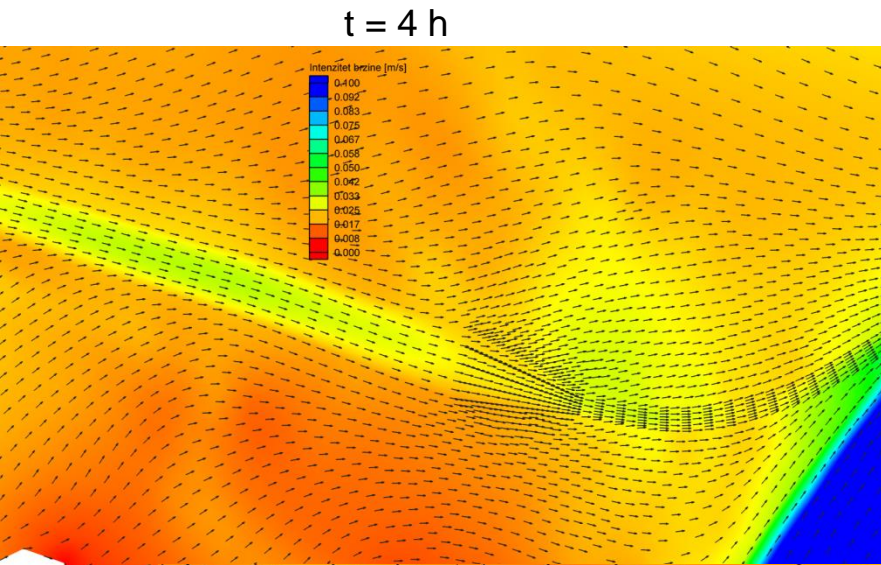
17.01.2007.

Канал “Галијаш” (непосредно пре реконструкције)

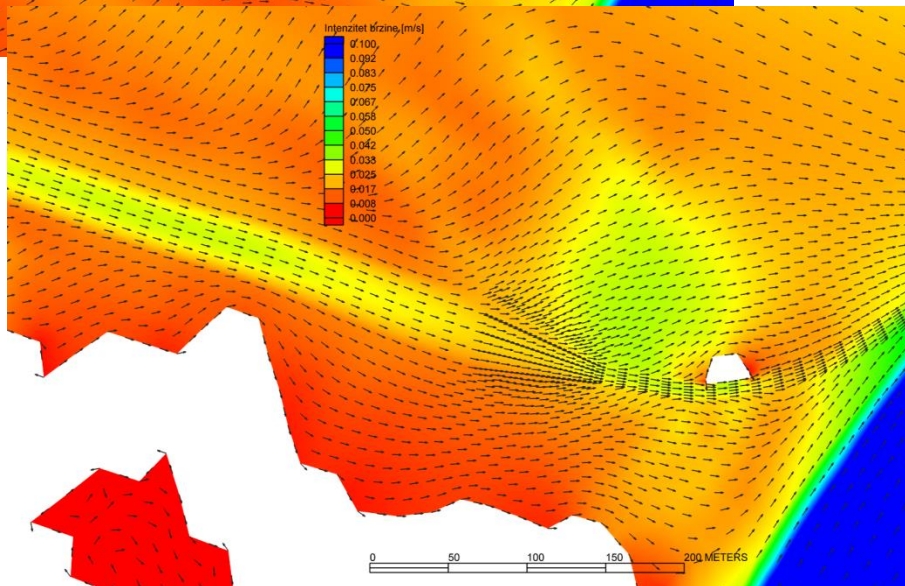


Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

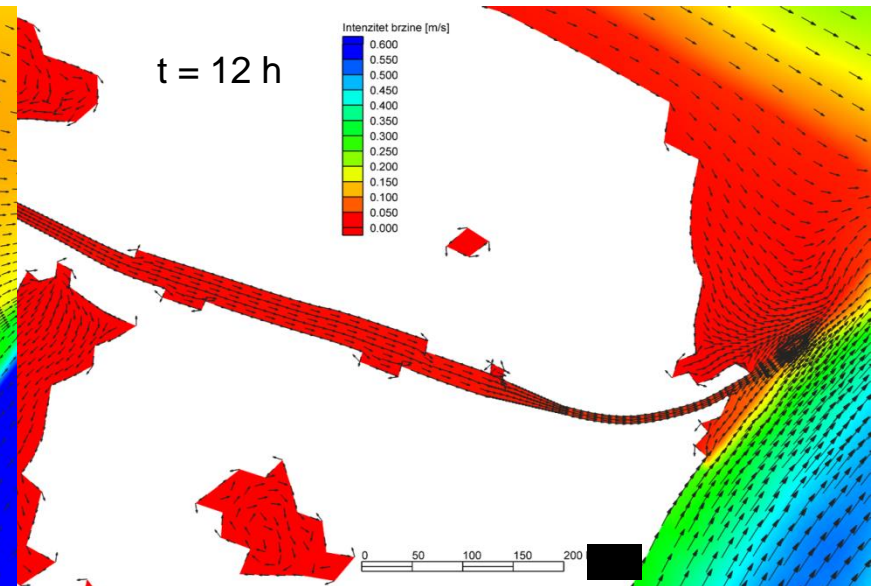
Резултати нумеричке симулације
течења преко Великог Ратног острва
при повлачењу поплавног таласа



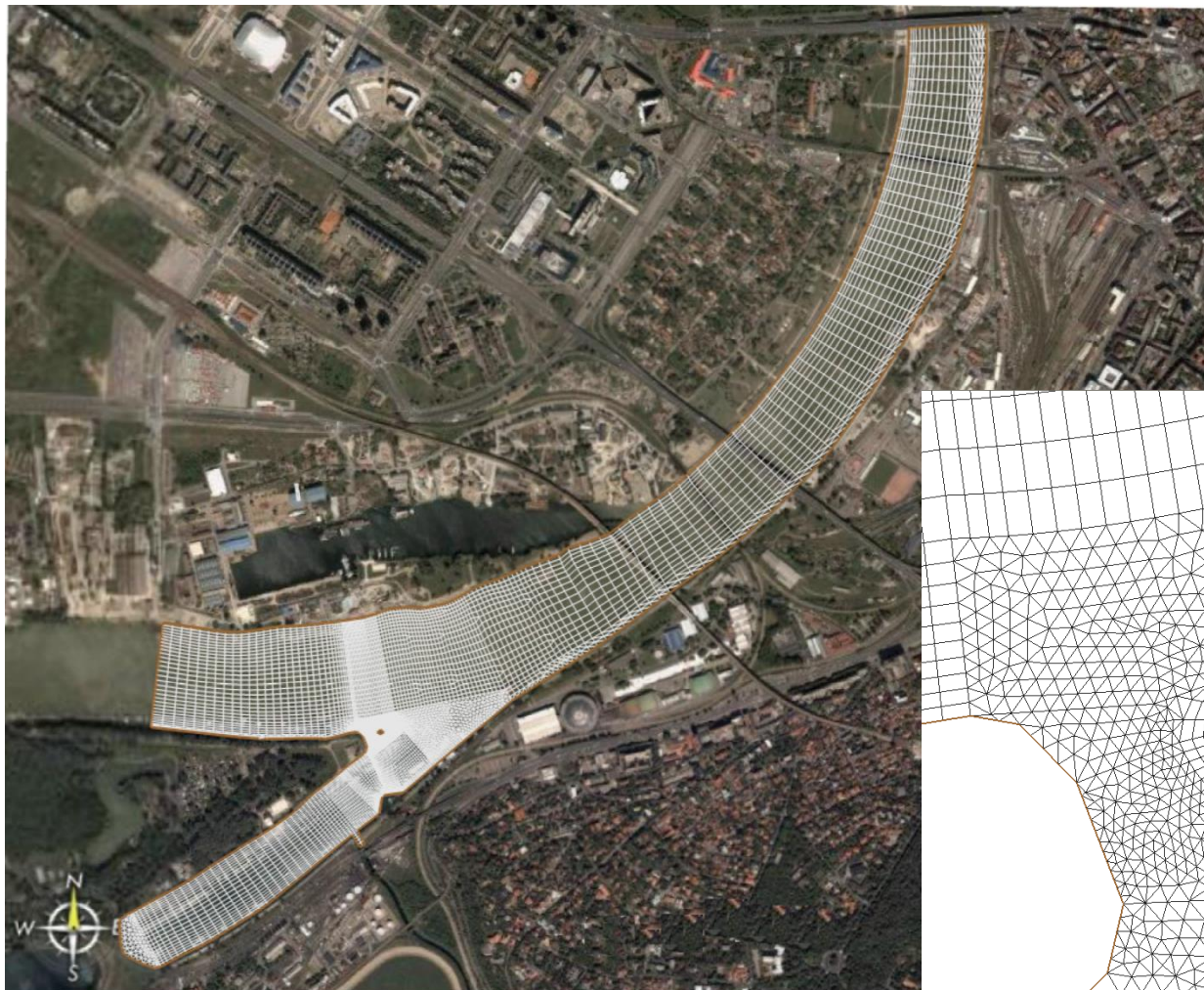
t = 8 h



t = 12 h

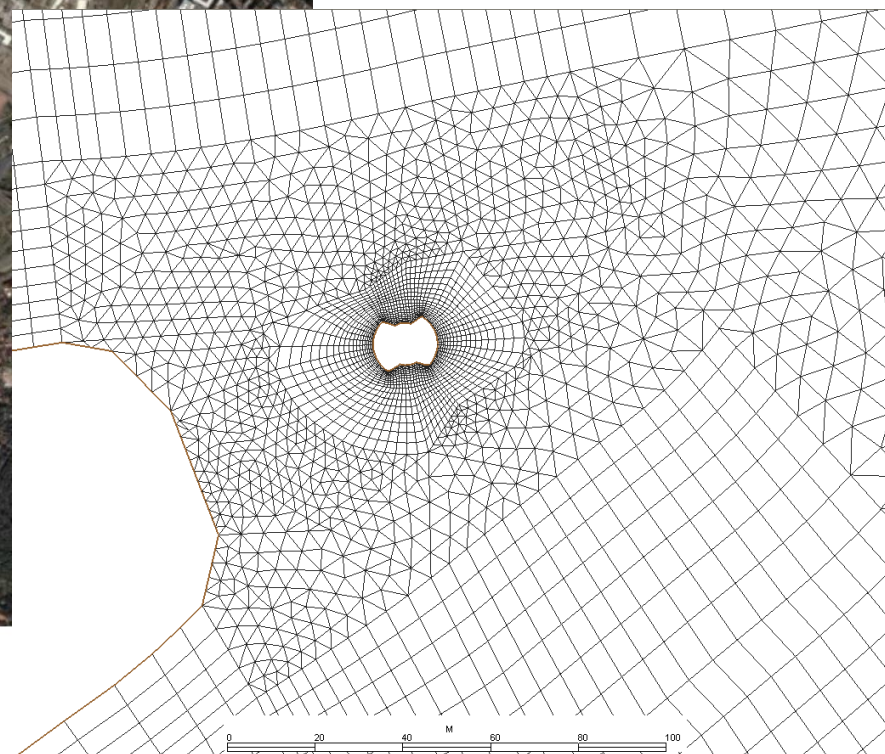


Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



0 200 400 600 800 1000 M

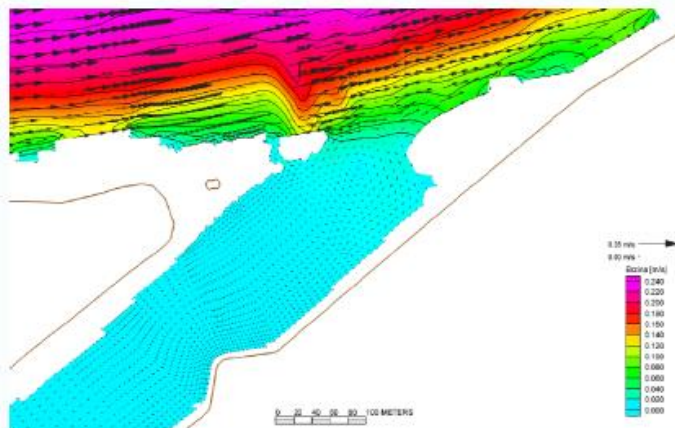
Рачунска мрежа:
око 15000 чворова



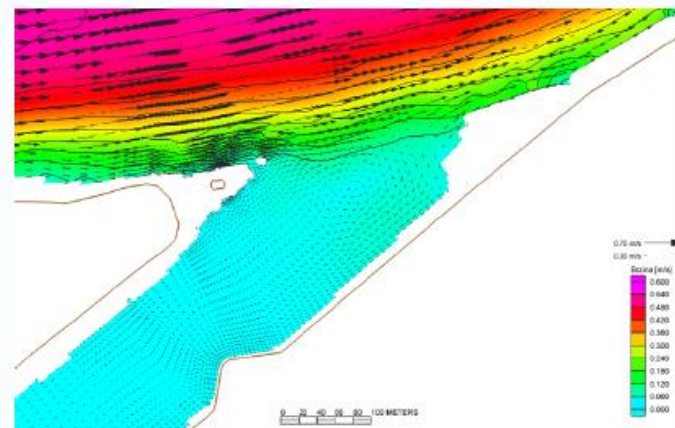
0 20 40 60 80 100 M

Струјно поље при садашњој геометрији улаза

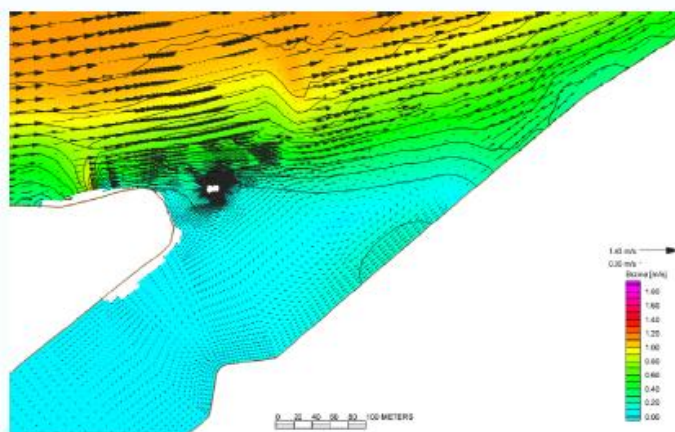
а) Мала вода



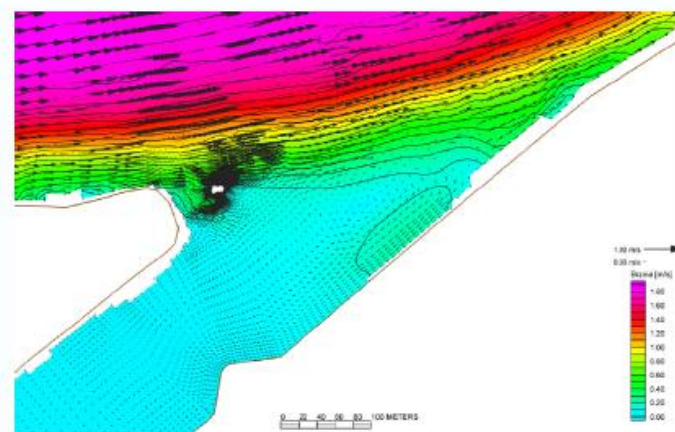
б) Средња вода



в) Велика вода из априла 2006. г.

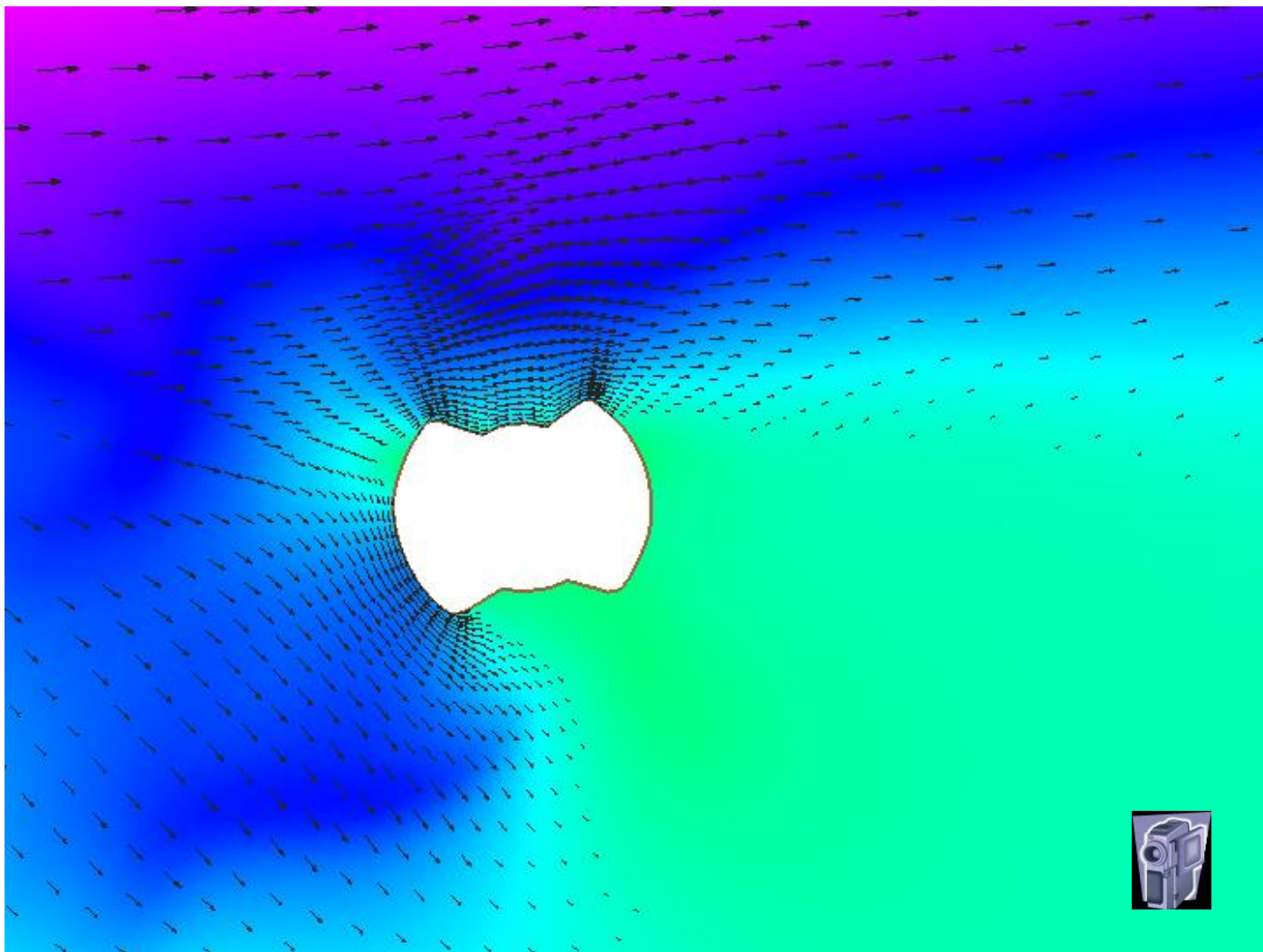


г) 100-годишња велика вода

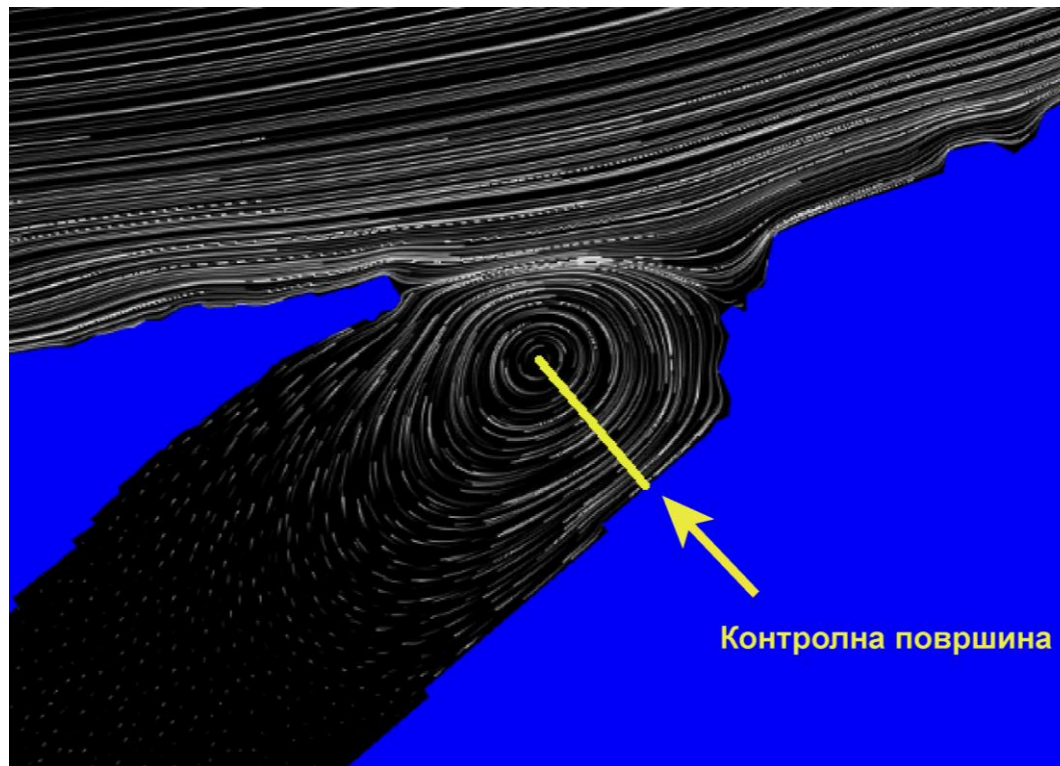


Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Струјна слика око пилона при поплави из 2006. год.



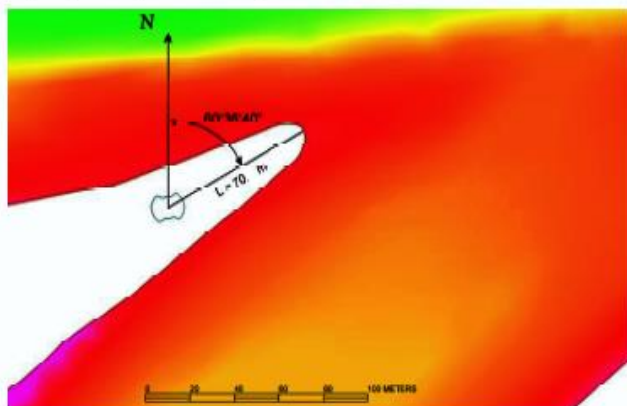
Проблем засипања улаза у Чукарички залив



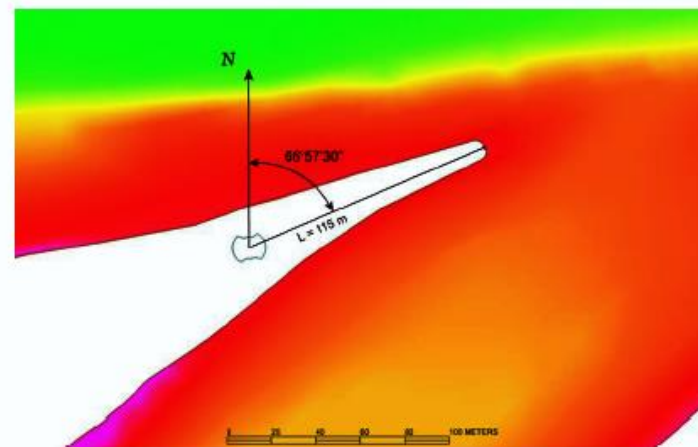
Критеријум за обликовање улаза:
величина флукса кроз контролну површину

Варијантна решења обликовања улаза у залив

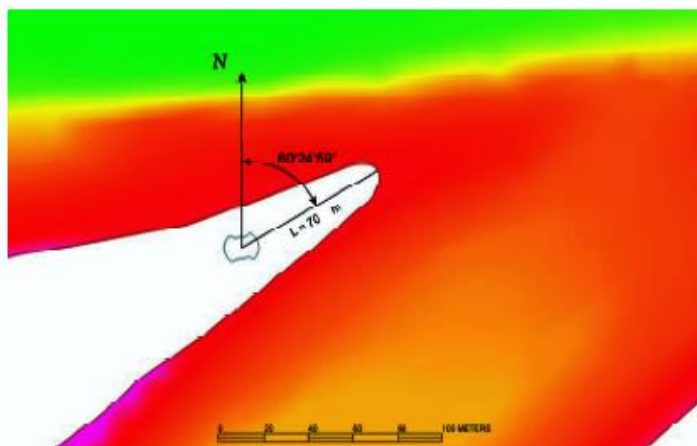
а) „Прав – краћи“ шпиц



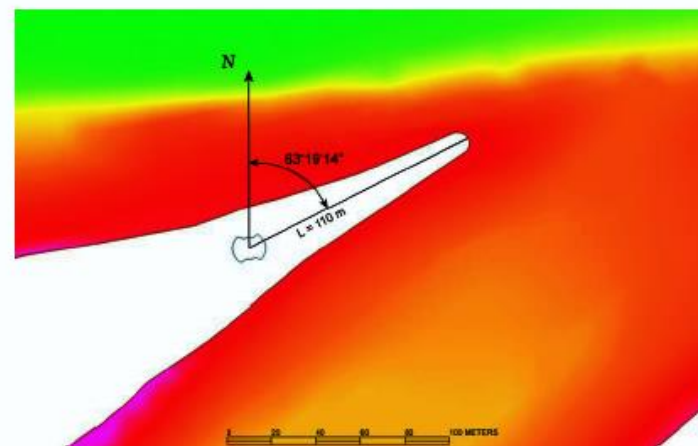
б) „Прав – дужи“ шпиц



в) „Коси – краћи“ шпиц

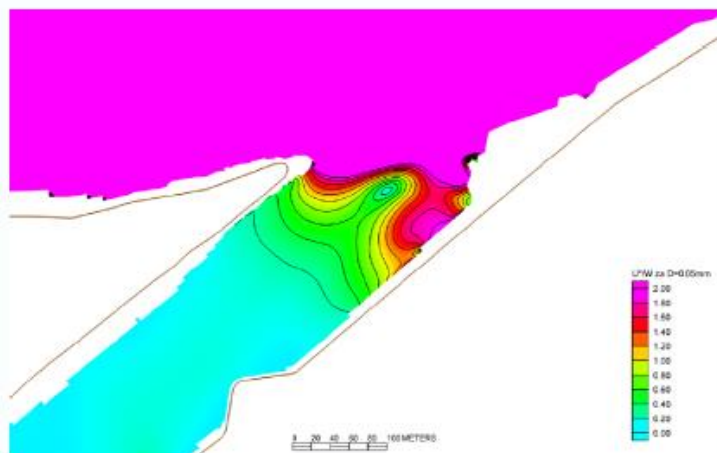


г) „Коси – дужи“ шпиц

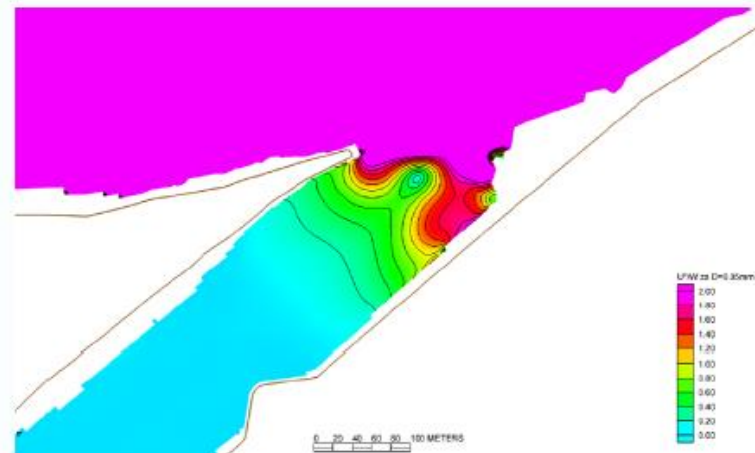


Распоред вредности параметра исталожавања суспендованог наноса (u^*/W)

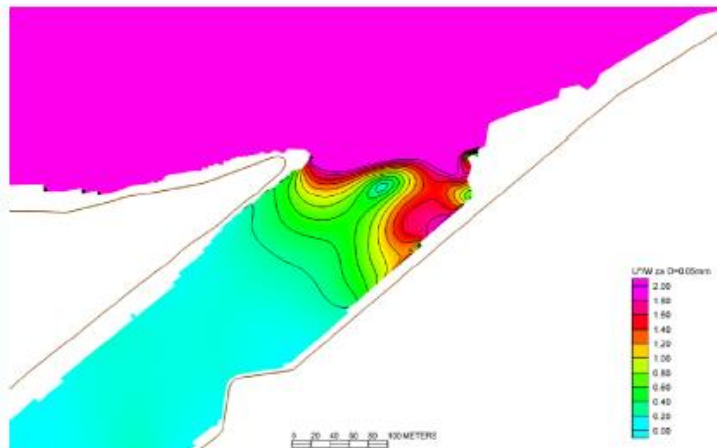
а) „Прав – краћи“ шпиц



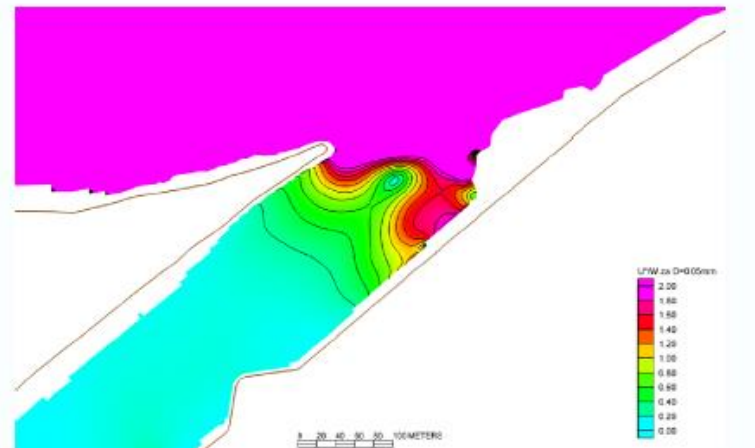
б) „Прав – дужи“ шпиц



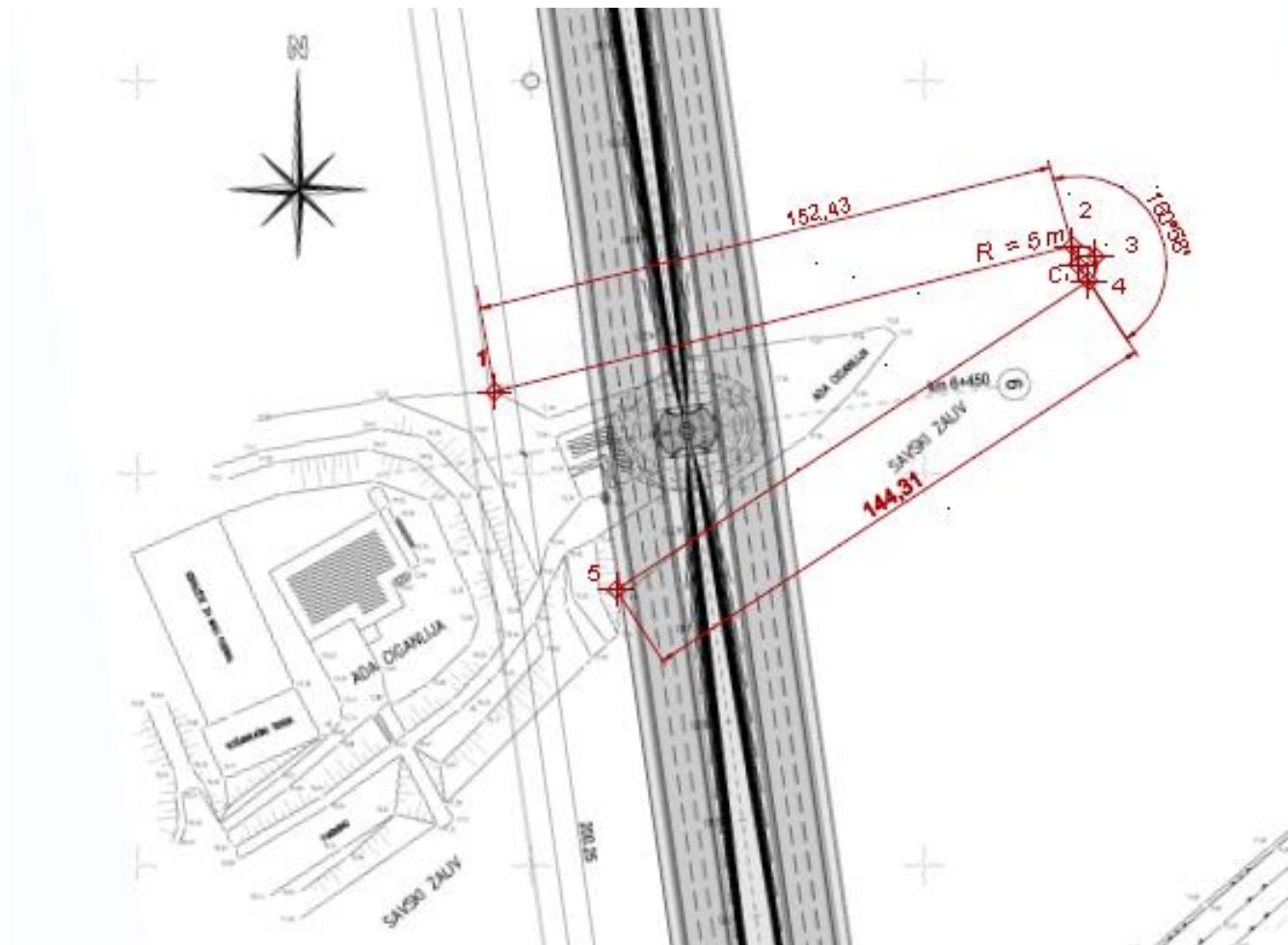
в) „Коси – краћи“ шпиц



г) „Коси – дужи“ шпиц



Предложено решење (2006.)

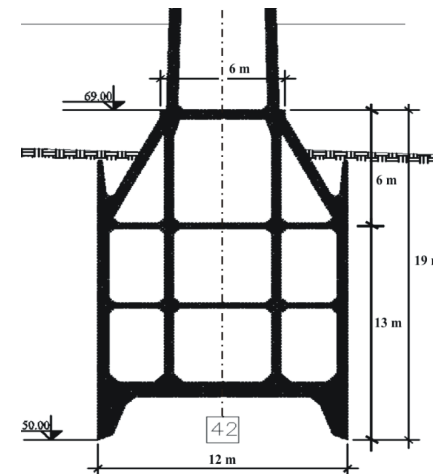
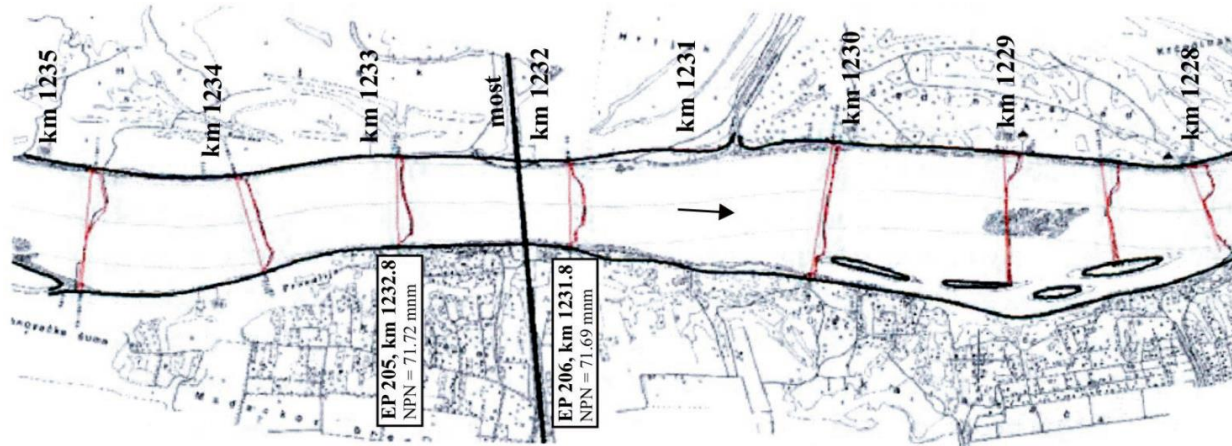


3.2

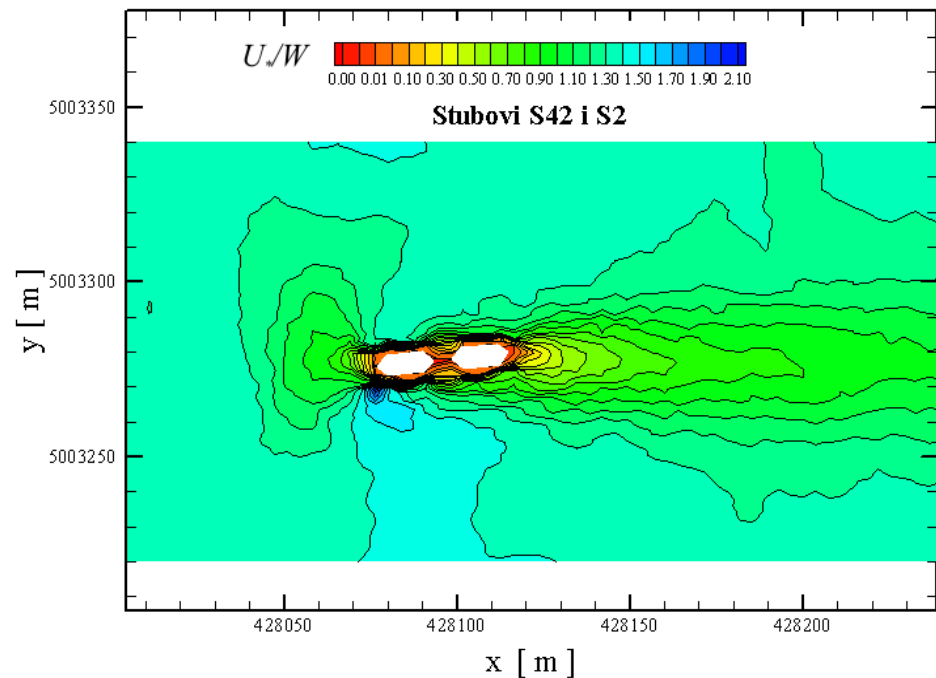
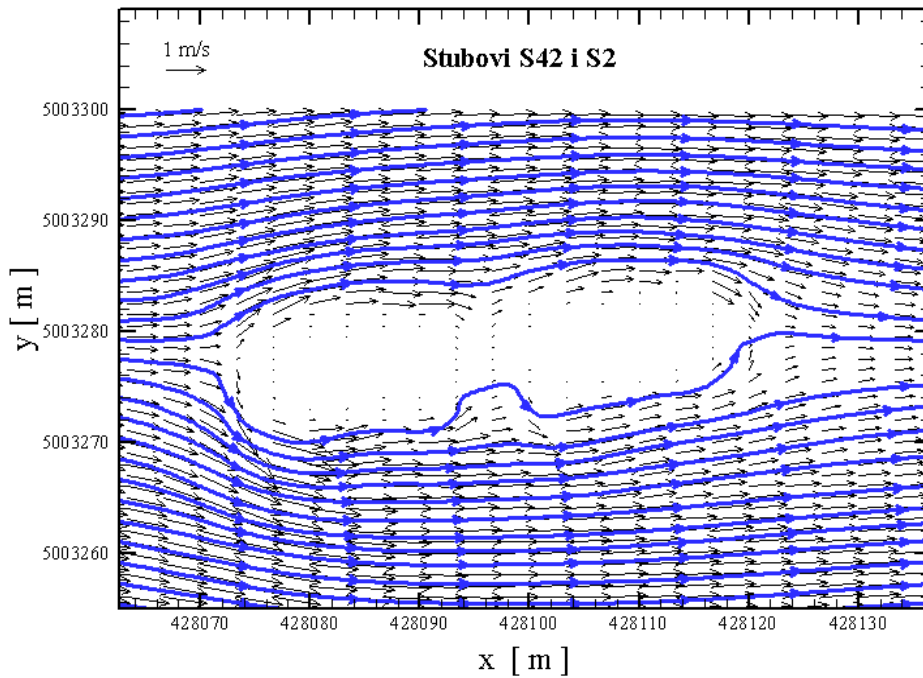
Ерозија корита око мостовских стубова

Локална ерозија корита око мостовских стубова

Пример: стари и нови мост на Дунаву код Бешке

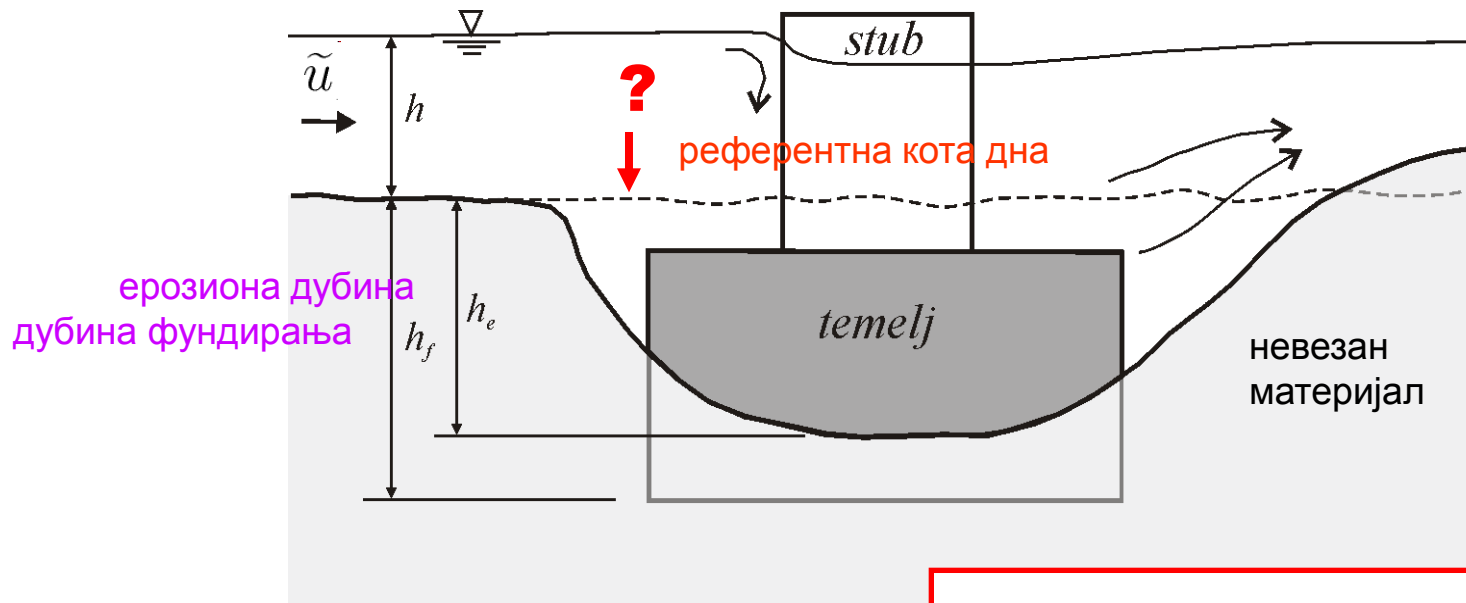


Нумеричка симулација струјног поља у околини стубова старог и новог моста



Закључак: пар стубова хидраулички делује као један стуб

Традиционални детерминистички приступ



Емпиријска формула за ерозиону дубину

Улазне величине

$$Fr = \frac{\tilde{u}}{\sqrt{gh}}$$

Фактор сигурности

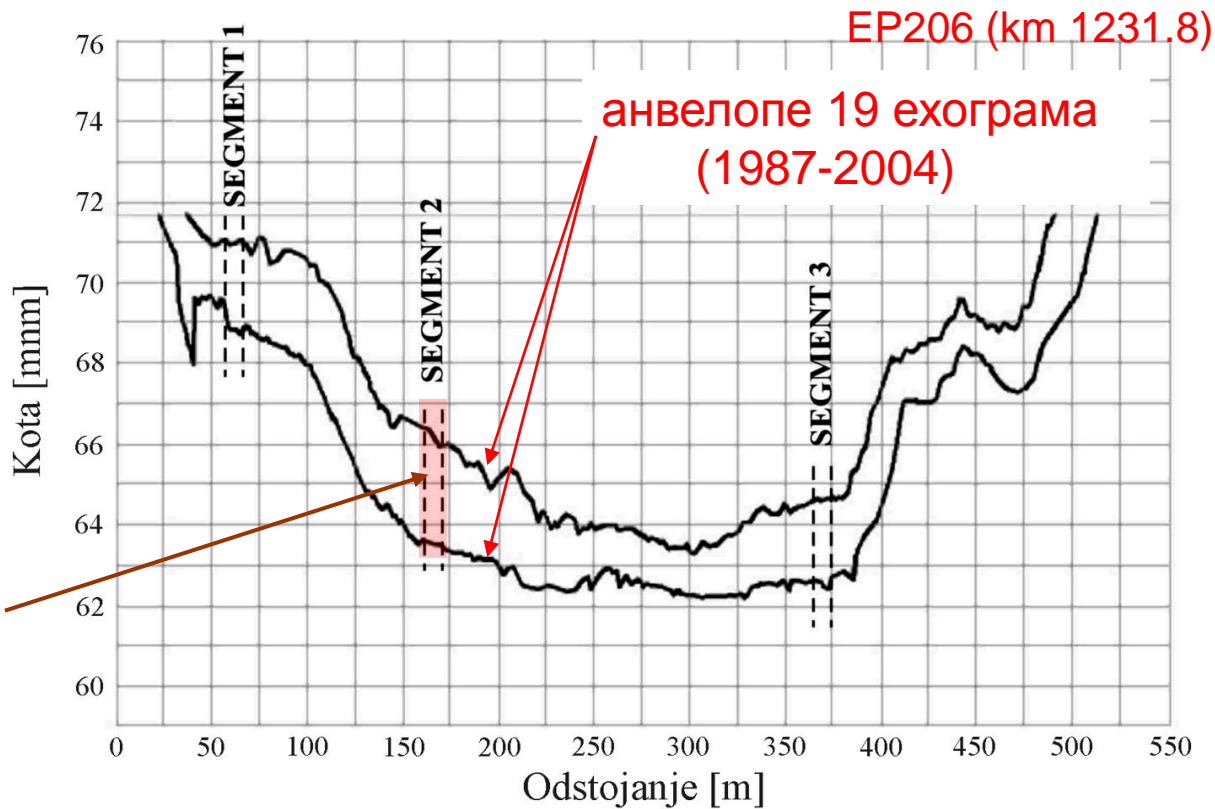
$$FS = \frac{h_f}{h_e} > 1 ?$$

$$\frac{h_e}{h} = 2 \cdot K_1 \cdot K_2 \left(\frac{b_s}{h} \right)^{0.65} \cdot Fr^{0.43}$$

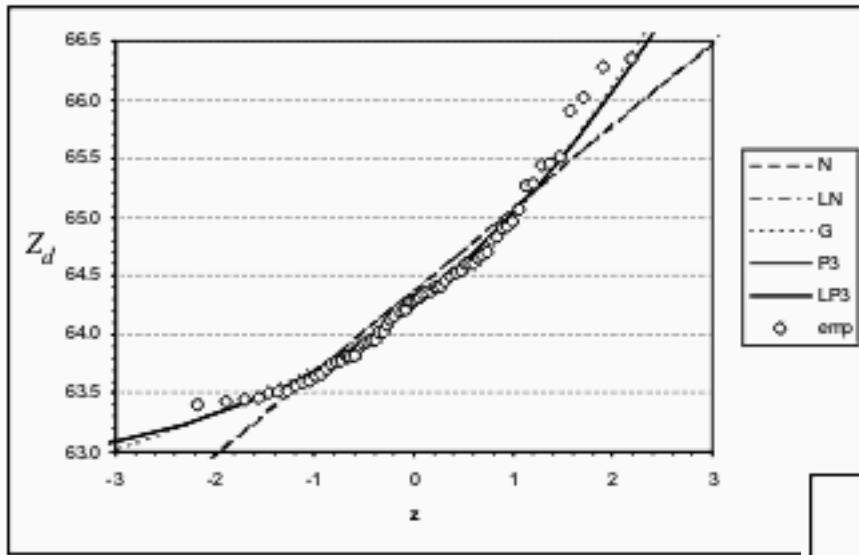
... не квантификује степен ризика !

Стохастички приступ (1)

Референтна кота дна у мостовском профилу одређује се статистичком анализом снимљеног корита



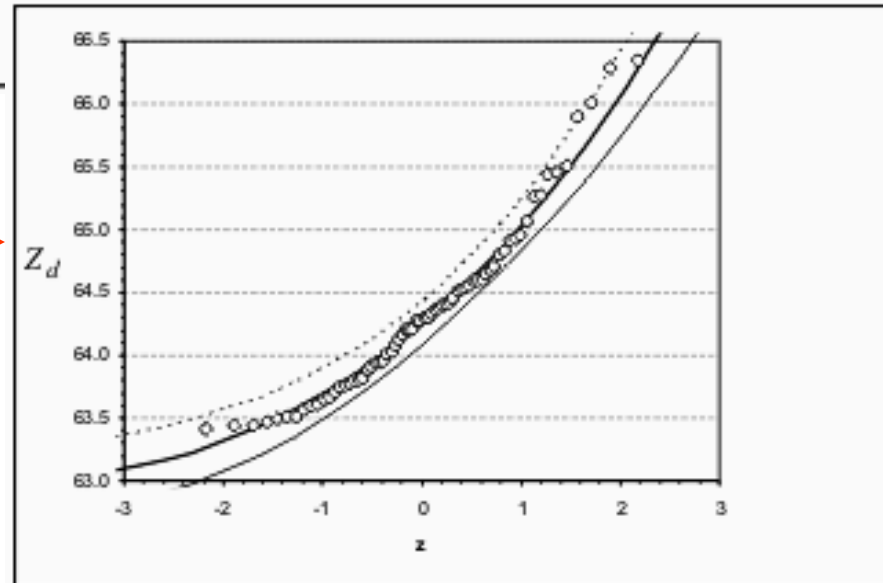
Резултати статистичке анализе



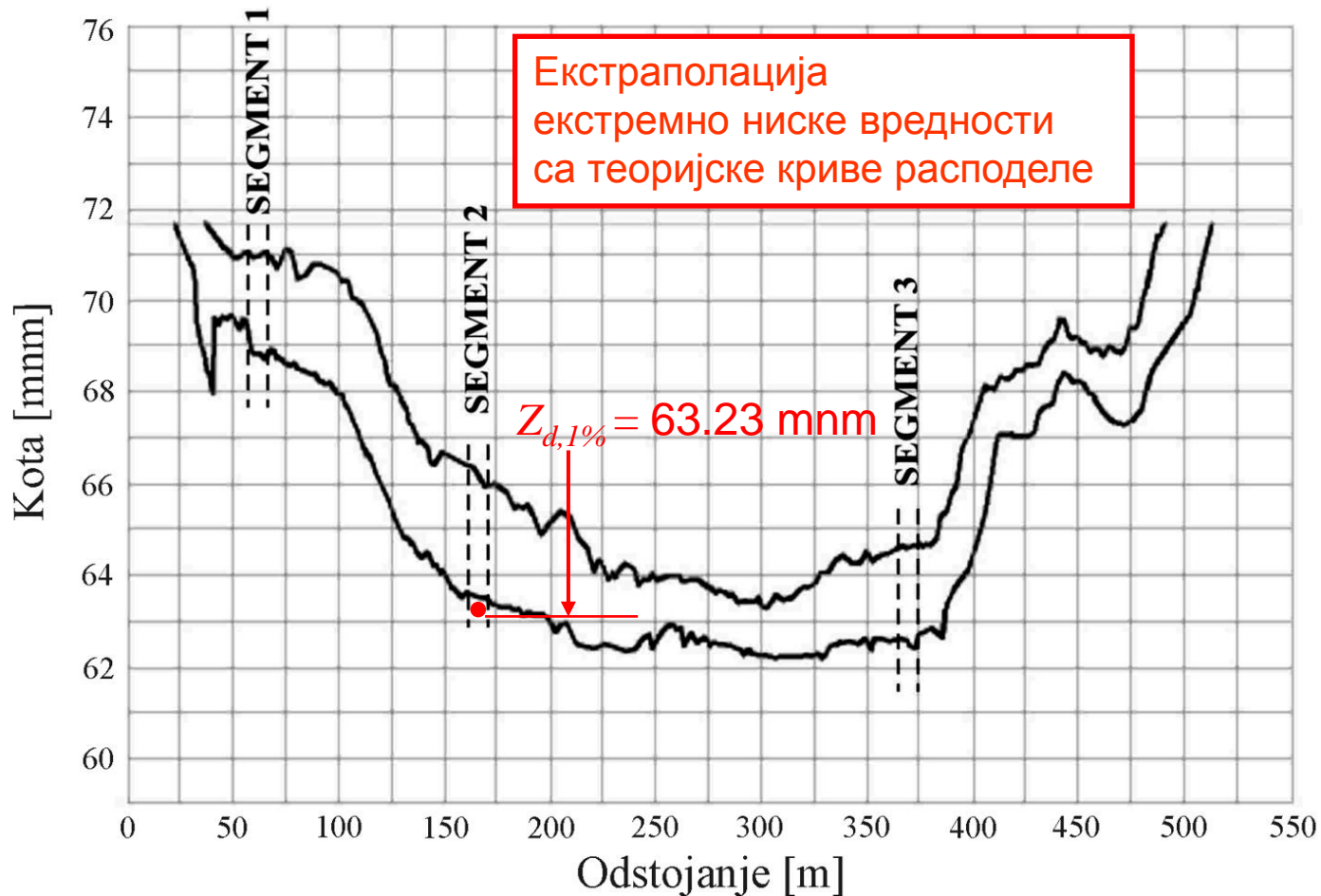
← Сагласност
емпиријске расподеле кота дна
са тероријским расподелама

Теоријска расподела
Pearson 3 са 95%-тним
интервалом поверења

(као за велике воде!)



Прогноза најниже коте дна у профилу стуба (вероватноћа: 1%)



Стохастички приступ (2)

У преформулисаном емпиријском обрасцу за дубину ерозије:

$$h_e = c \cdot q^{0.43} \cdot h^{-0.30}$$

$$c = 2 K_1 K_2 b_s^{0.65} / \sqrt{g}$$

рачунске величине: q и h третирају се као случајне величине које имају своје расподеле (вероватноћу појаве).

Ове (емпиријске) расподеле одређују се статистичком анализом хидролошких серија, или се усвајају.

Избор типа расподела и вредности параметара

$$h_e = c \cdot q^{0.43} \cdot h^{-0.30}$$

Pearson 3 (РХМЗ, 72 год., 1931-2003)

$$m \equiv q = 13 \text{ m}^3/(\text{s m}) \quad C_v = 0.20 \text{ i } C_s = 0.43$$

униформна

$$\begin{cases} n_1 = 0.022 \text{ m}^{-1/3}\text{s} \\ n_2 = 0.028 \text{ m}^{-1/3}\text{s} \end{cases}$$

$$m = 0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}, \quad s = 0.0017$$

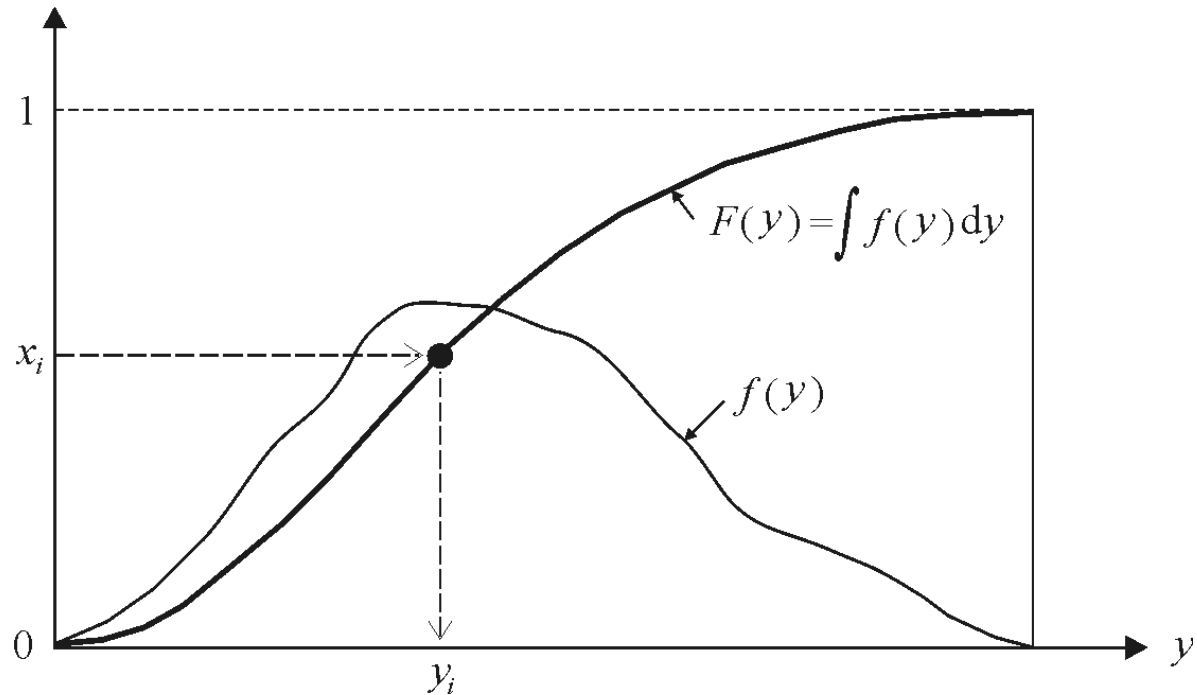
$$C_v = 0.069$$

$$h = \left(\frac{n \cdot q}{\sqrt{I_e}} \right)^{3/5}$$

нормална

$$m = 0.3 \times 10^{-4}, \quad s = 0.6 \times 10^{-5} \\ (C_v = 0.2)$$

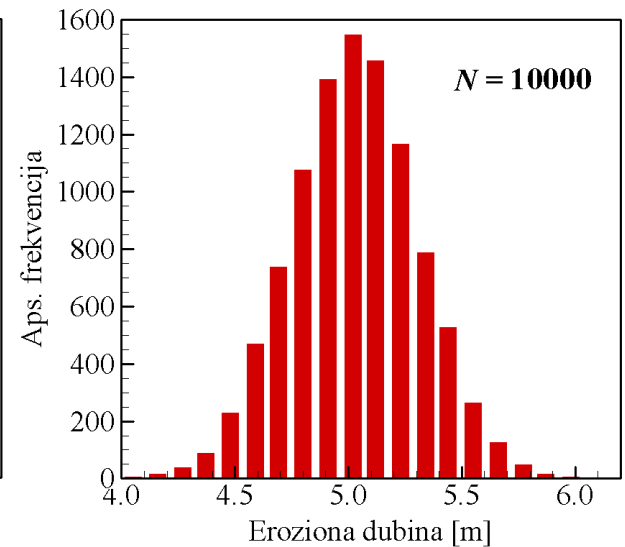
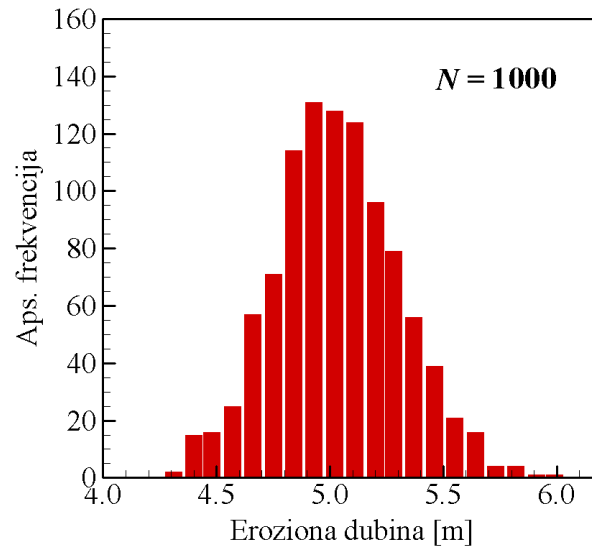
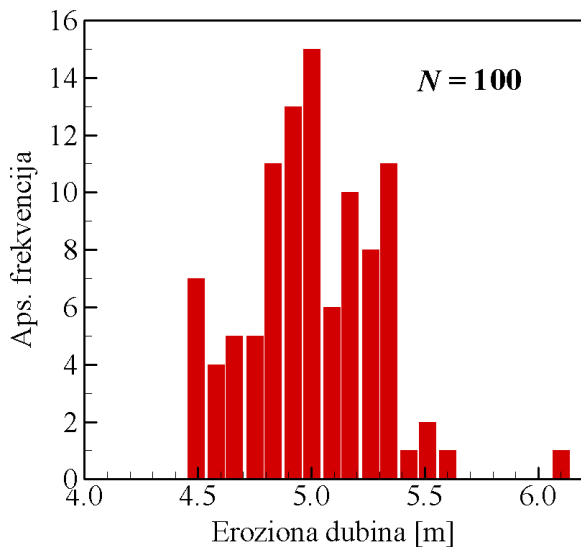
Генерисање псеудо-случајних бројева по произвољној расподели



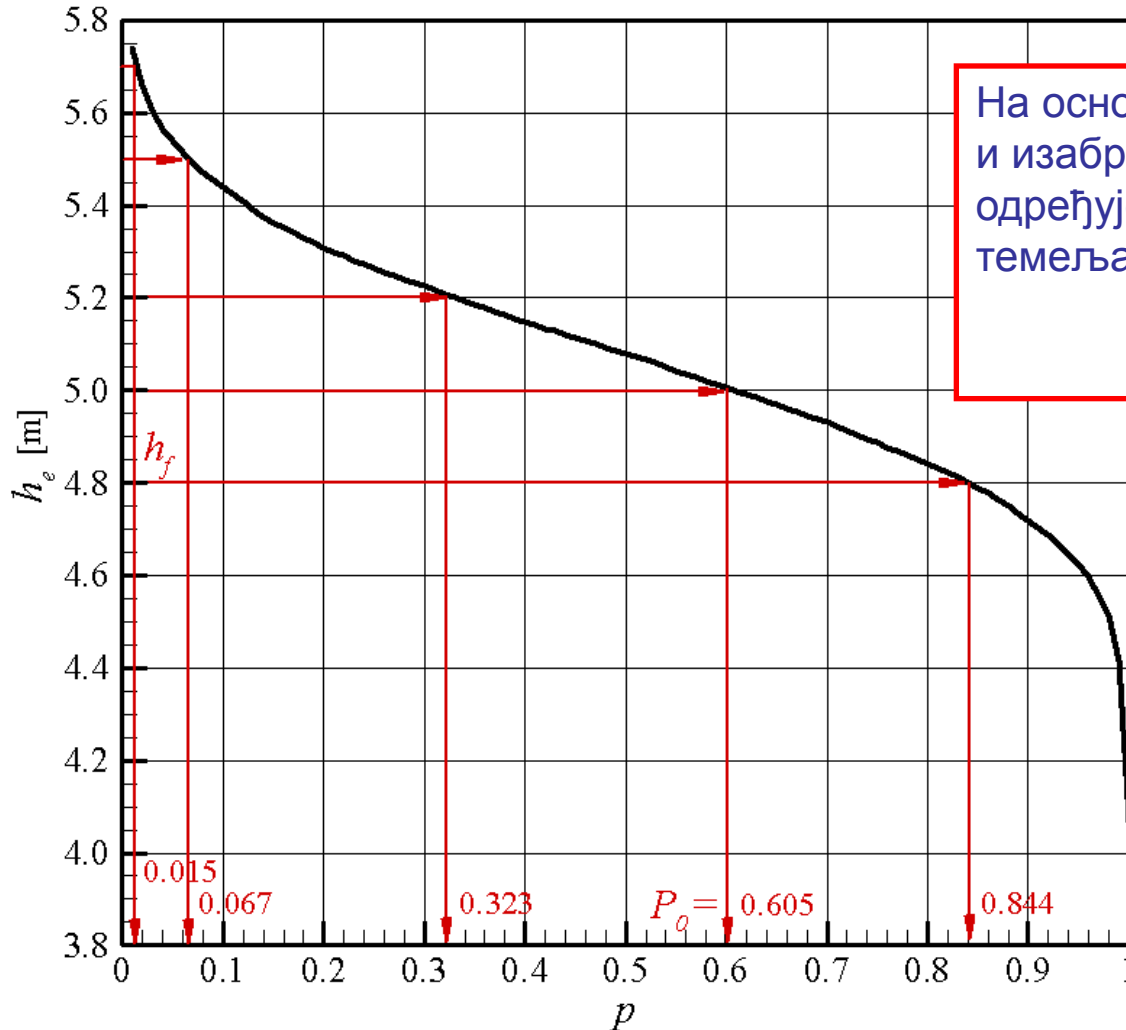
$$y_i = F^{-1}(x_i)$$

инверзна трансформација

Генерисањем случајних бројева по утврђеним расподелама, добија се велики број вредности q и h , односно ерозионих дубина h_e (Монте Карло метода).



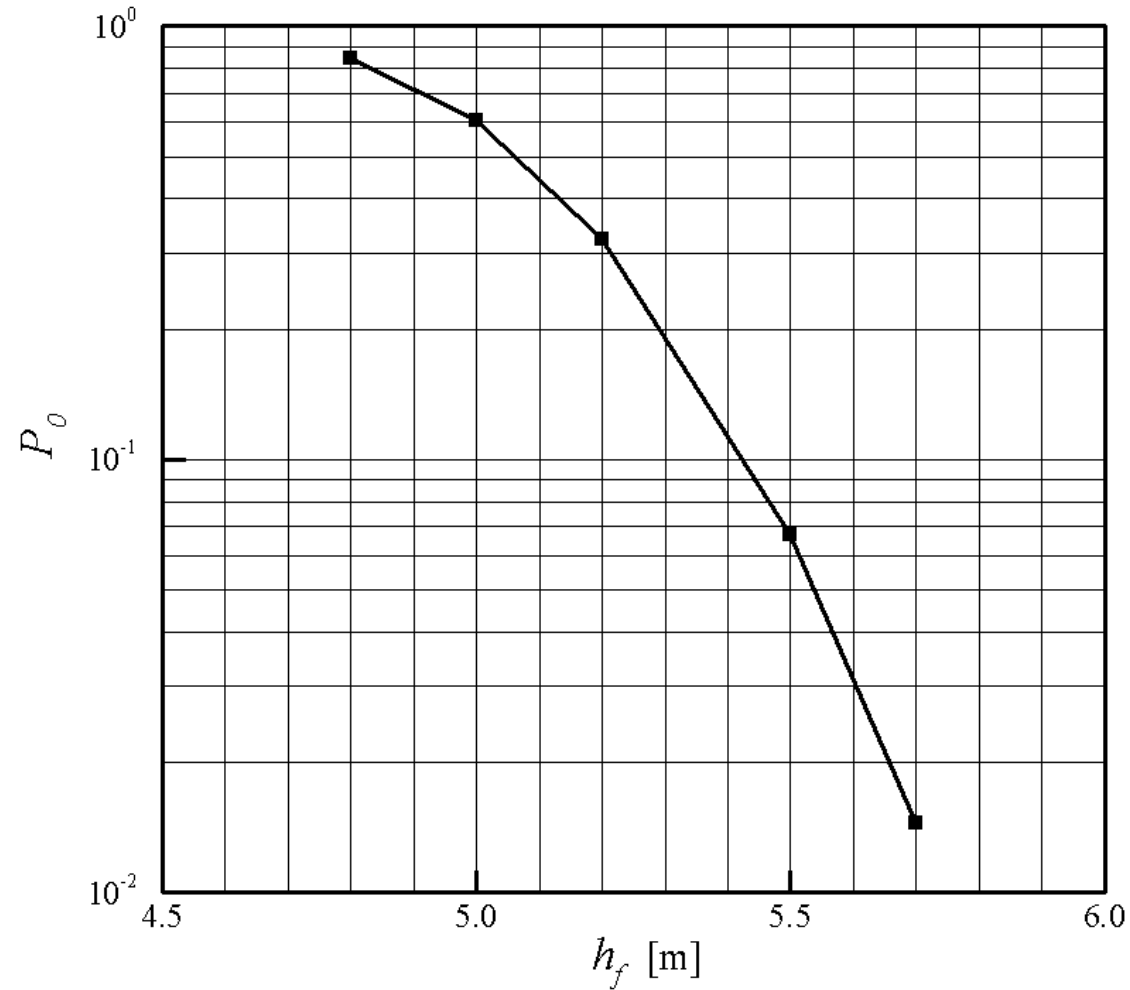
Емпиријска расподела (вероватноћа) ерозионе дубине

 h_e 

На основу ове расподеле и изабране дубине фундаирања h_f одређује се вероватноћа поткопавања темеља стуба:

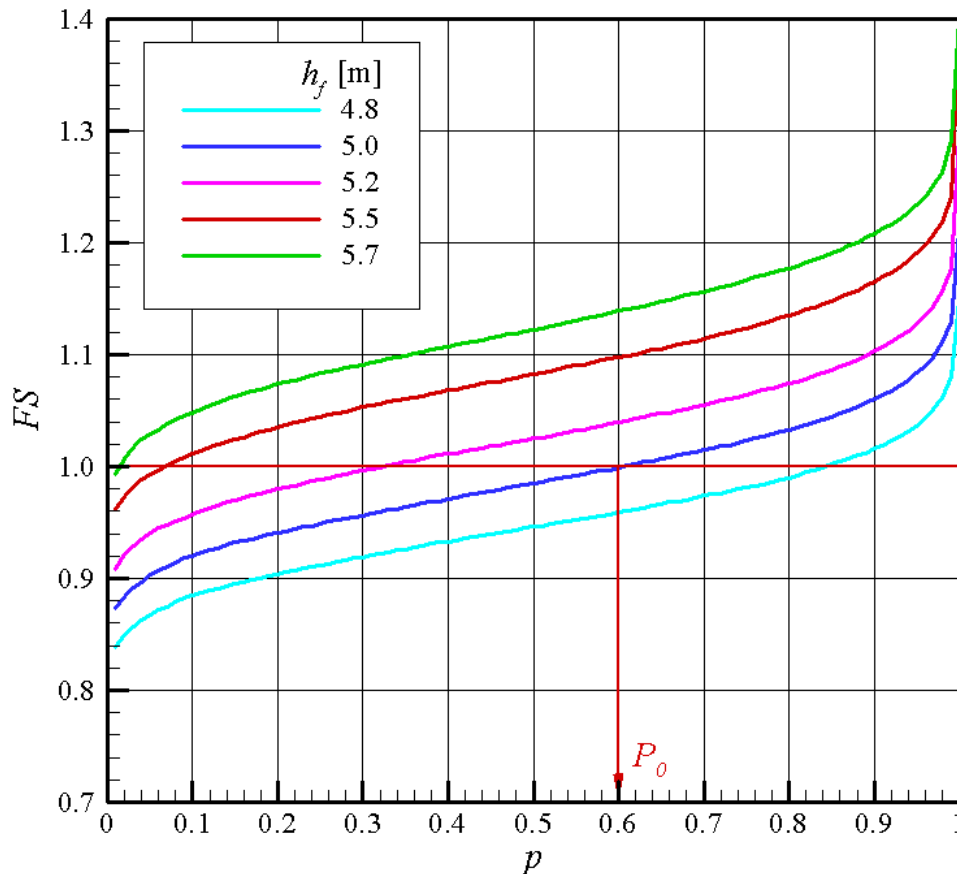
$$P_0 = P \{h_e \geq h_f\}$$

Вероватноћа поткопавања у зависности од дубине фундарања



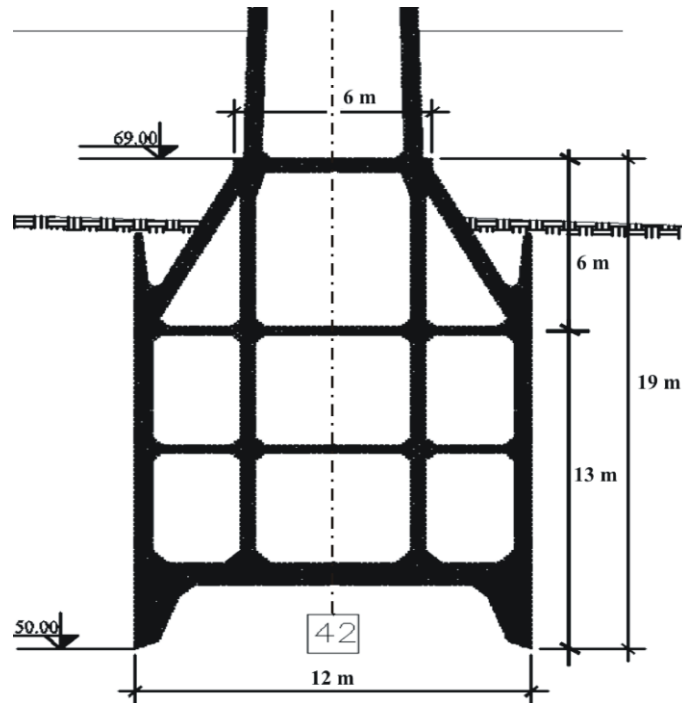
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Свака изабрана дубина фундарања даје емпиријску расподелу фактора сигурности FS . Успостављањем његове везе са вероватноћом поткопавања P_0 , фактор сигурности постаје параметар квантитативне оцене ризика!



Усвајањем неке вредности фактора сигурности, пројектант се одређује за одређени “прихватљив степен ризика”...

Оцена сигурности стуба 42



Sigurnost od potkopavanja temelja stuba S42 fundiranog na koti 50.0 mm.

Verovatnoća p [%]	Kota dna Z_d [mm]	Dubina fundiranja h_f [m]	Eroziona dubina h_e [m]	Faktor sigurnosti FS [-]	Verovatnoća potkopavanja P_0
50	64.30	14.30	5.08	2.8	$\ll 1\%$
1	63.23	13.23	5.70	2.3	$\ll 1\%$

3.3

Управљање ризиком од поплава

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



4. мај 2011.

АИНС

71



ПОЛИТИКА



ВЛАДИСЛАВ Е
реж. календар, поема
ДАРКО РИЕ
реж. календар, поема
Др СЛОБОДАН
реж. популарна, ф
ВЛАДИСЛАВ С
песмама Пар
учро 1.

Први број „Политике“

Овај број „Политике“ има три дела са укупно 72 стране и додатка „ТВ ревија“ на 32 стране

Београд, петак 14. априла 2006.
БРОЈ 33204 – ГОДИНА СШ

www.politika.co.yu
redakcija@politika.co.yu

ВЛАДА УВЕЛА ВАНРЕДНО СТАЊЕ У ОПШТИНАМА ЖАБАЉ, ТИТЕЛ И ЗРЕЊАНИН

Спојило се небо с рекама

Издвојено још 98 милиона динара помоћи за подручја угрожена клизиштима

Влада Србије донела је на јучерашњој седници одлуку о проглашењу ванредног стања одбране од поплава на територији општина Жабаљ, Тител и Зрењанин.

Како је на конференцији за новинаре рекао министар одбране Зоран Станковић, ударни талас на Дунаву изводио од Новог Сада, очекује се у суботу, 15. априла. За чување насипа на Сави финални окршај с воденом стихијом очекује се ноћас, односно између петка и суботе. Следеће вечери, у ноћи између 15. и 16. априла, требало би очекивати врх воденог таласа на Тиси, код Титела.

ришењу средстава за максималну штету услед елементарних непогода, којим је издвојено још 98 милиона динара помоћи за подручја угрожена клизиштима, што са новцем издвојеним у претходном периоду чини укупно 195 милиона динара.

Средства су одобрена Нишом и Крагујевцу и општинама Мајданпек и Смедеревској Штаби.

Из смедеревског Штаба за одбрану од поплава апелују на грађане да не разносне вреће с песком с одбрамбених линија да заштитили своја имањинства

Љубовија, Бајина Башта, Коцељева, Уб, Валево, Чачак, Краљево, Лузани, Нови Пазар, Лесковац, наведено је у саопштењу. Министар је прецизирао на конференцији за новинаре министар Мирко Илић, новац ће бити иштен за набавку нафте и де за људе и стоку у угроженом подручју, и је нагласио и да су све пољене територије оне које се не у необрађеном подручју, и да белези и насипи још чекају. Најдугачије је, да његовим речима, у Мошину, где је подигнут и други вен бедема.

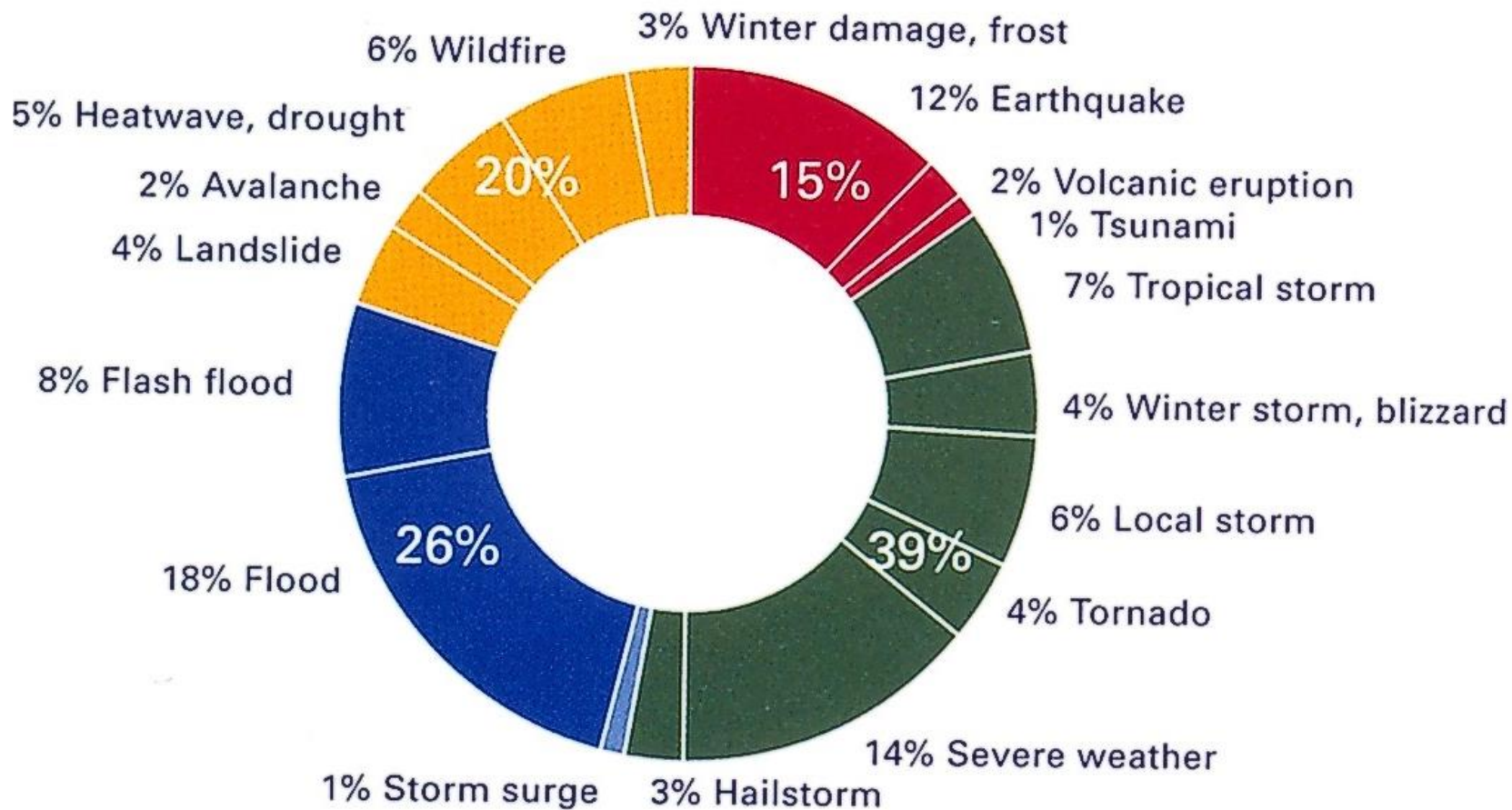
Наставак на 8. страни



ШЕТАЛИШТЕ КОД ТВРЂАВЕ У СМЕДЕРЕВУ

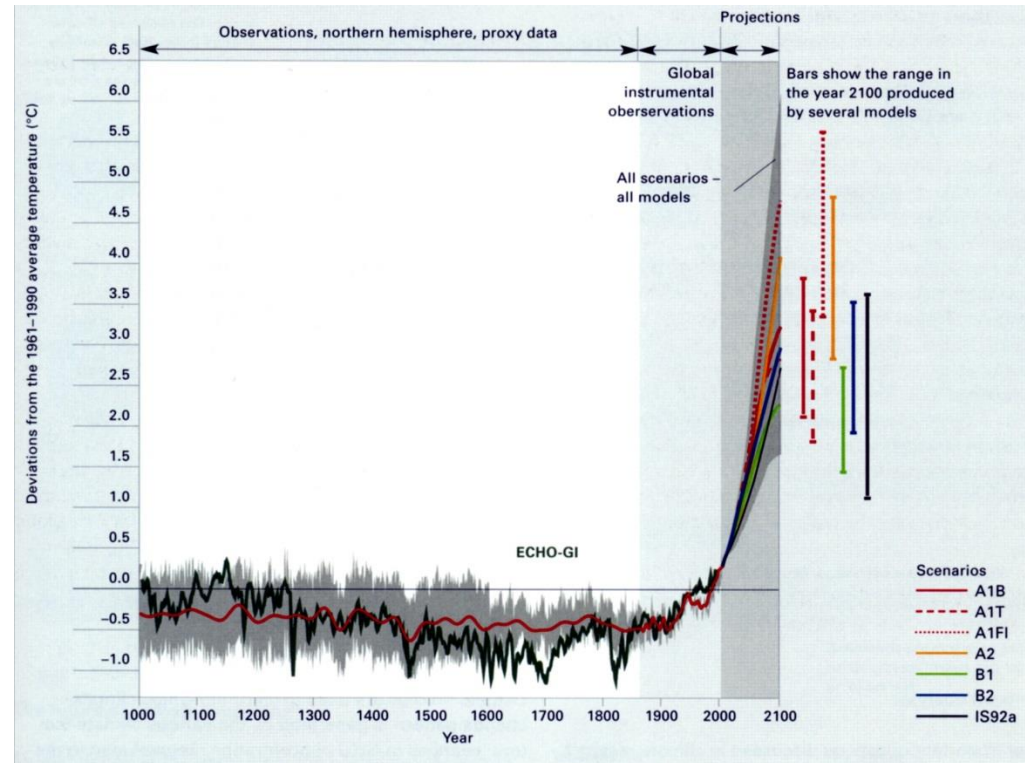
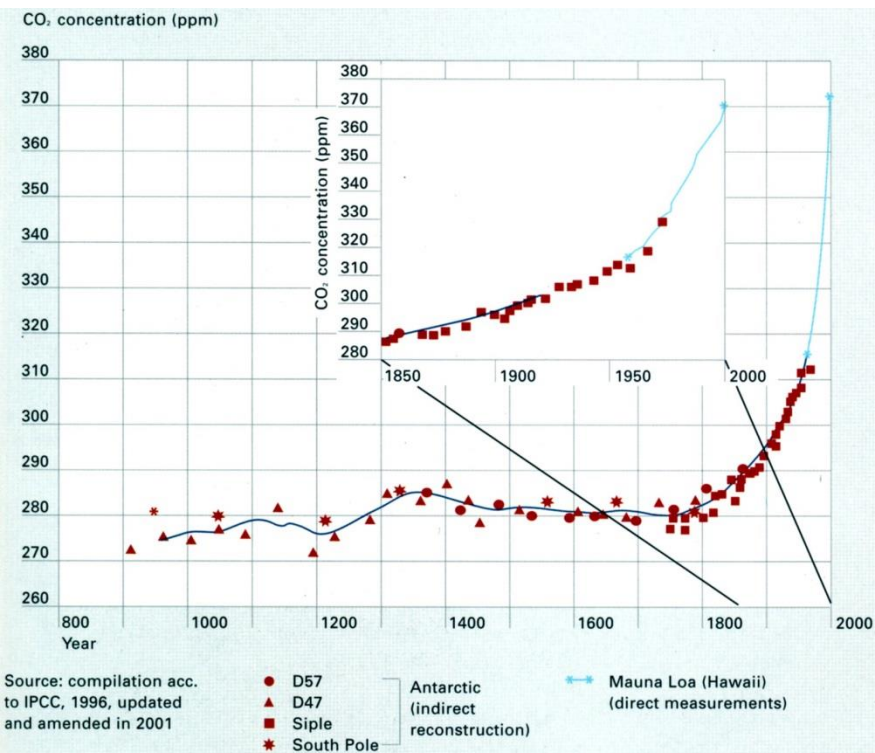


Распоред хазарда



Климатске промене

- повећана емисија штетних гасова у атмосферу (“ефекат стаклене баште”)
- глобално загревање планете ?
- отапање леда на половима → прилив слатке воде, поремећај Голфске струје
- отапање глечера на копну → повећање нивоа мора ?



Урбанизација

Dubai

1990

2003



Евопа 1980-2000:

- раст становништва: 6%
- раст урбаних површина: 20%

Повећана учестаност великих поплава

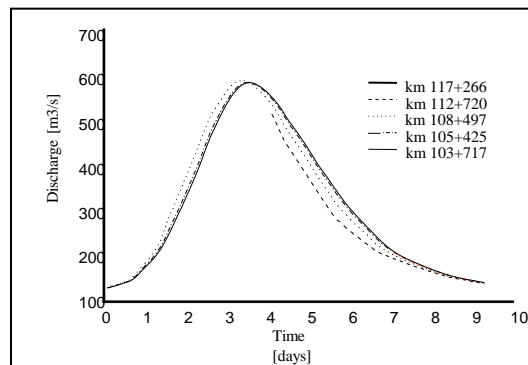
Пример - река Тамиш: **1999, 2000, 2005.** ($T=50-100$ год.)



Јаша Томић



Шурјан



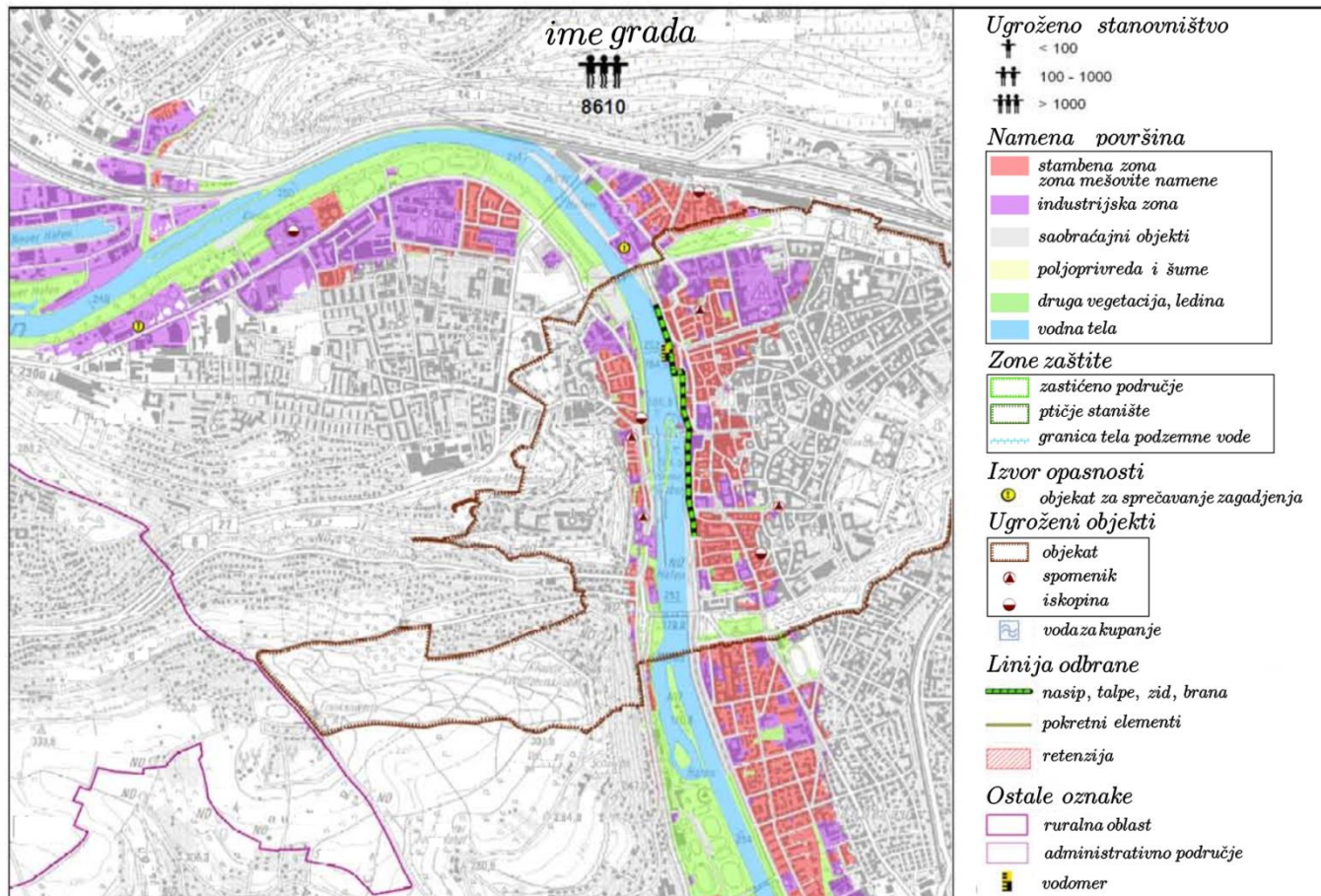
АИНС

Ризик у заштити од поплава

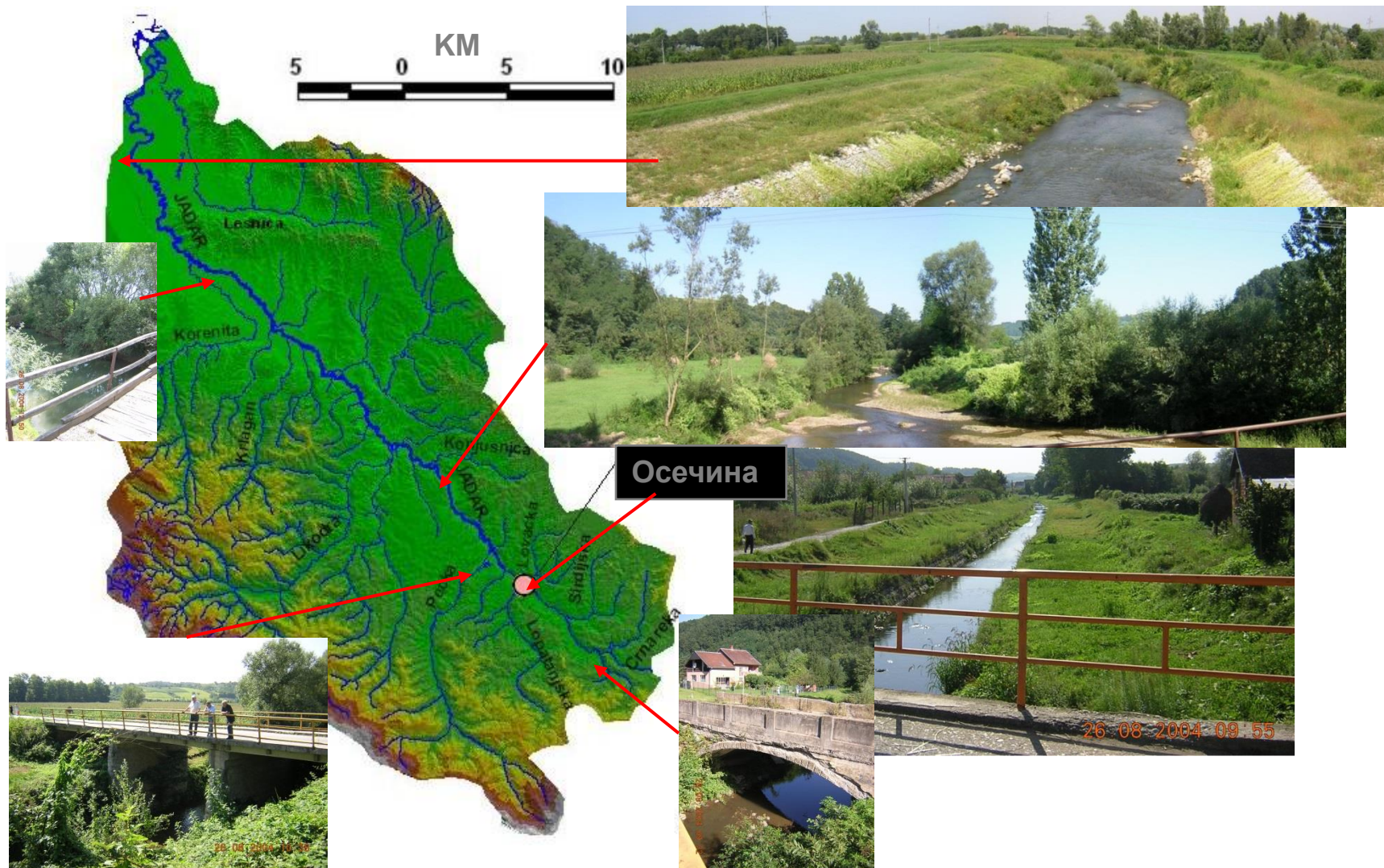


Нумеричке симулације у примени неинвестиционих мера заштите од поплава

Картирање плавних зона, штета и ризика



ИСКУСТВА ИЗ НАШЕ ПРАКСЕ – РЕКА ЈАДАР

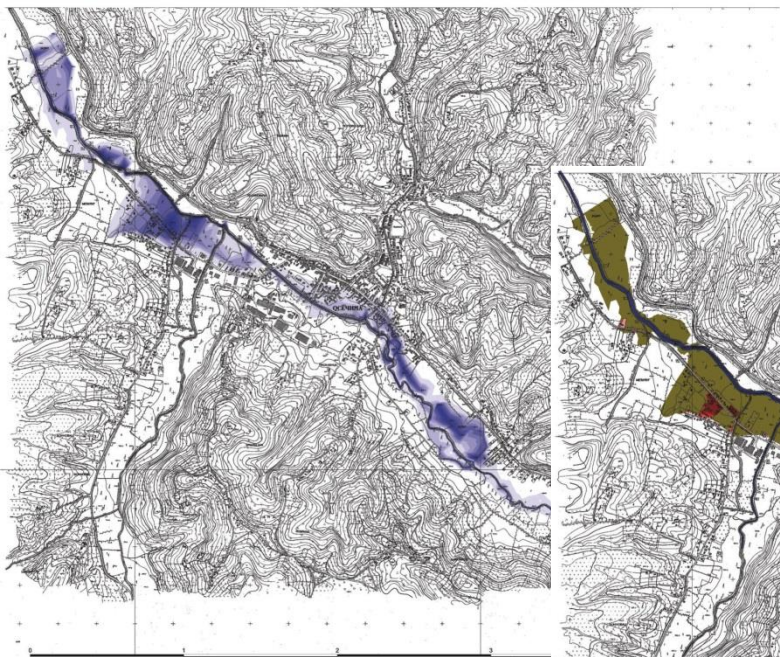


4. мај 2011.

АИНС

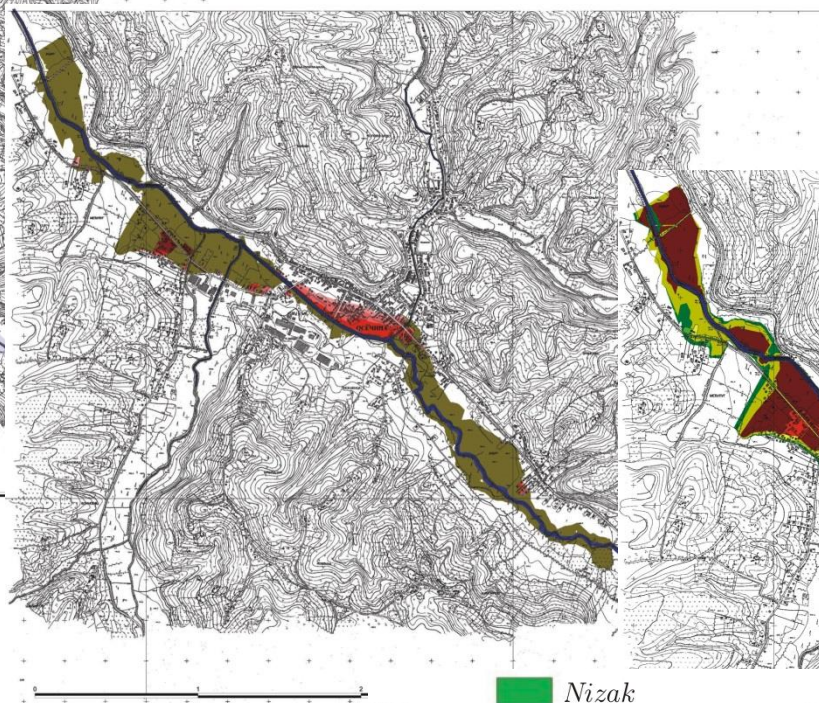
ИСКУСТВА ИЗ НАШЕ ПРАКСЕ – РЕКА ЈАДАР

карта плављења

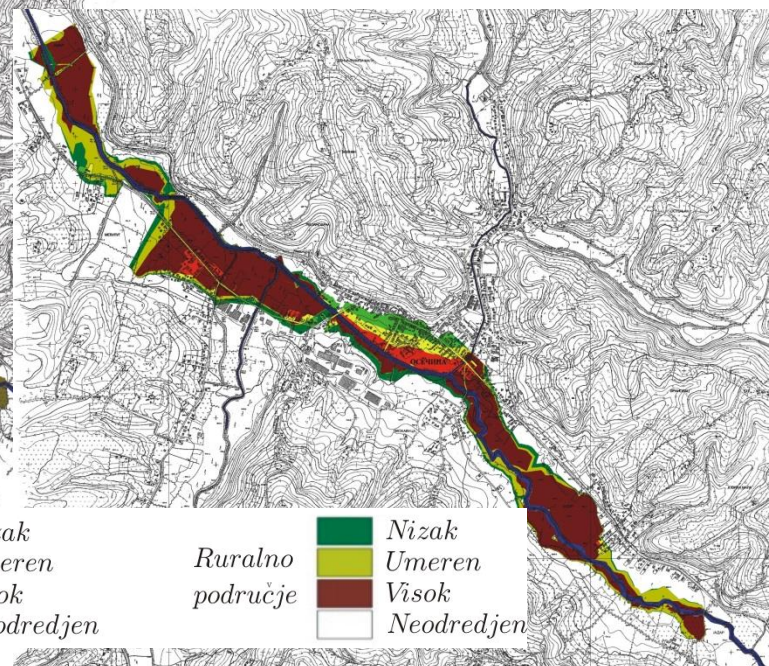


Пример: 50-год. велика вода

карта штете



карта ризика



Urbano
područje



Ruralno
područje



ИСКУСТВА ИЗ НАШЕ ПРАКСЕ – ТОПЧИДЕРСКА РЕКА

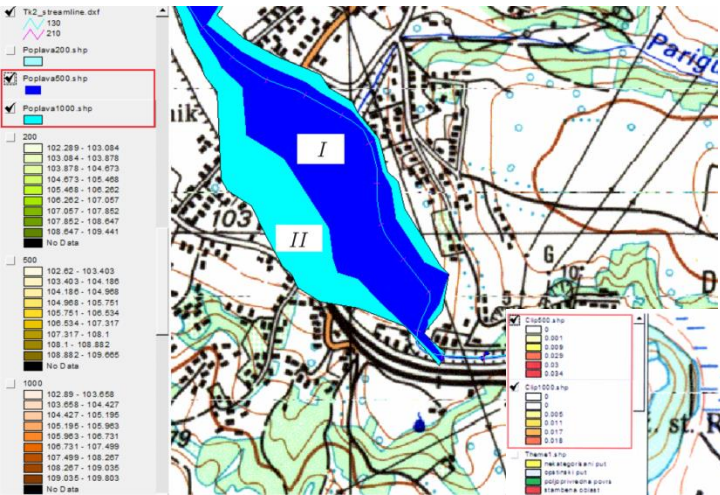


$$Q_{200}=108 \text{ m}^3/\text{s}, Q_{500}=130 \text{ m}^3/\text{s}, Q_{1000}=146 \text{ m}^3/\text{s}$$

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

ИСКУСТВА ИЗ НАШЕ ПРАКСЕ – ТОПЧИДЕРСКА РЕКА

карта плављења

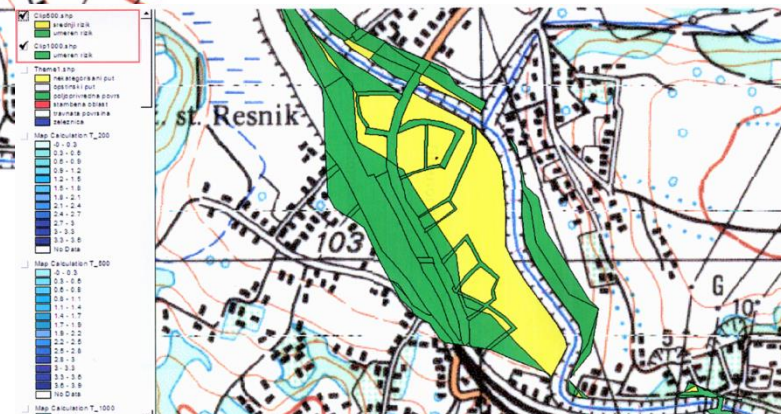


500-год. и 1000-год. велика вода

карта очекиване год. штете

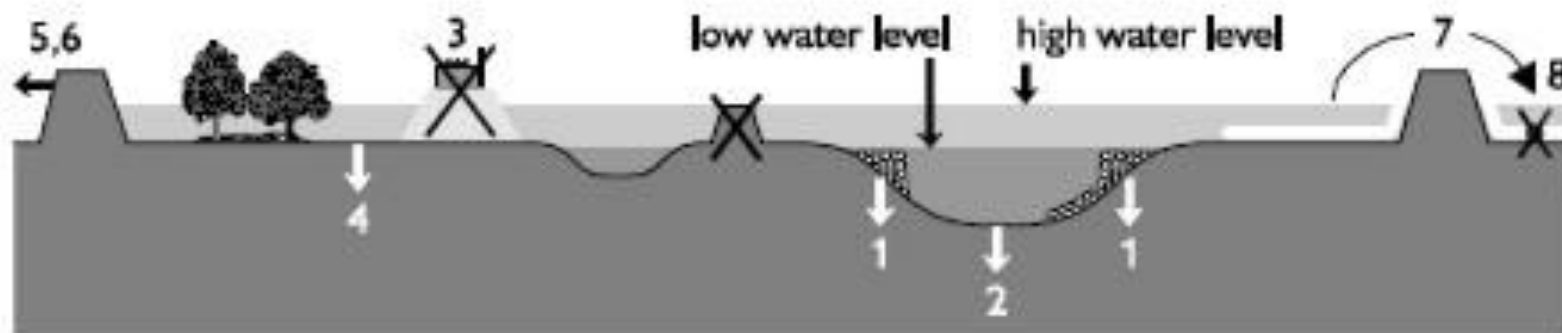


карта ризика



Нумеричке симулације у пројектовању инвестиционих мера заштите од поплава

**Актуелан приступ:
“дати води експанзиони простор”
(„give water space”)**

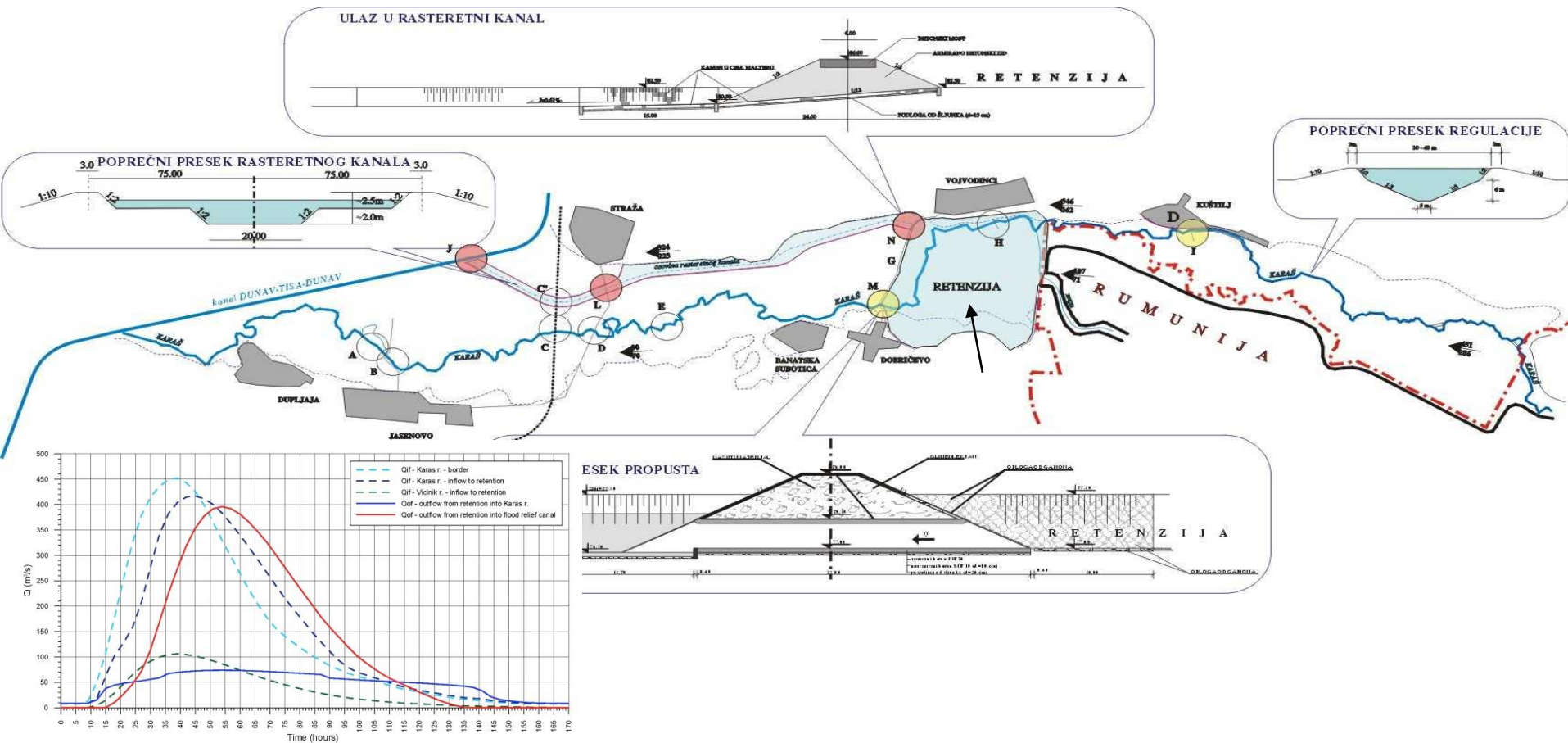


- 1 - lowering of groins
- 2 - deepening low flow channel
- 3 - removing hydraulic obstacles
- 4 - lowering flood plains

- 5 - locally setting back dikes
- 6 - setting back dikes on a large scale
- 7 - detention reservoir
- 8 - reduction lateral inflow

Нумеричке симулације у пројектовању инвестиционих мера заштите од поплава

Река Караш – пример сложеног система активне заштите од поплава



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Нумеричке симулације у пројектовању инвестиционих мера заштите од поплава

Долина Кумодрашког потока – места потенцијалних ретензија за велике воде

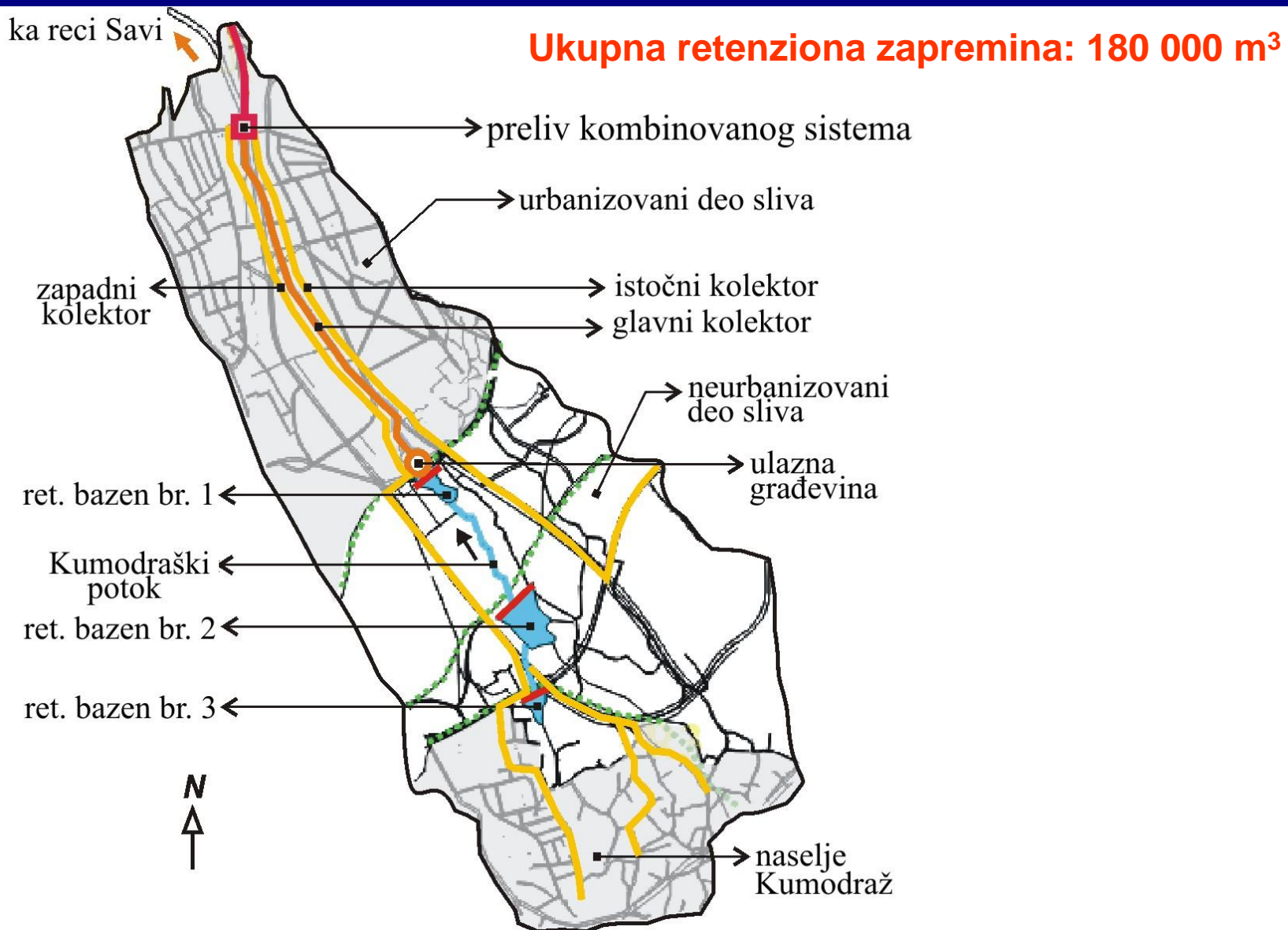


4. мај 2011.

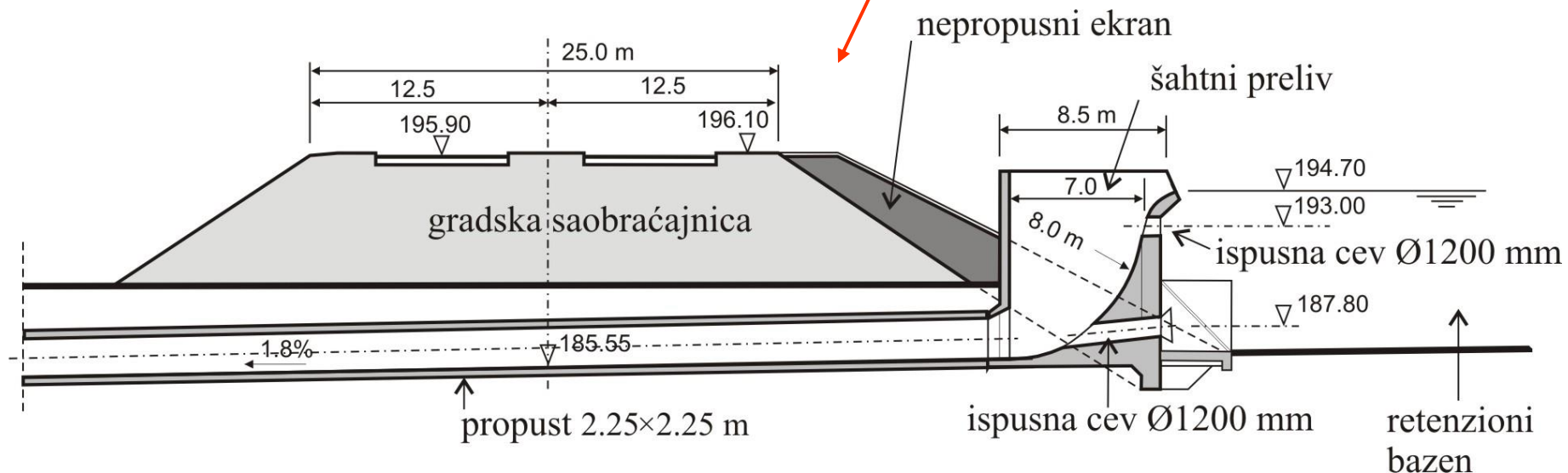
АИНС

85

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

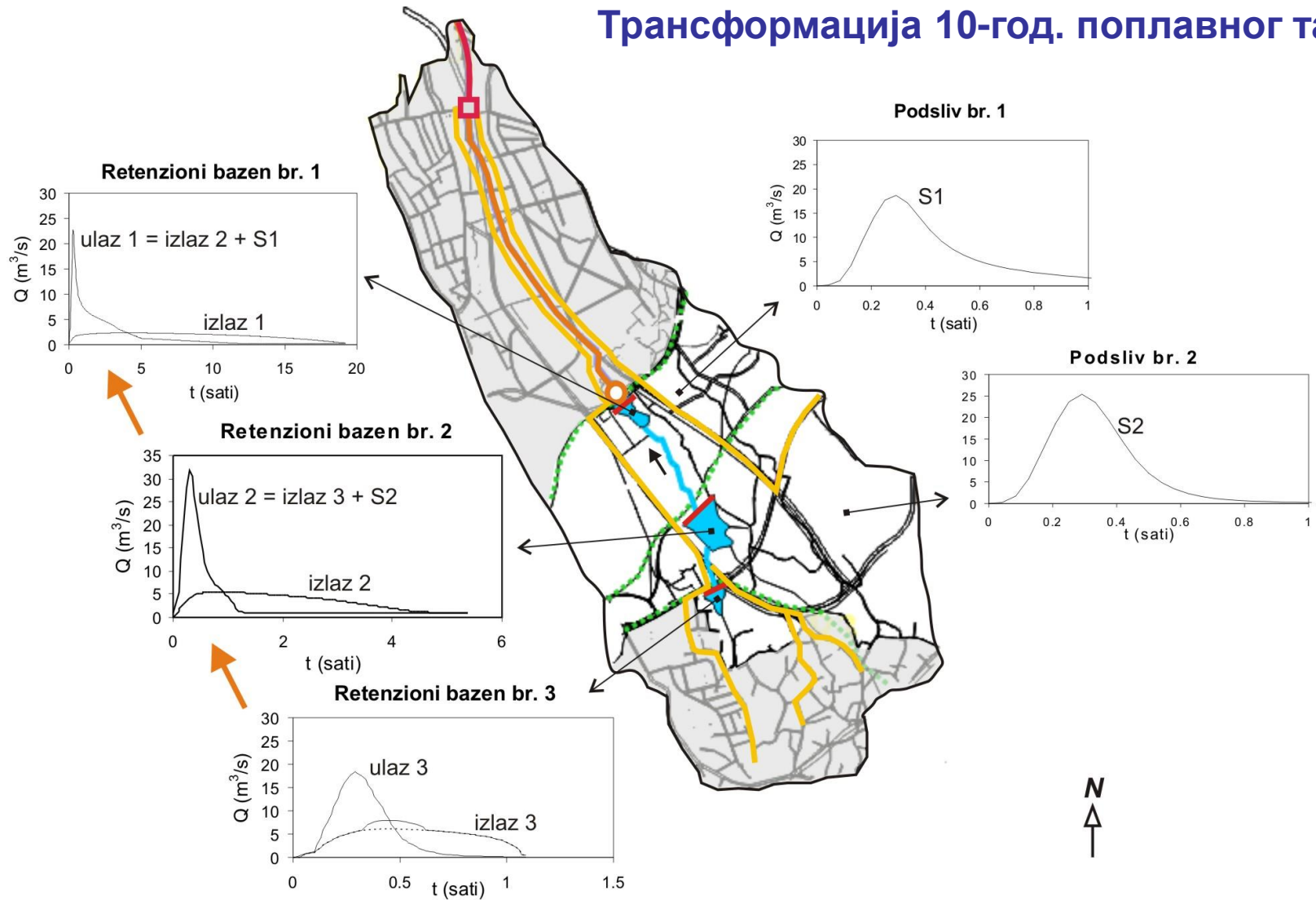


4. maj 2011.

АИНС

87

Трансформација 10-год. поплавног таласа



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Хидролошки циклус у руралним и урбаним срединама



Последице урбанизације

Смањење:

- интерцепције (задржавања на вегетацији)
- инфилтрације (упијања воде са површине)

Повећање:

- површинског отицаја
- загађења (моторна уља, тешки метали, ђубрива,...)

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Зграда ASLA (American Society of Landscape Architects), Вашингтон Д.Ц., 2005-6

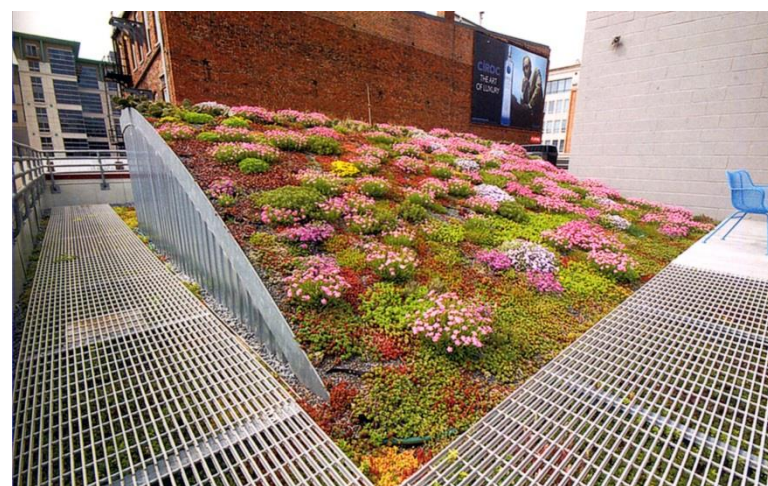
120 m²
\$ 950 000



Слојеви тла
(0.15-2 m)
са биљкама
кратког корена



4. мај 2011.



АИНС

90

Комплекс Калифорнијске академије наука Сан Франциско, арх. Renzo Piano (2008)

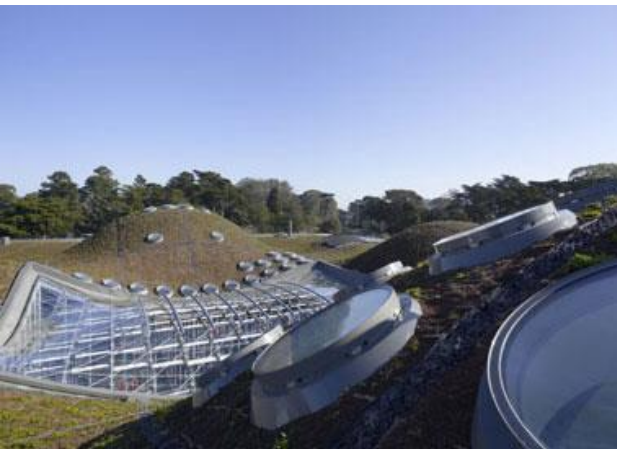
природњачки музеј, акваријум, планетаријум,
ботаничка башта, ...



Парадигма концепта “green building”

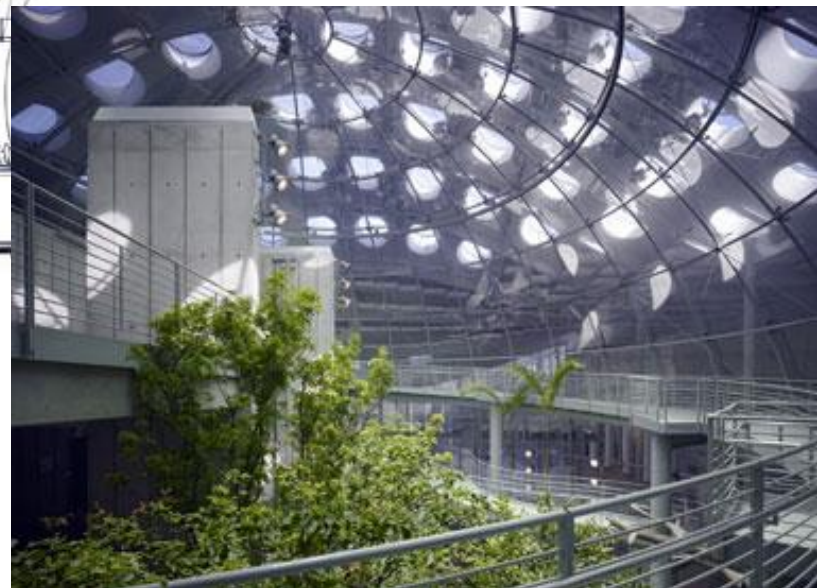
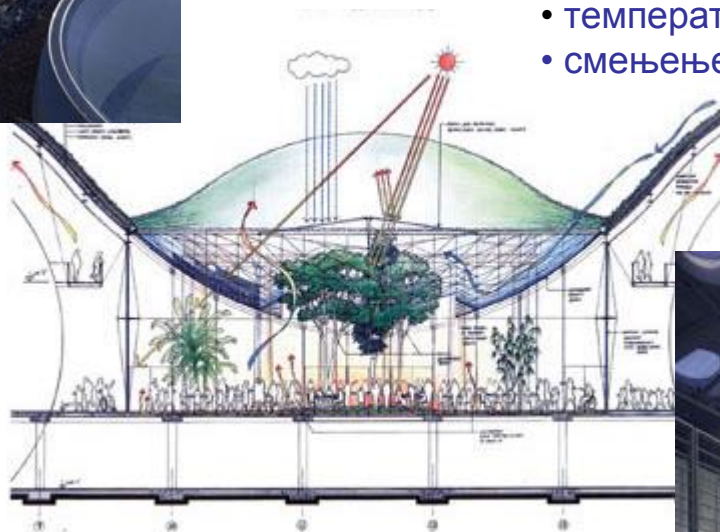
“подвлачење” зграда испод
постојећег парка, уз услов
да на крову буду искључиво
аутохтоне биљне врсте
калифорнијског приобаља

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Карактеристике “зеленог крова”:

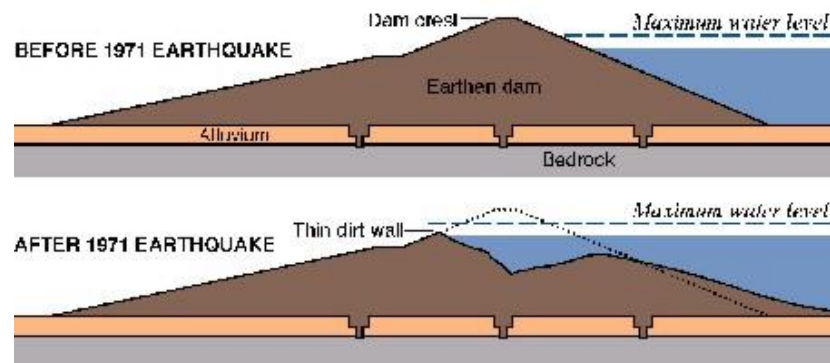
- слој тла висине 15 cm
- **упија 98% кишне воде**
- **задржава око 140 000 m³/god директног отицаја (са раствореним загађењем)**
- температурна разлика око 10°C
- смењење буке за око 40 dB



- смањена годишња емисија гасова стаклене баште за око 200 000 kg
- 60000 фото ћелија “покрива” 5% годишње потрошње енергије

Нумеричке симулације у пројектовању мера заштите од поплава услед пролома брана

Брана Сан Фернандо (САД), 1971.



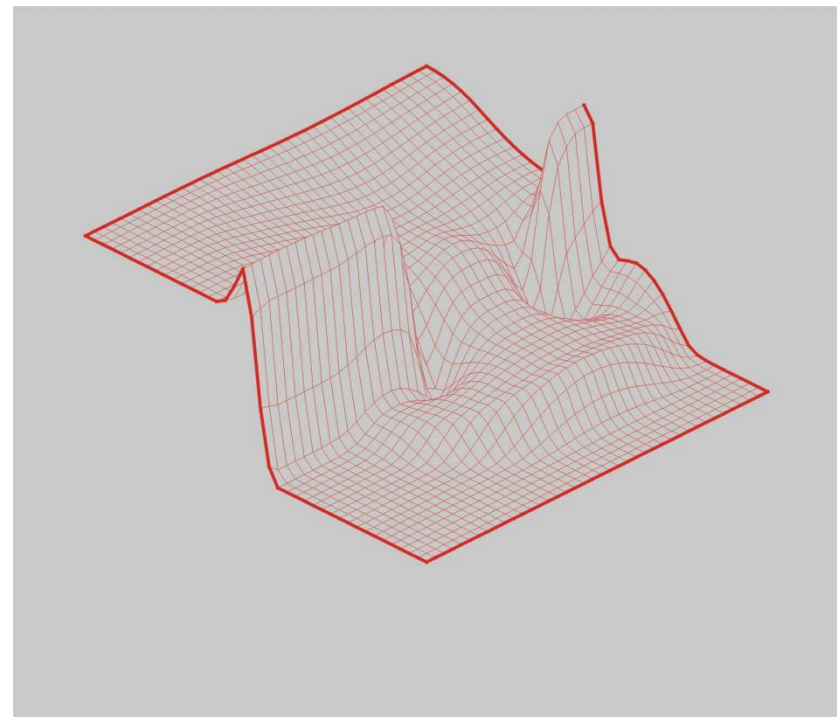
Брана Лос Фраилес (Шпанија), 1998.



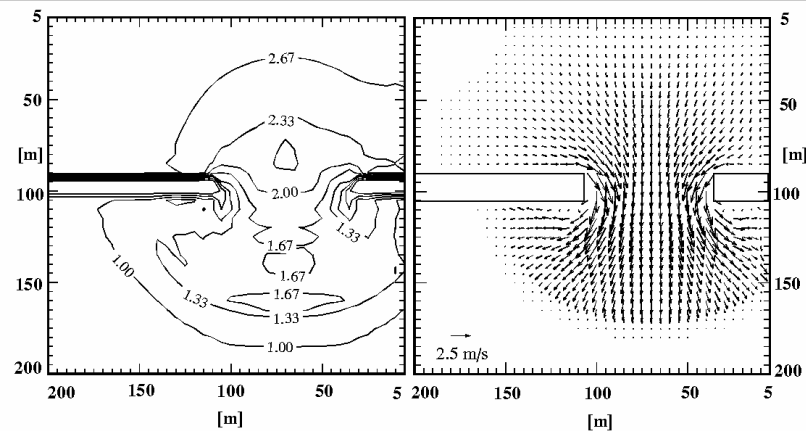
Хаварија бране на пепелишту “Костолац”, 2002.



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



**Нумеричка симулација
пролома бране или насипа**

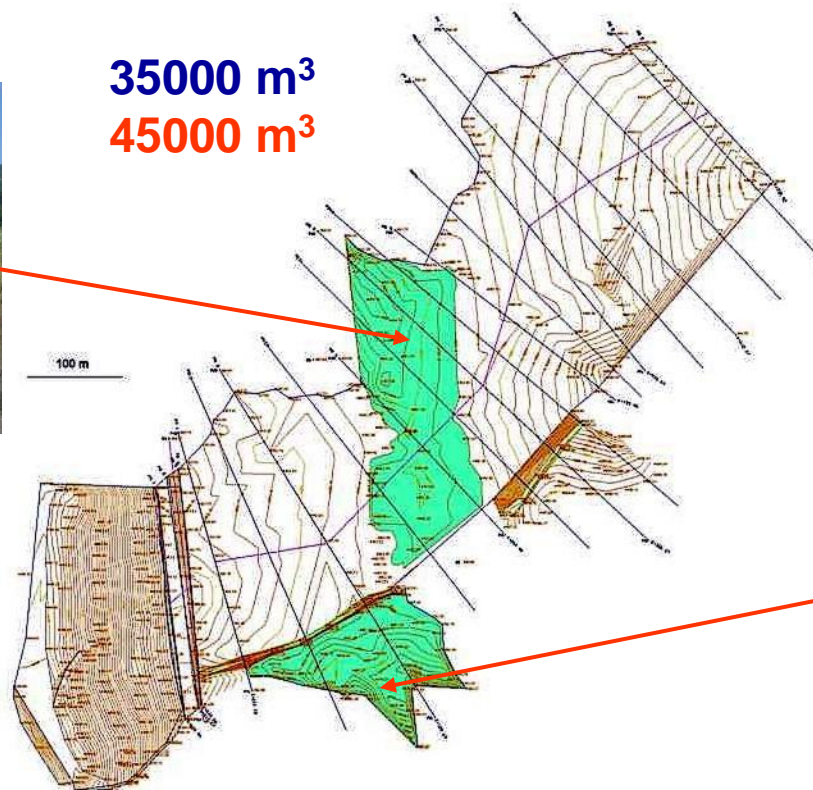


Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Пример: прогноза хидрауличких последица рушења бране “Рудник”



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



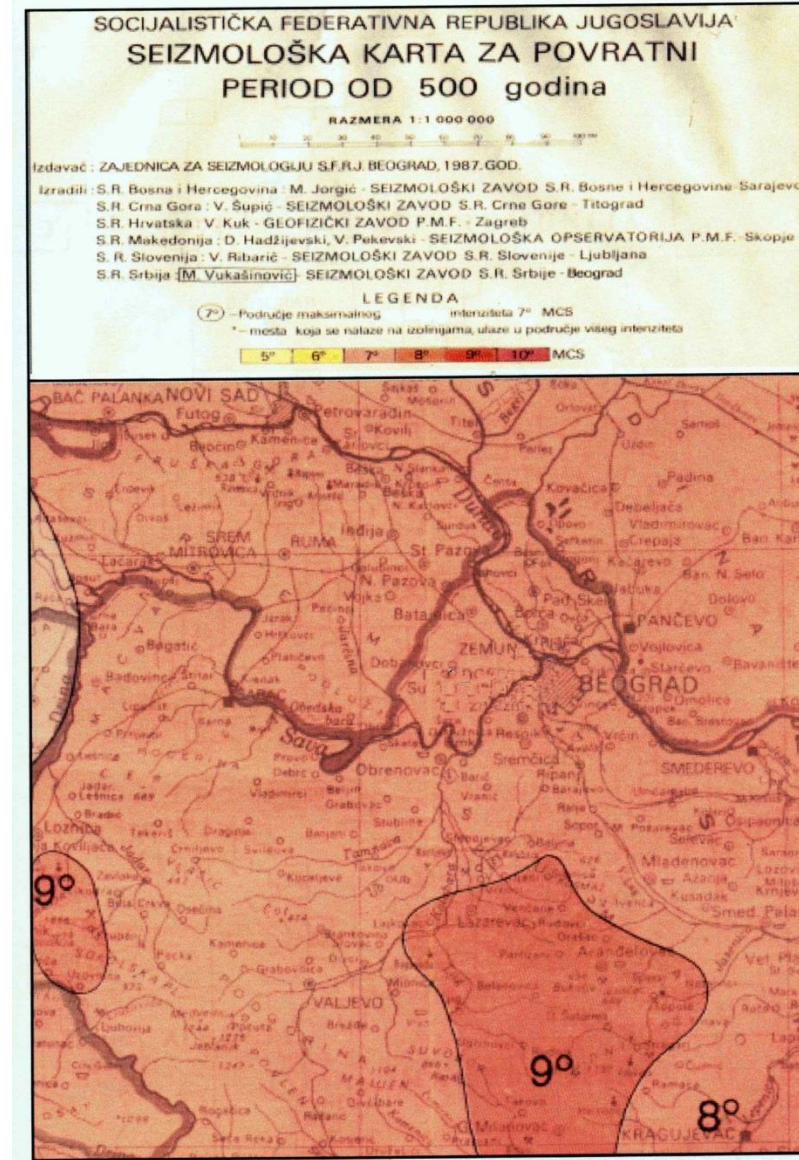
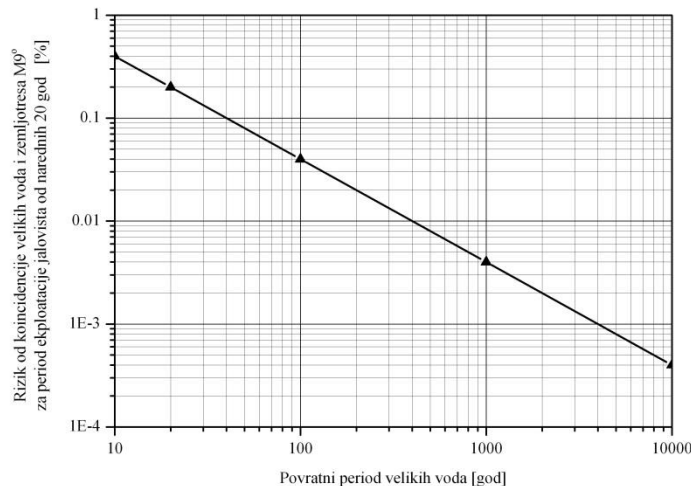
Сценарији рушења бране:

Сценарио 1:

До рушења долази услед земљотреса у нормалним експлоатационим условима - запремина воде: **45000 m³**

Сценарио 2:

До рушења долази при коинциденцији земљотреса и 1000-год. вел.воде у сливу - запремина воде: **268000 m³**.

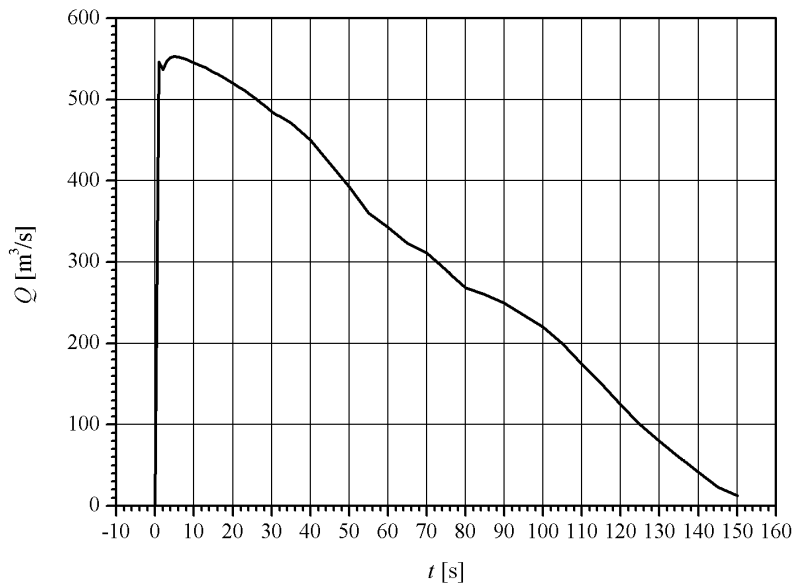


Рачунске претпоставке:

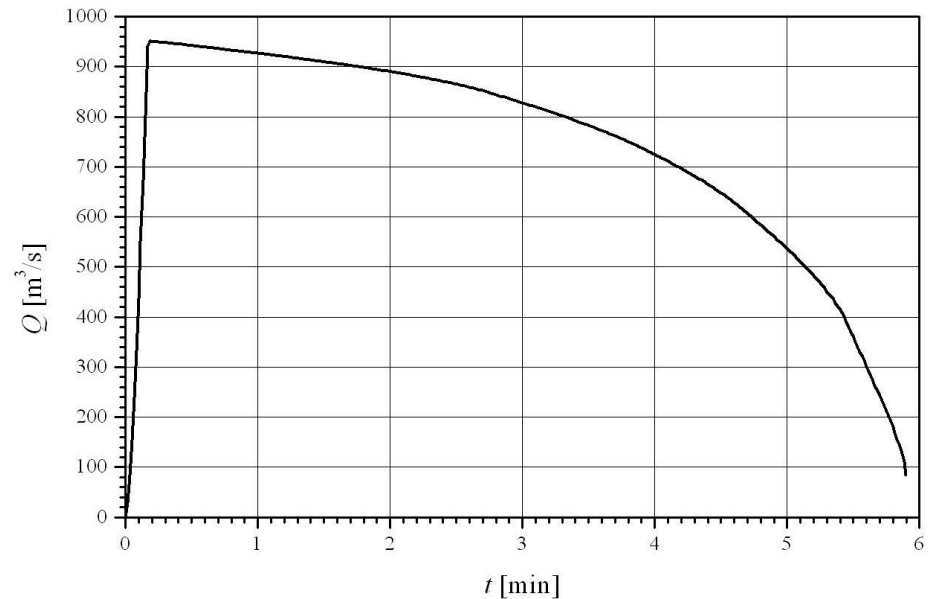
- Брана се руши тренутно, услед земљотресом изазване ликвефакције.
- На брани се формира бреша ширине 50 м, са прагом на коти која одговара најнижој коти дна језера.
- Прорачун се може поделити тако да се најпре срачуна талас услед пражњења језера (после тренутног пролома бране), а затим, простирање тог таласа у долини низводно од јаловишта.

Поплавни таласи изазвани рушењем бране “Рудник”

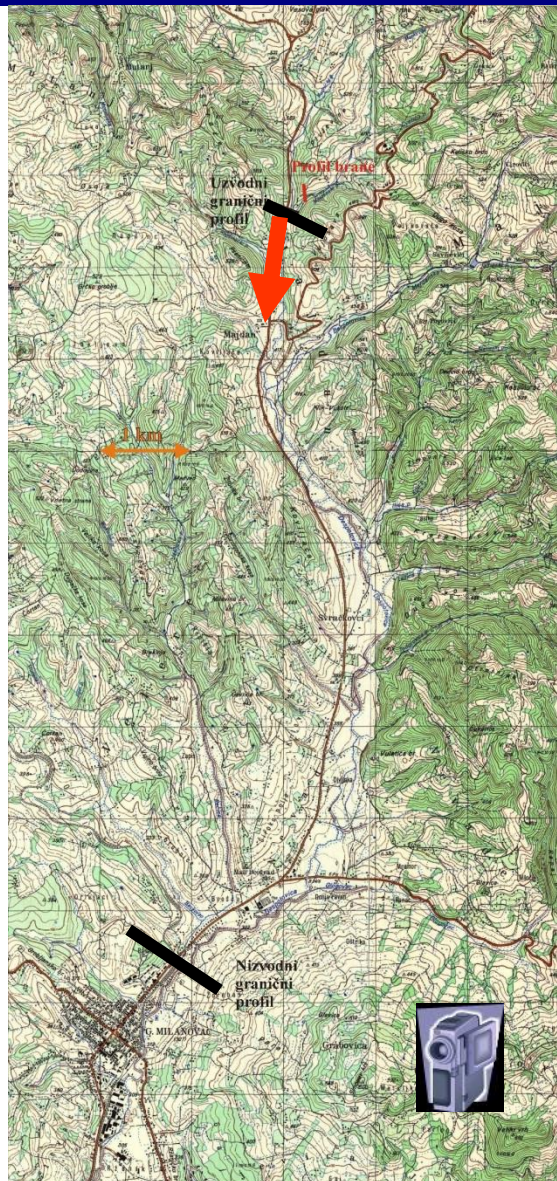
Сценарио 1: **45000 m³**



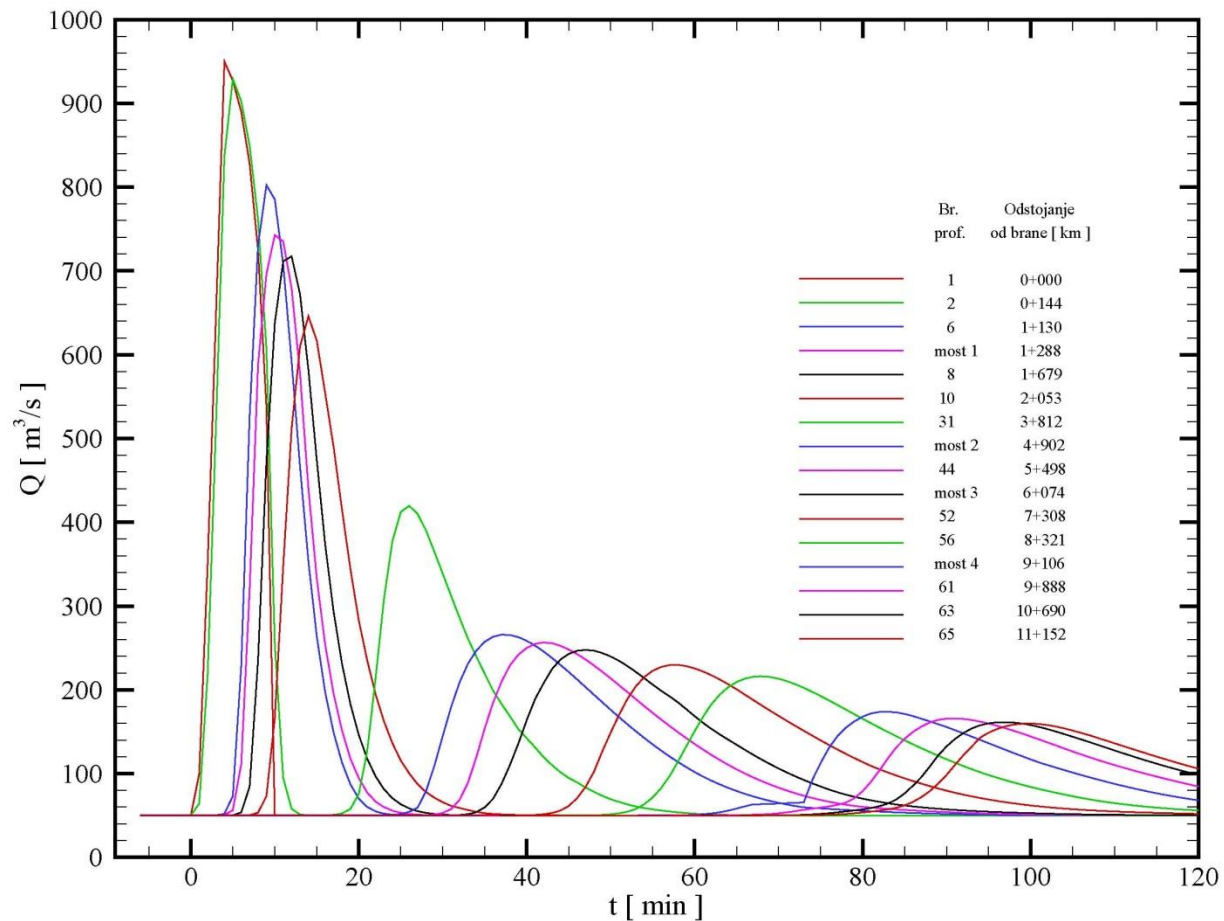
Сценарио 2: **268000 m³**



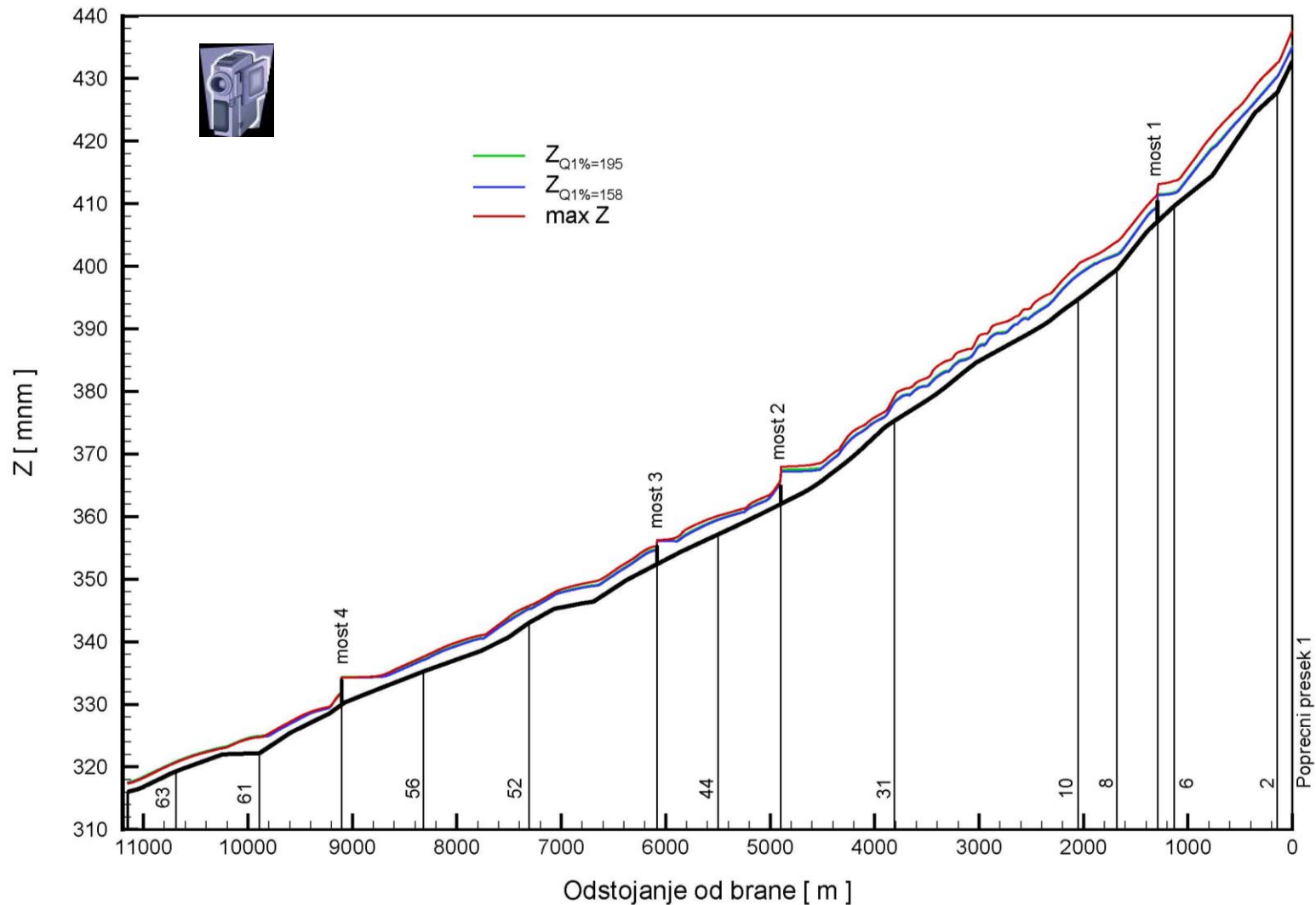
6 пута већа запремина !!



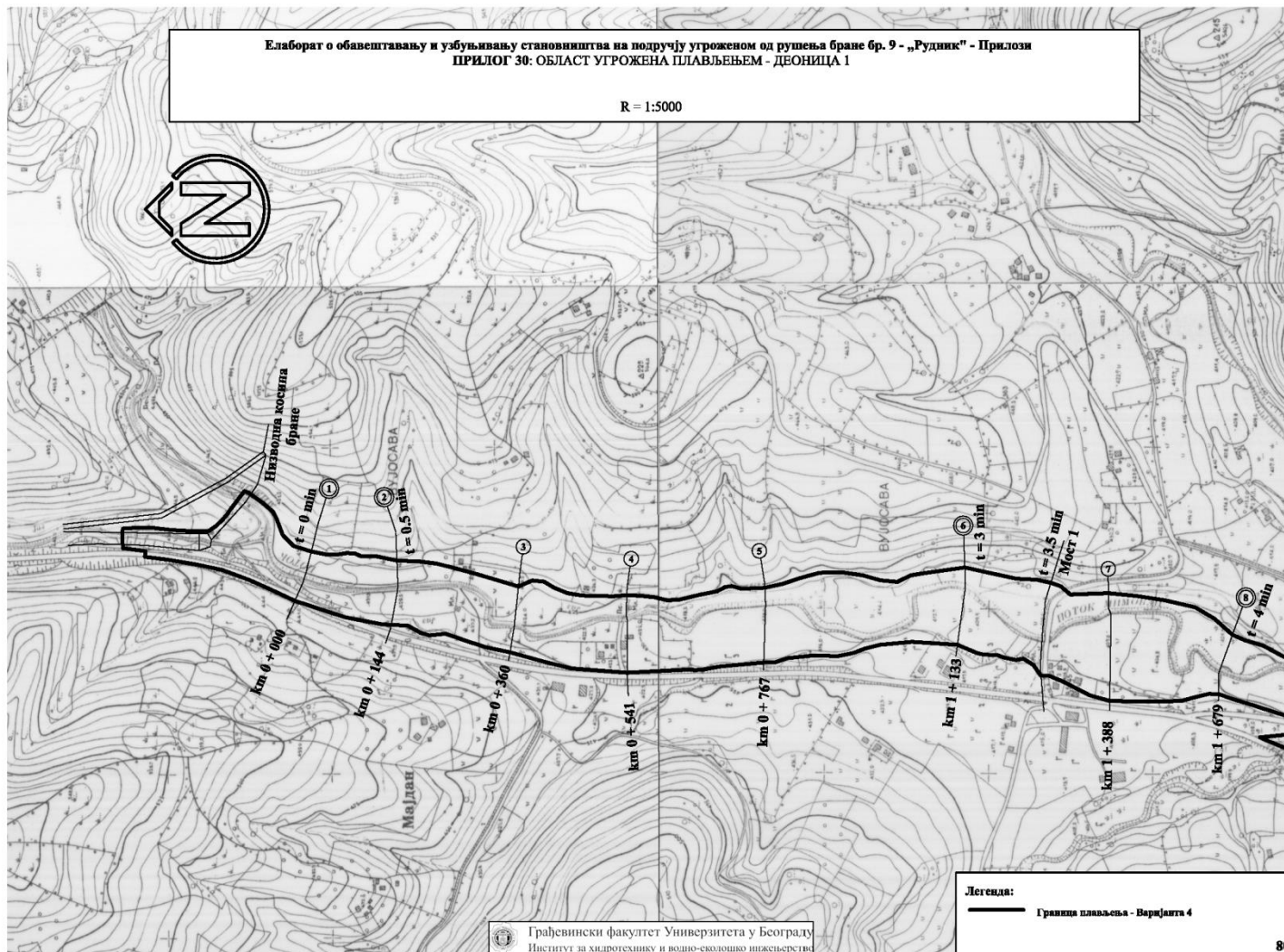
Сценарио 2: Трансформација поплавног таласа



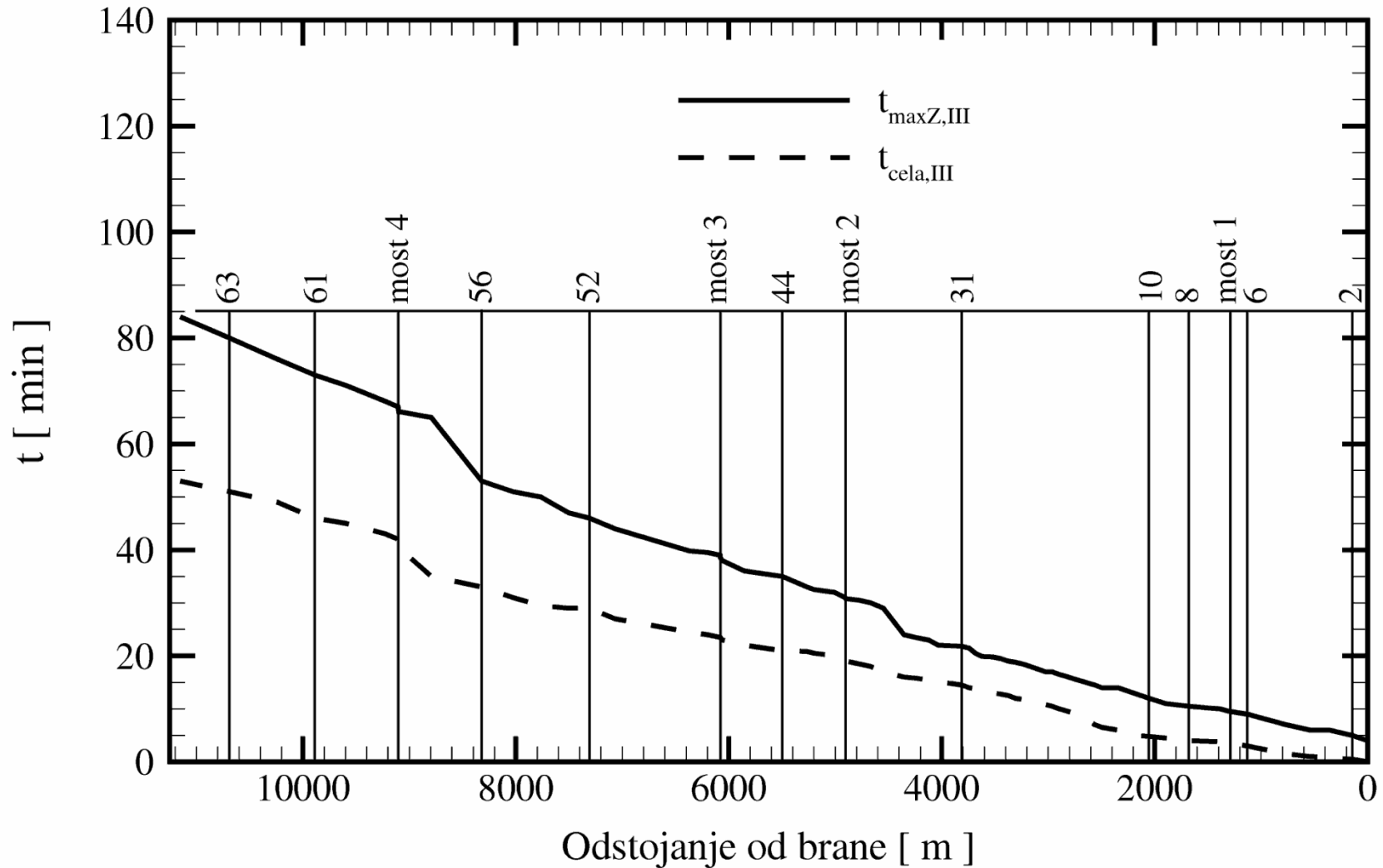
Уздужни профил таласа услед рушења бране на јаловишту “Рудник”



Картирање области угрожене плављењем услед рушења бране



Времена појаве чела таласа и највише коте нивоа (узбуњивање становништва на угроженом подручју)



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ
ЈАВНО ПРЕДУЗЕЋЕ ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ "КОСТОЛАЦ"

ОДБРАНА
СЛУЖБЕНА ТАЈНА
СТРОГО ПОВЕРЉИВО

ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ СИСТЕМА ОСМАТРАЊА И ОБАВЕШТАВА НА ПОДРУЧЈУ УГРОЖЕНОМ ОД РУШЕЊА НАСИПА НА ПЕПЕЛИШТУ "КОСТОЛАЦ"



Свеска 1: ХИДРОТЕХНИЧКИ ДЕО

Уговор бр. 43130/2-02 (Грађевински факултет)
Уговор бр. 3200 и 1836 (ЕПС ТЕ "Костолац")



ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ
ИНСТИТУТ ЗА ХИДРОТЕХНИКУ

Београд, децембар 2003. године

А.Д. Рудник и флотација „Рудник“

ЕЛАБОРАТ О ОБАВЕШТАВАЊУ И УЗБУЊИВАЊУ С НА ПОДРУЧЈУ УГРОЖЕНОМ ОД РУШЕЊА „РУДНИК“ - Општи део са хидрауличким пројектом



Уговор бр. 1644 од 27.09.2006. год. А.Д. Рудник и
Уговор бр. 43630/2-06 од 29.09.2006. год. Институт
за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство Грађевинског факултета



Грађевински факултет Универзитета у
Институт за хидротехнику и водно еколошко инжењерство

Београд, фебруар 2007.

Институт за водопривреду „Јарослав Чук“

ЕЛАБОРАТ О ОБАВЕШТАВАЊУ И УЗБУЊИВАЊУ НА ПОДРУЧЈУ УГРОЖЕНОМ ОД РУШЕЊА 3 флотацијског јаловишта „Велики - Књига I: Општи део са хидрауличким пројектом



Уговор бр. 2337 од 4.9.2007. год. Институт за водопривреду
Уговор бр. 43705 од 29.08.2007. год. Институт за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство Грађевинског факултета



Грађевински факултет Универзитета у
Институт за хидротехнику и водно еколошко инжењерство
Београд, новембар 2007.

Грађевински факултет Универзитета у Београду
Институт за хидротехнику и водно еколошко инжењерство



ПРОЈЕКАТ ОБАВЕШТАВАЊА И УЗБУЊИВАЊА СТАНОВНИШТВА НА ПОДРУЧЈУ УГРОЖЕНОМ ОД РУШЕЊА БРАНЕ ФЛОТАЦИЈСКОГ ЈАЛОВИШТА РУДНОГ ТЕЛА „Х“ У БОРУ - Књига I: Општи део са хидрауличким пројекцима -



Уговор бр. 2990 од 17.09.2010. год. Рударски институт Београд-Земун
Уговор бр. 43886 од 14.09.2010. год. Институт за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство Грађевинског факултета

Београд, децембар 2010.

3.4

Транспортни процеси у хидротехници

Реконструкција водозахвата „Макиш“

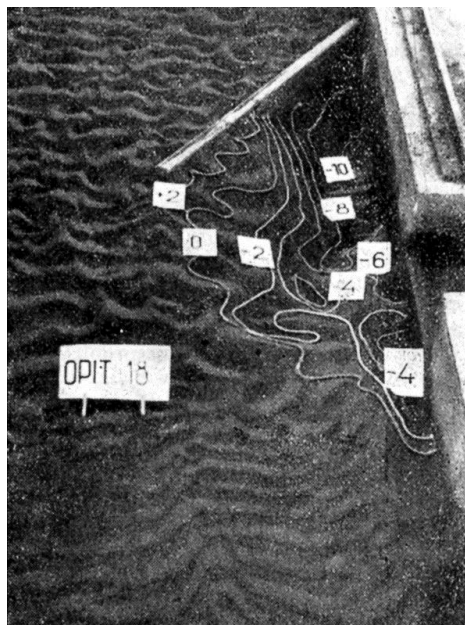


Капацитет водозахвата:

1. Садашњи: $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$
2. Будући: $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Моделска испитивања 1961.

(Институт “Ј. Черни”)

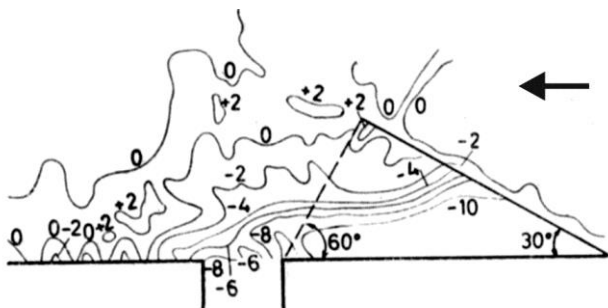


Моделска испитивања 1986.

(Институт “Ј. Черни”)

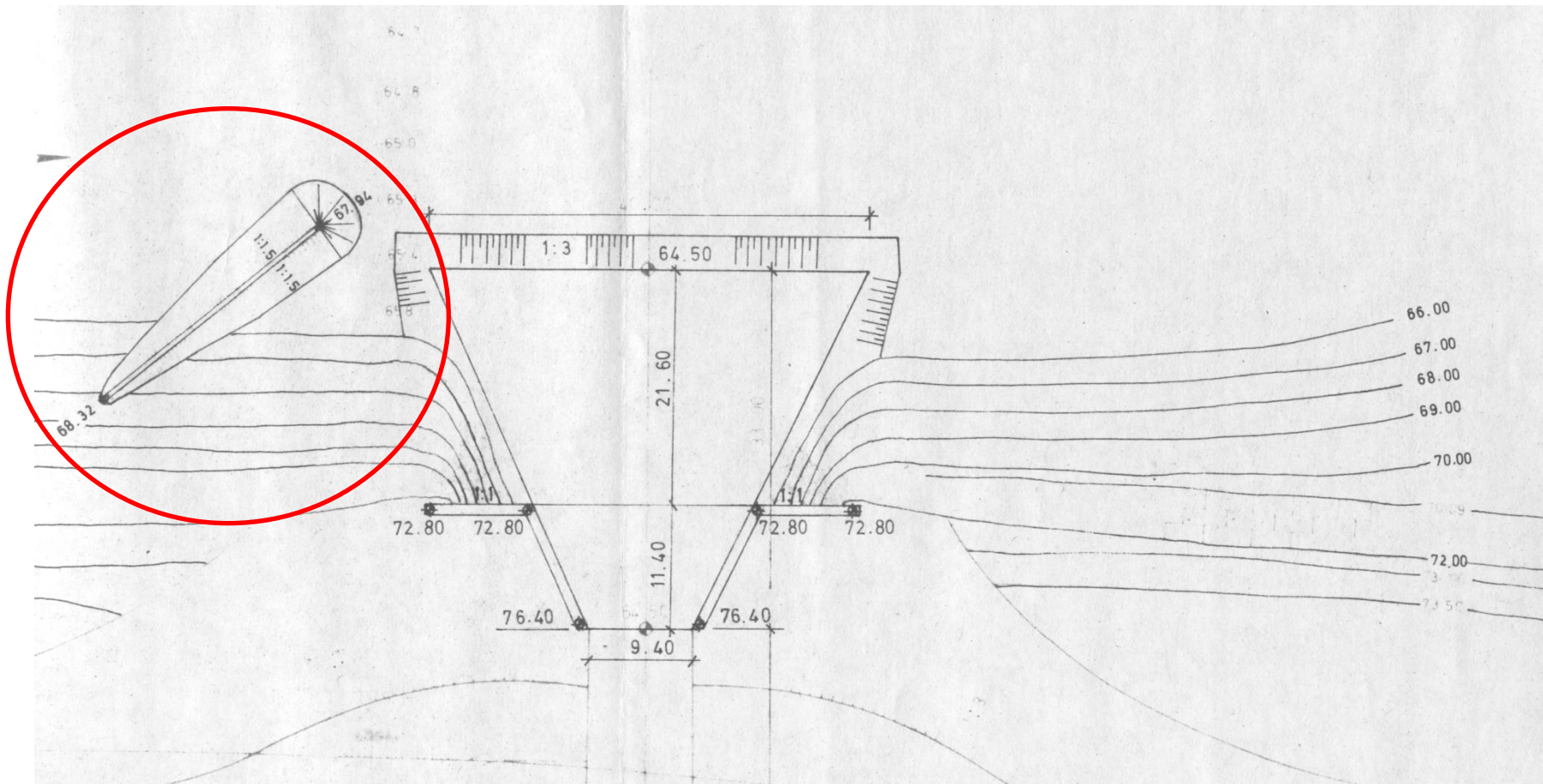


Физички модел 1:40



Циљ експерименталног рада:
одредити решење које ће у највећој мери
смањити засипање водозахвата

Основа улазне грађевине водозахвата



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Рачунска мрежа

елемената: 10964
чворова: 28335



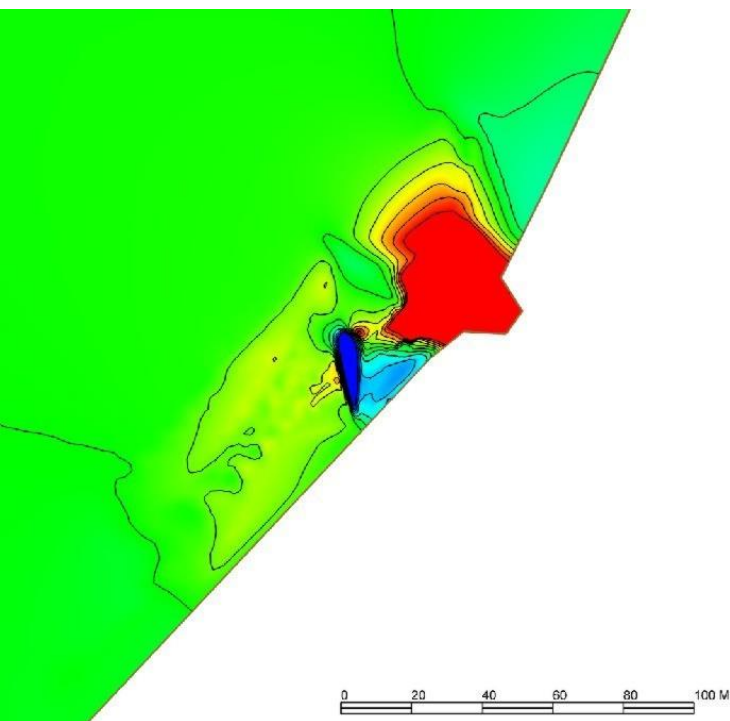
4. мај 2011.

АИНС

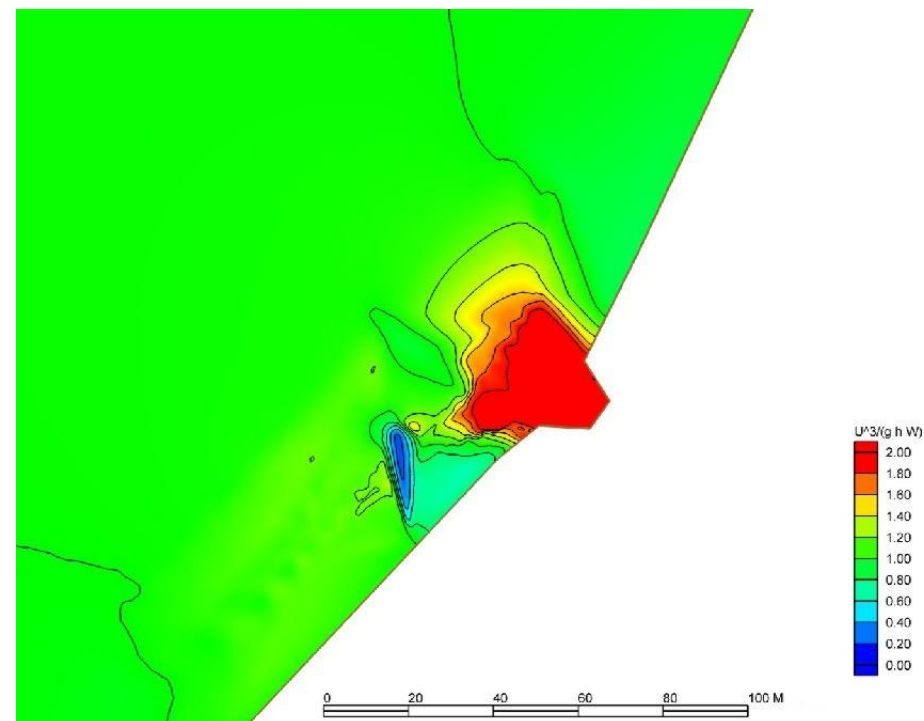
110

Ефекти прага ?

Параметар вученог наноса U^5

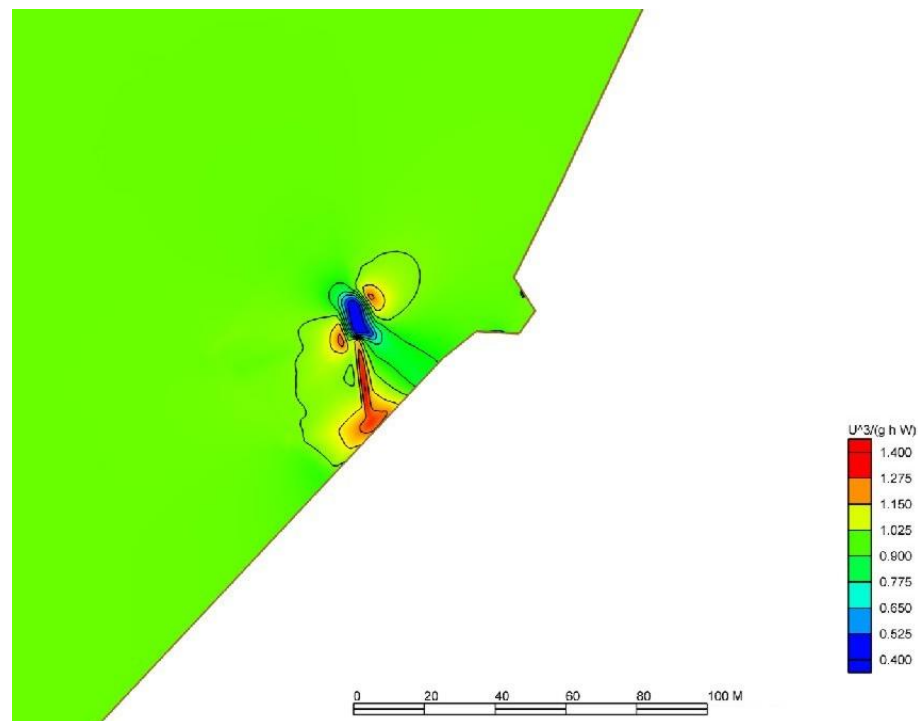
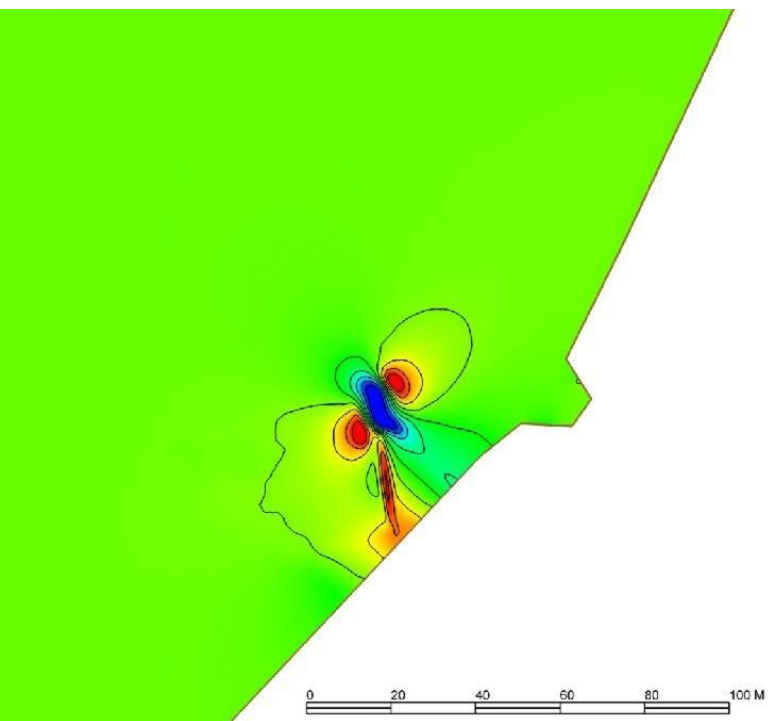


Параметар суспендованог наноса $U^3/(ghW)$



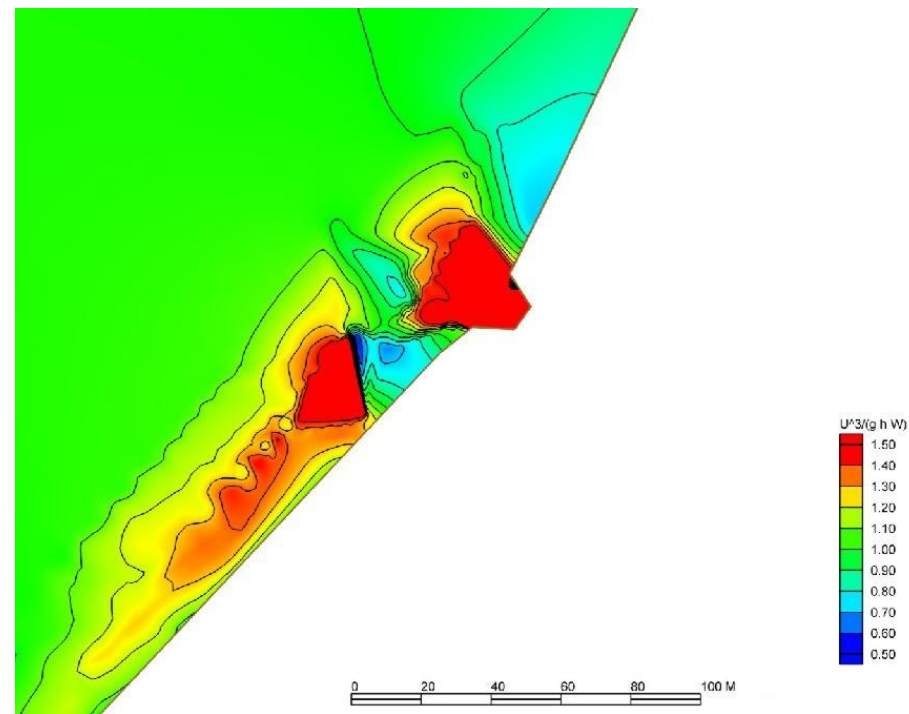
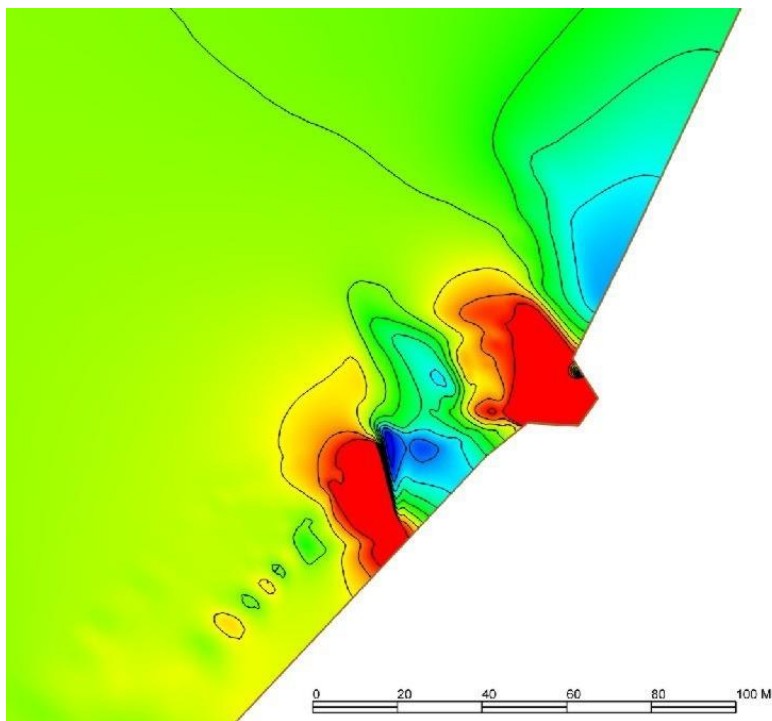
Однос вредности параметара за случај “без прага” и случај “са прагом” показује да 1,4-2,0 пута више наноса засипа водозахват када нема прага

Да ли продужити праг ?



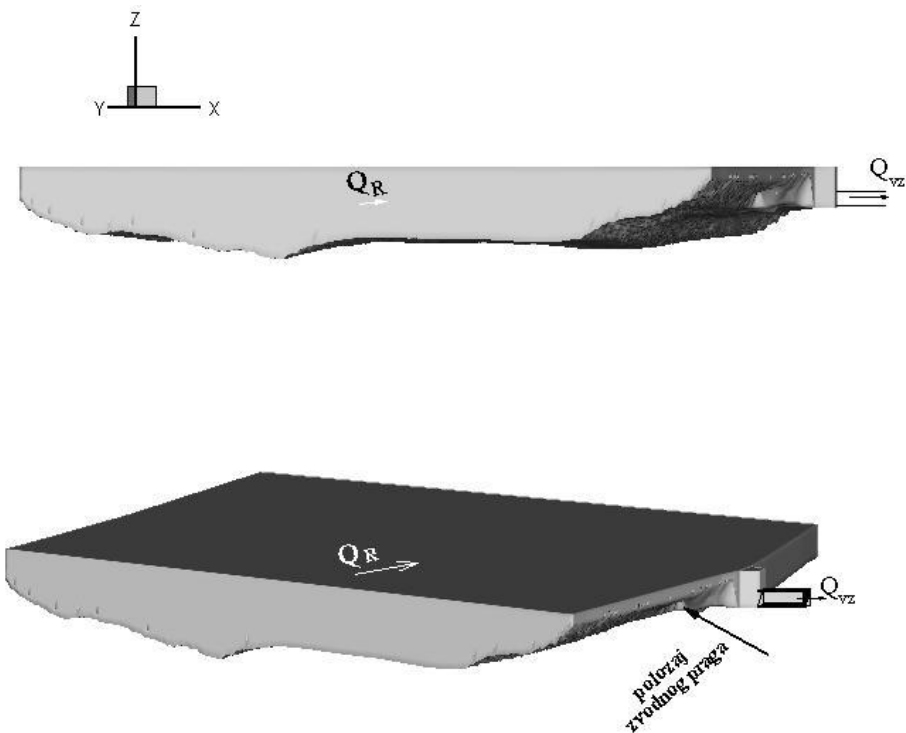
Однос вредности параметара за случај “краћи праг” и случај “10 m дужи праг” показује да је продужење прага оправдано

Да ли чистити корито ?



Однос вредности параметара за случај “засуто корито” и случај “очишћено корито” показје да је чишћење неоподно на дужини од најмање 150 m узводно од водозахвата

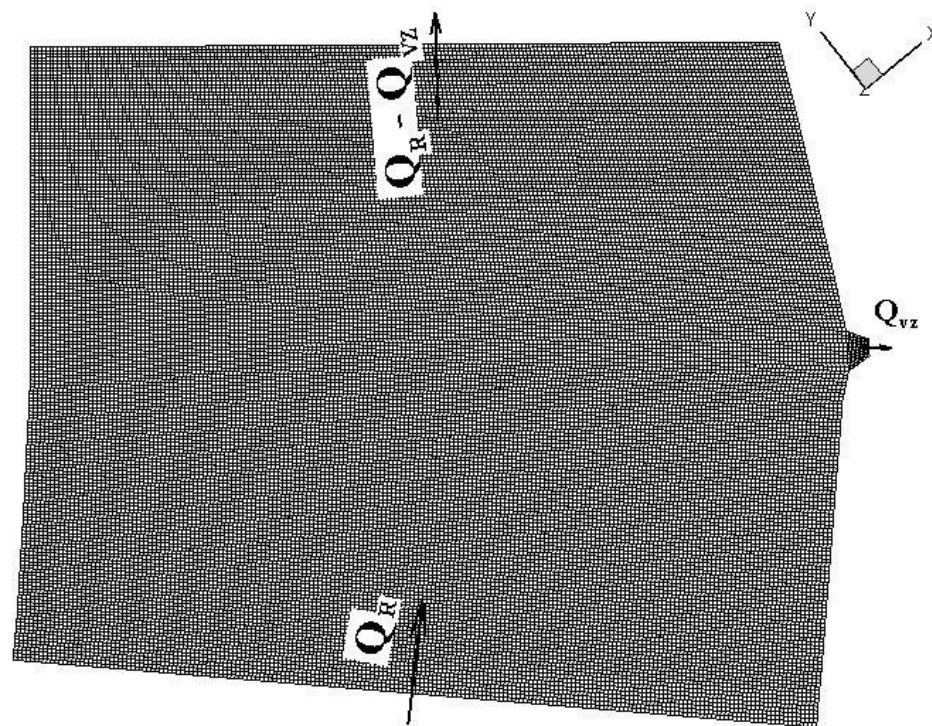
Аксонometriјски приказ речног корита (рачунска област)



Рачунска мрежа 3D модела

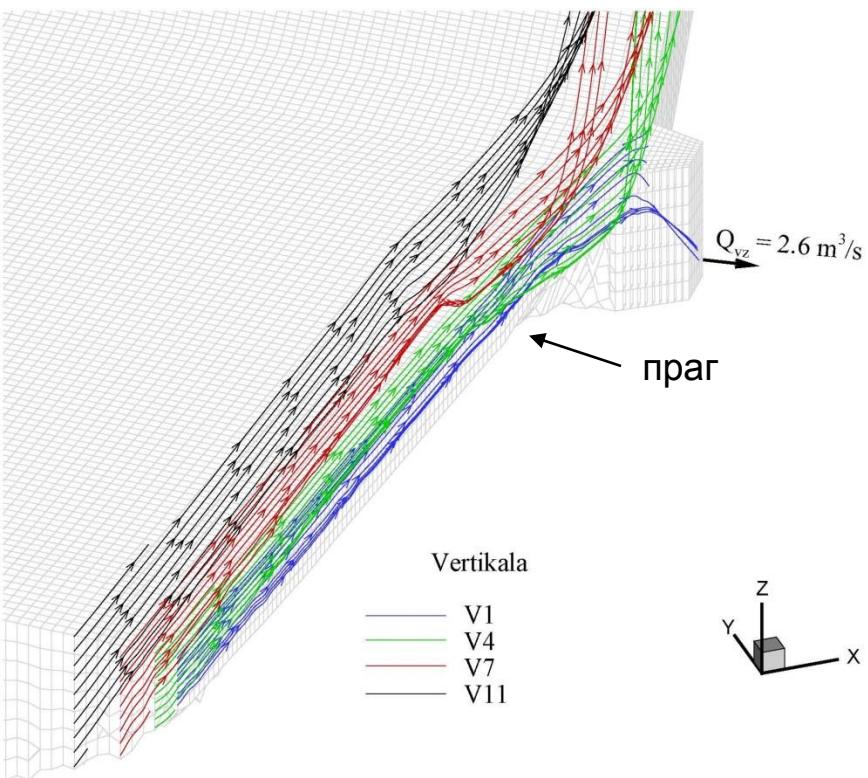
182×193 поља у основи
са 12 слојева по дубини

укупно коначних запремина: 328237

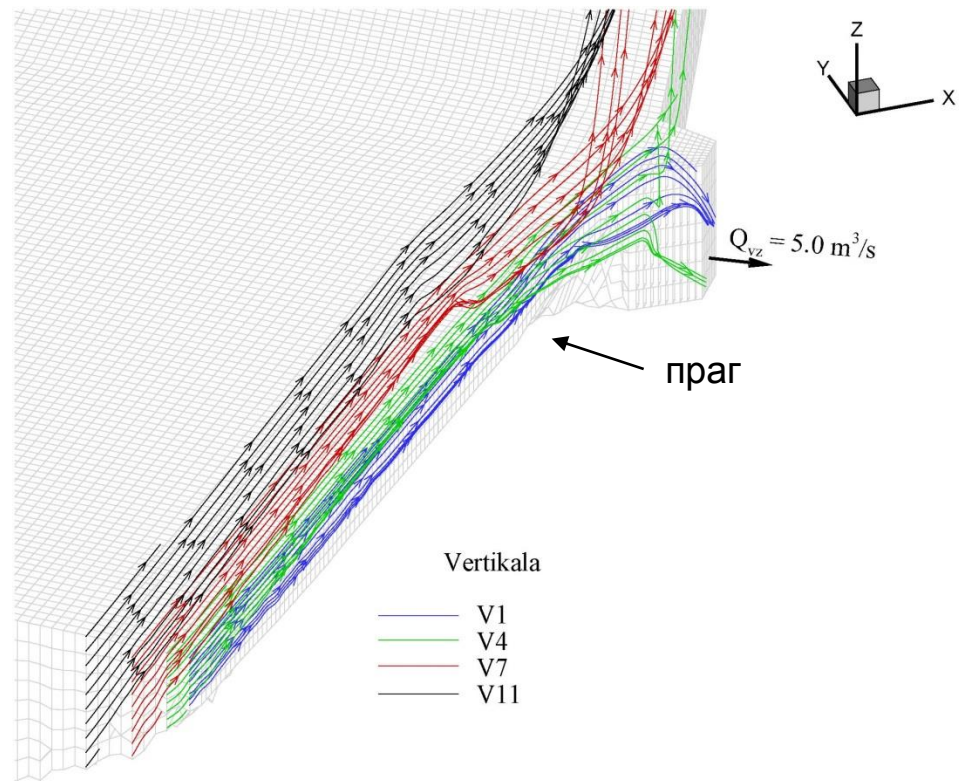


Струјнице дуж обале у зони водозахвата

садашњи капацитет водозахвата

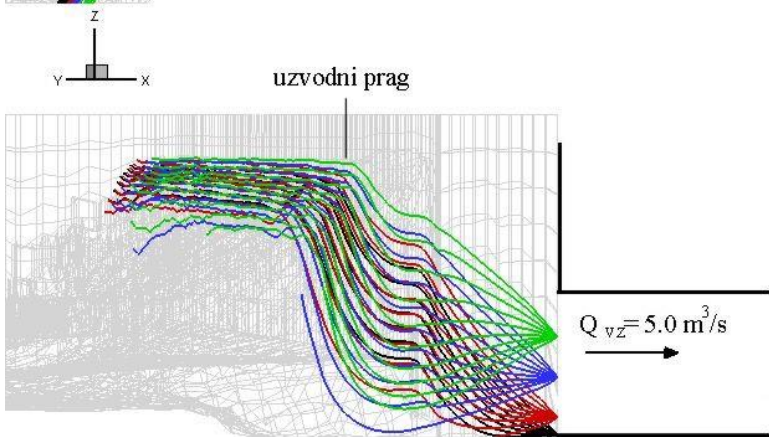
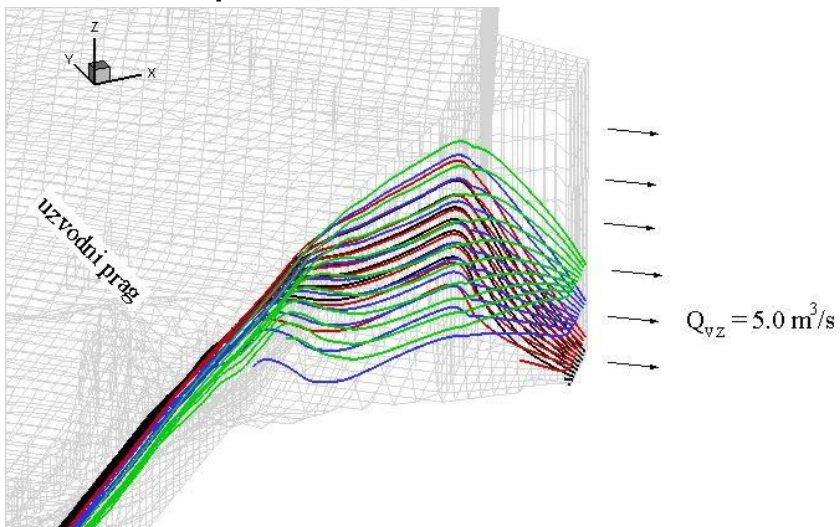


будући капацитет водозахвата

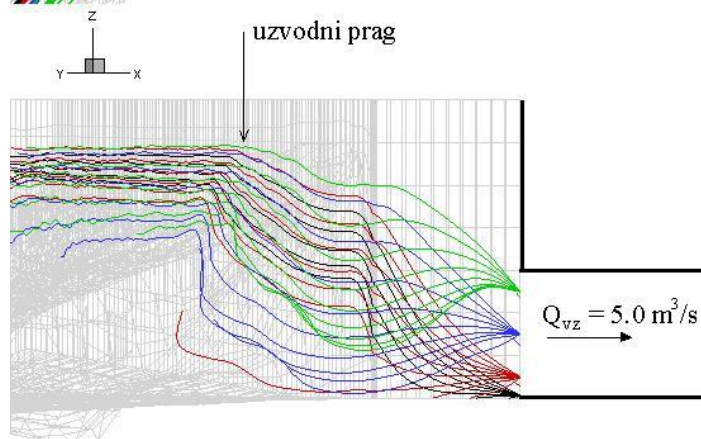
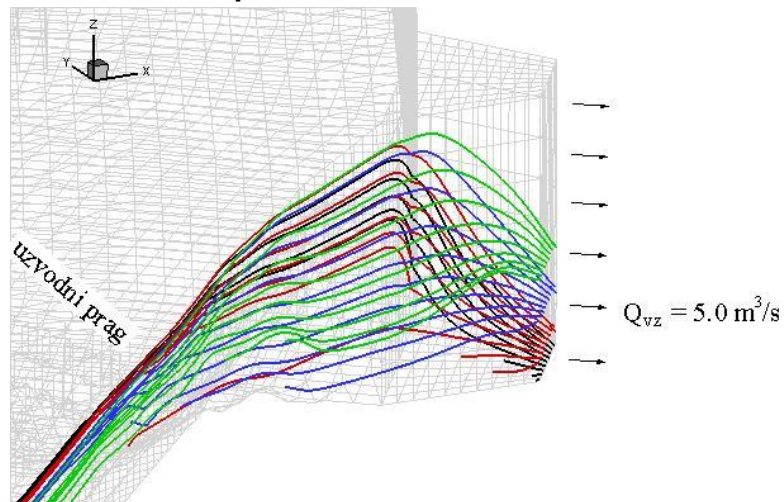


Струјнице по висини водозахвата

садашњи праг
очишћено корито



дужи праг и
очишћено корито



3.5 Морфодинамика речног корита

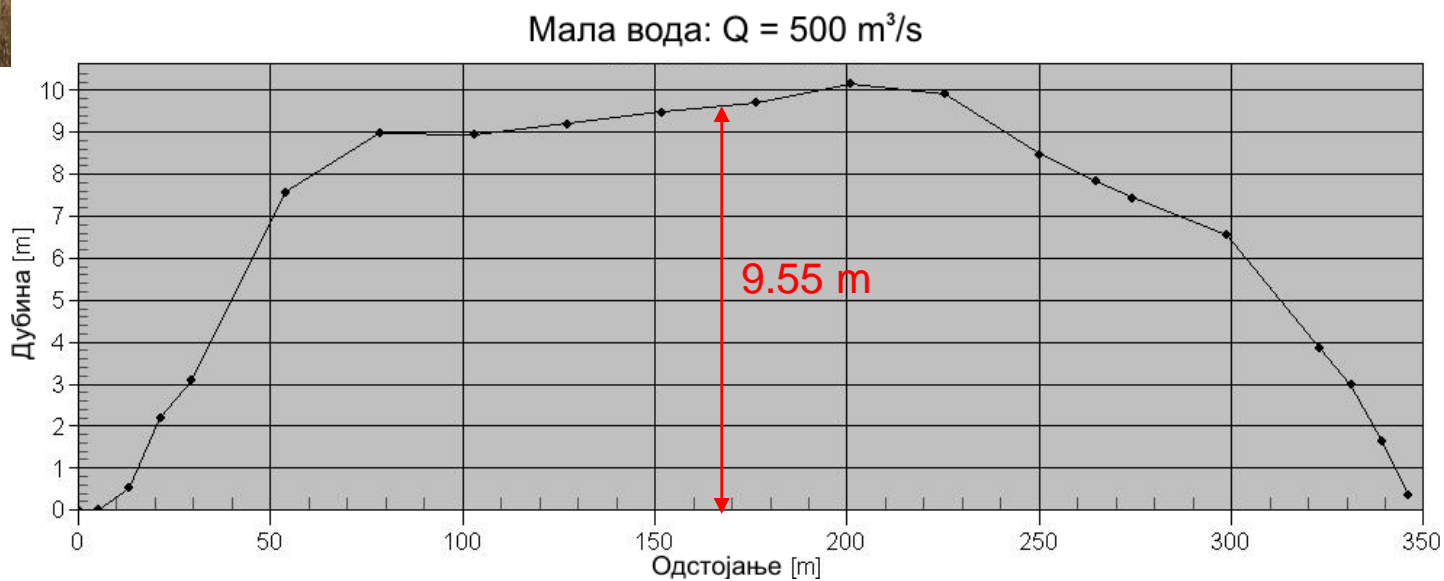
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Пример 1: деформација корита реке Саве
услед концентрисаног испуштања избагерованог материјала



Испушта се $420 \text{ m}^3/\text{s}$
материјала током
456 сати (19 дана)

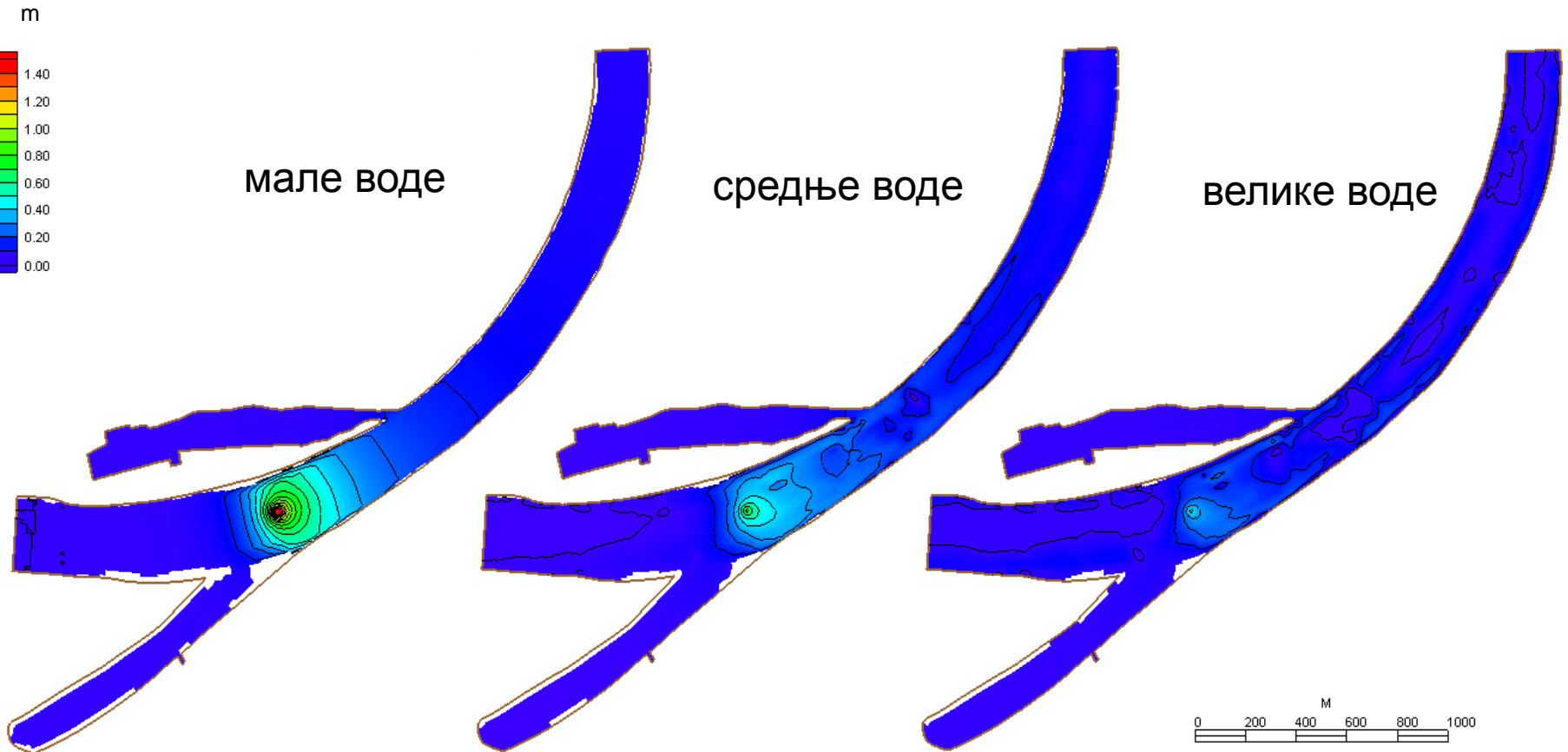
Профил у коме се испушта избагеровани материјал



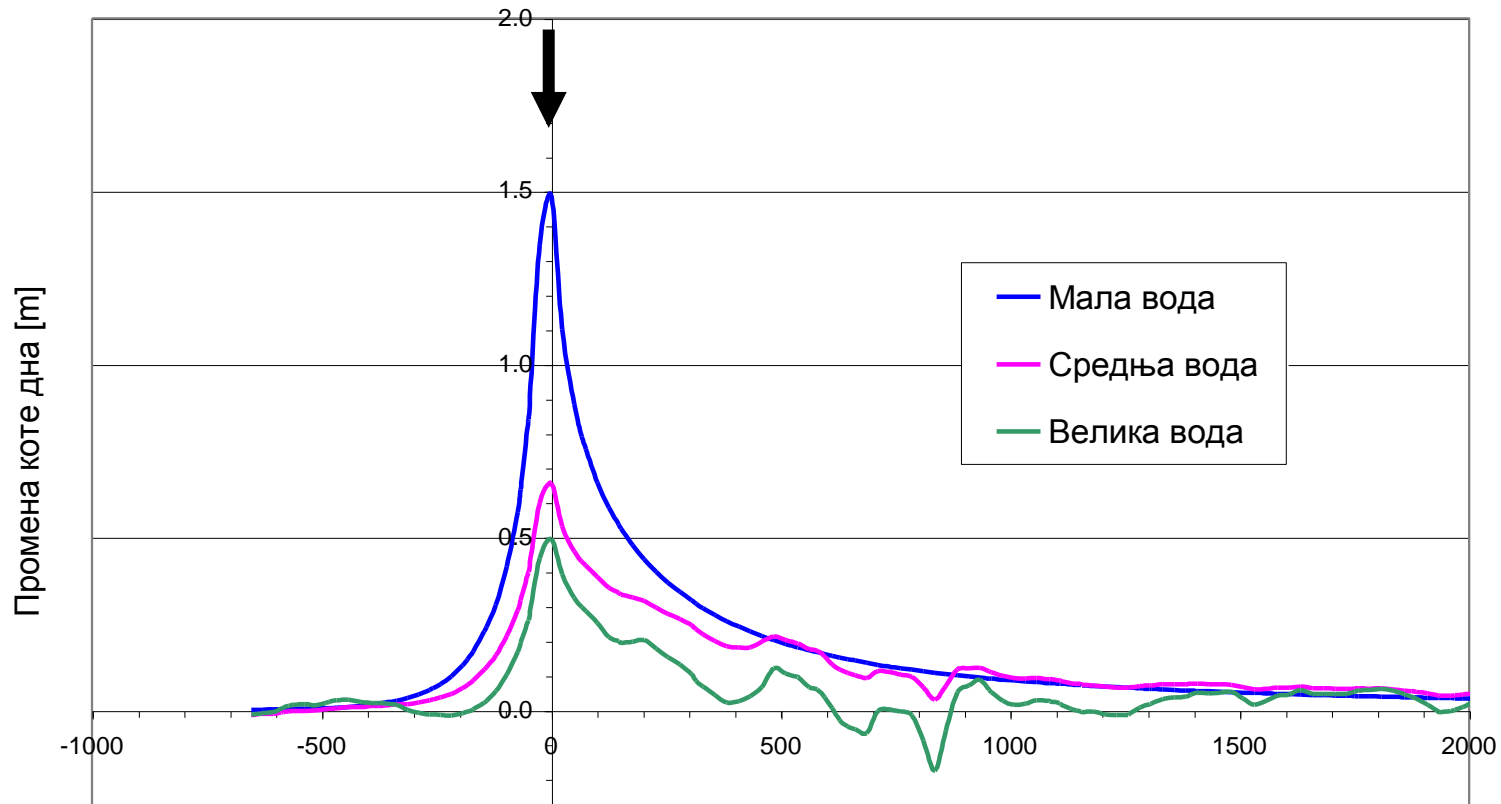
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Упоредни приказ засипања речног корита



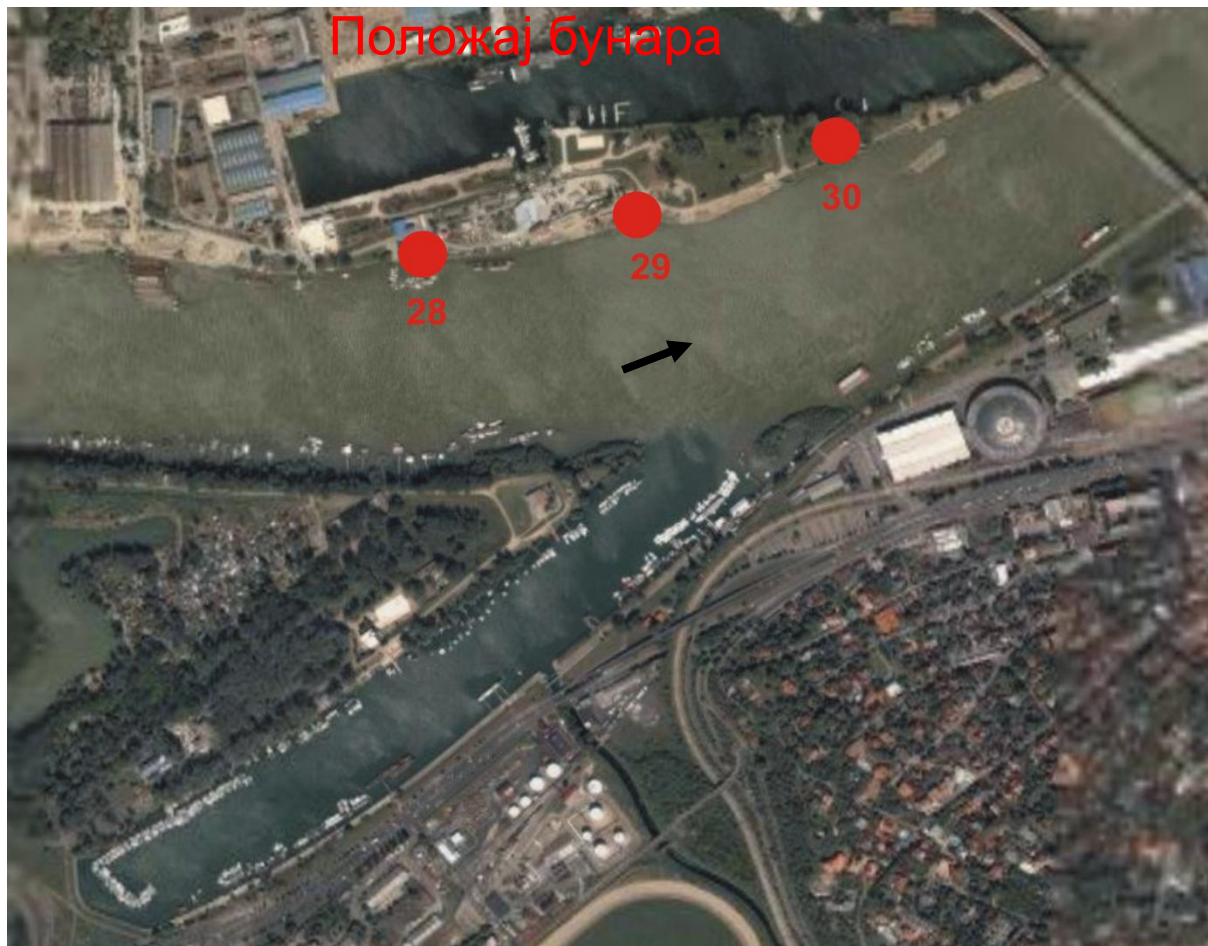
Уздужни профил деформације корита у зависности од протока Саве



Закључак: габарит пловног пута неће бити угрожен испуштањем избагерованог материјала, без обзира који је проток Савом у периоду испуштања !

Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Закључак: испуштање багерованог материјала неће утицати на издашност бунара Београдског водовода (хоризонтални дренажи у кориту су колмирани и фан функције)



Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



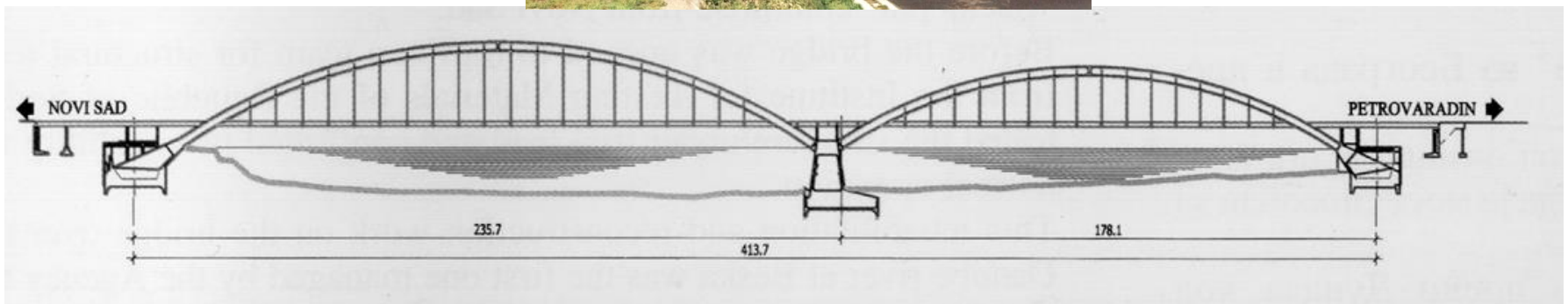
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси



Жежељев мост
(км 1254,17)

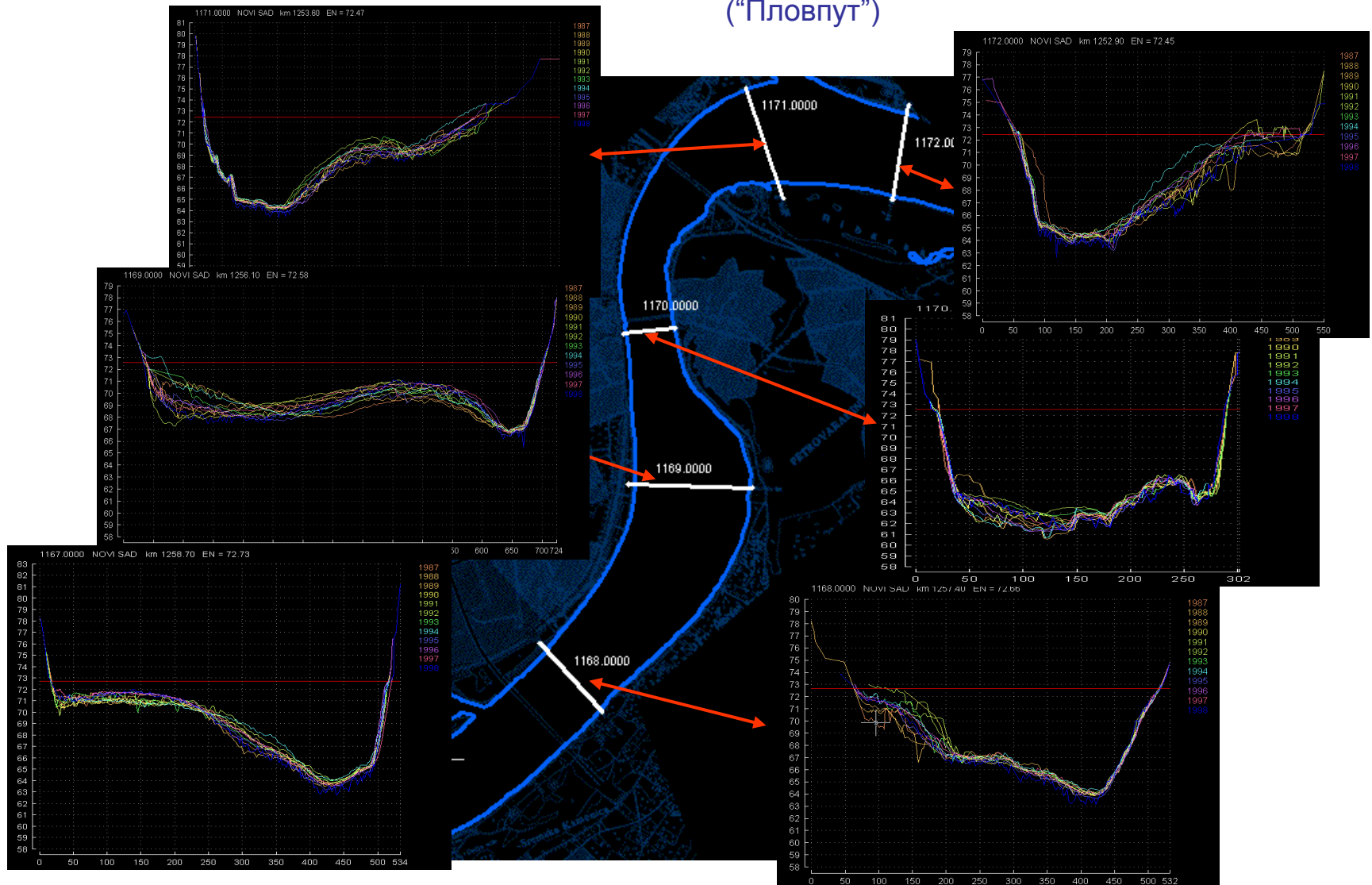


26. април, 1999.



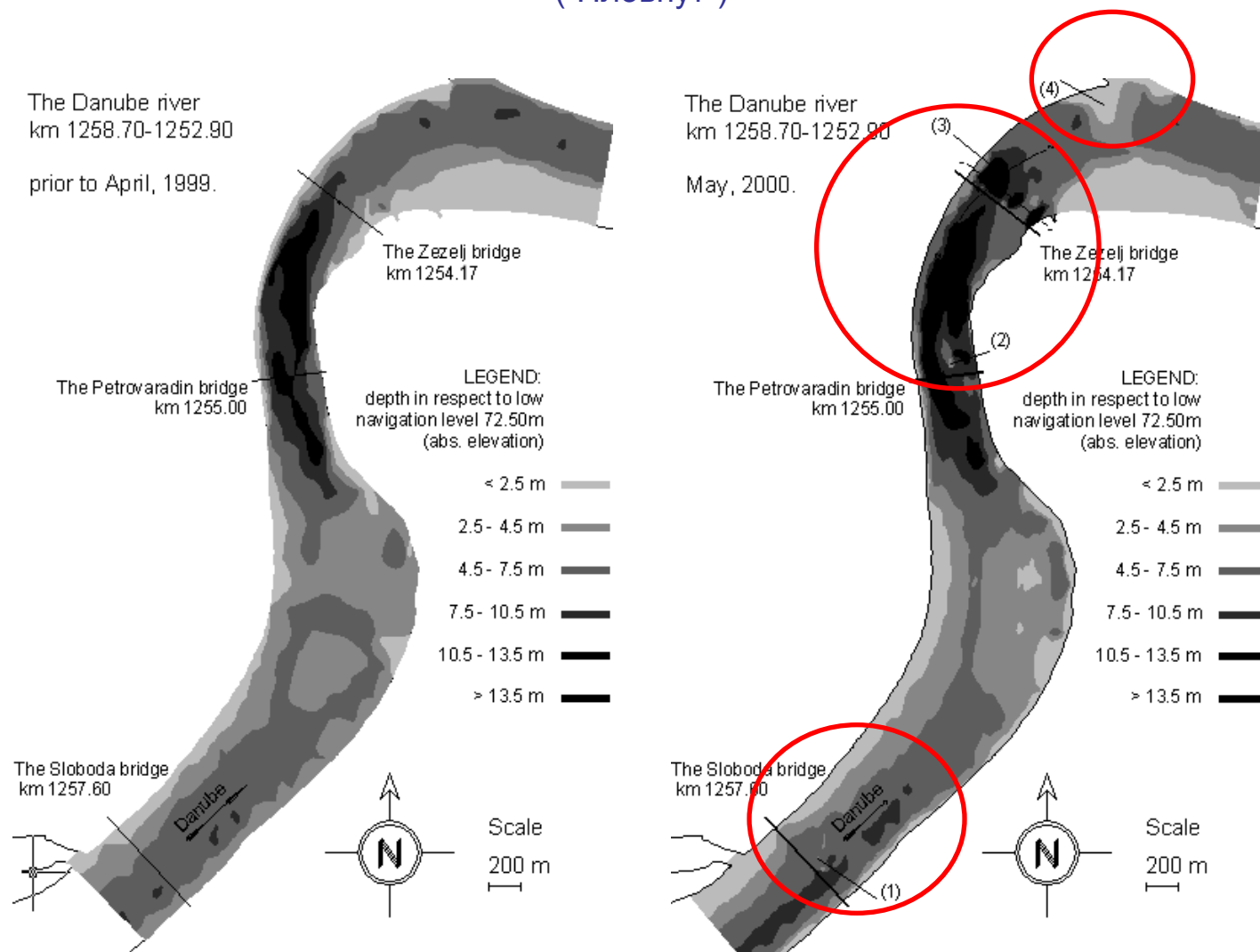
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Корито Дунава пре рушења мостова ("Пловпут")



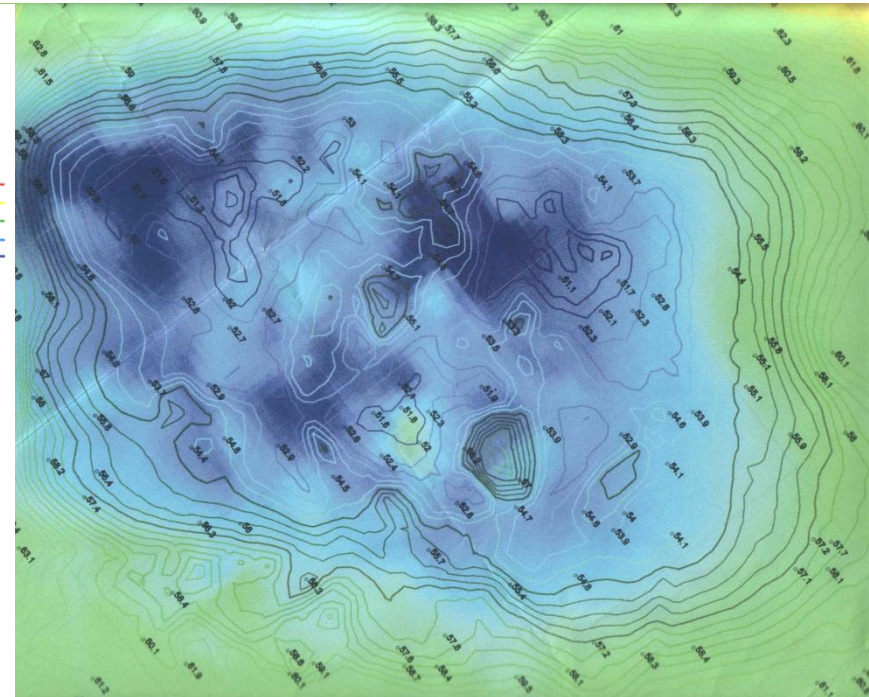
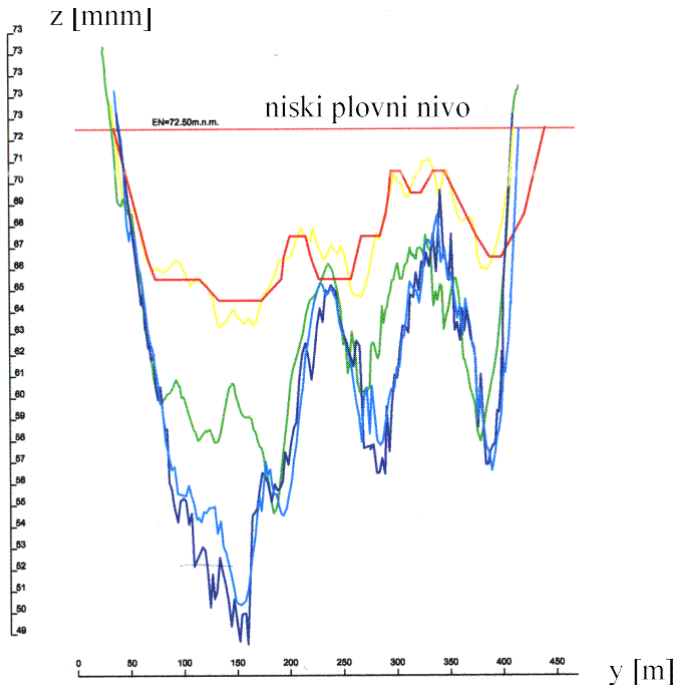
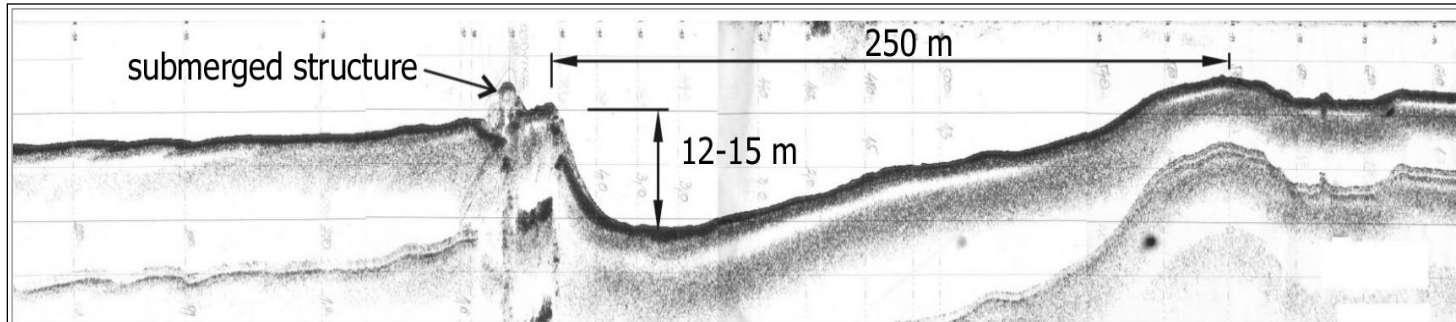
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Деформација корита годину дана после рушења мостова ("Пловпут")

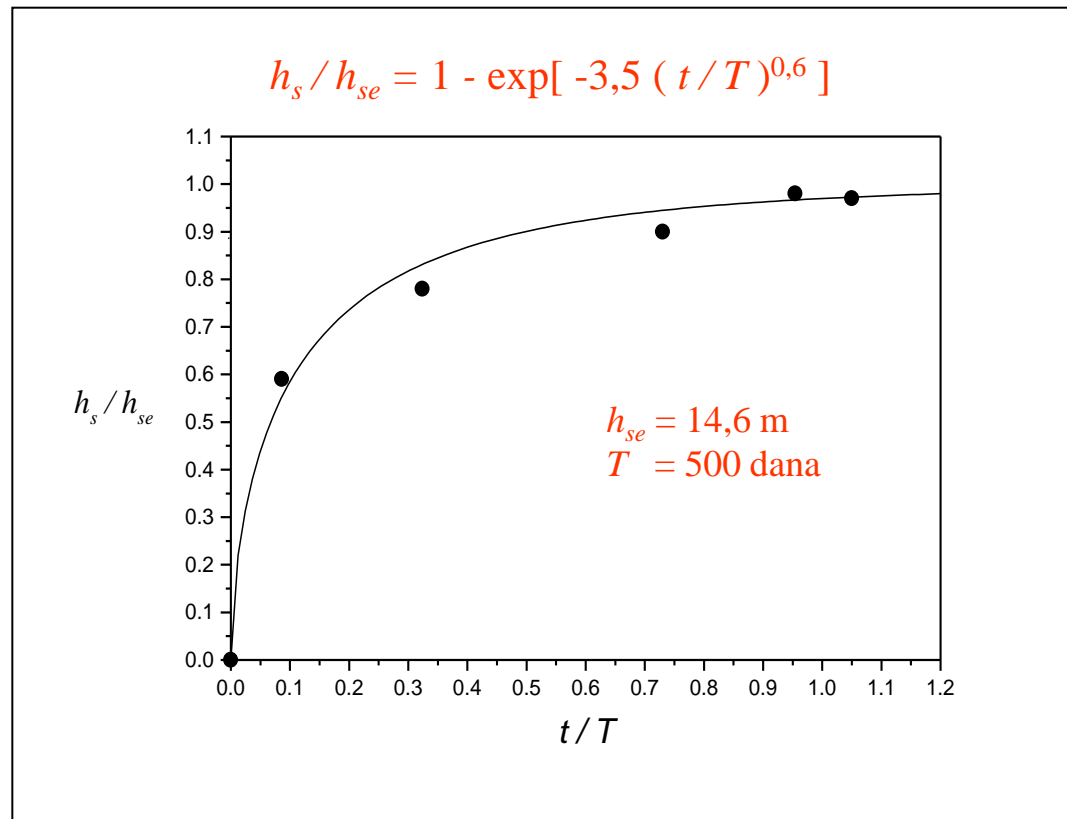


Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Деформација корита низводно од Жежељевог моста (октобар 1999., 6 месеци после рушења)



Развој ерозионе јаме низводно од срушеног Жежељевог моста



$2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{god}$
 $3800 \text{ m}^3/\text{dan}$

↔
0.15 m/dan

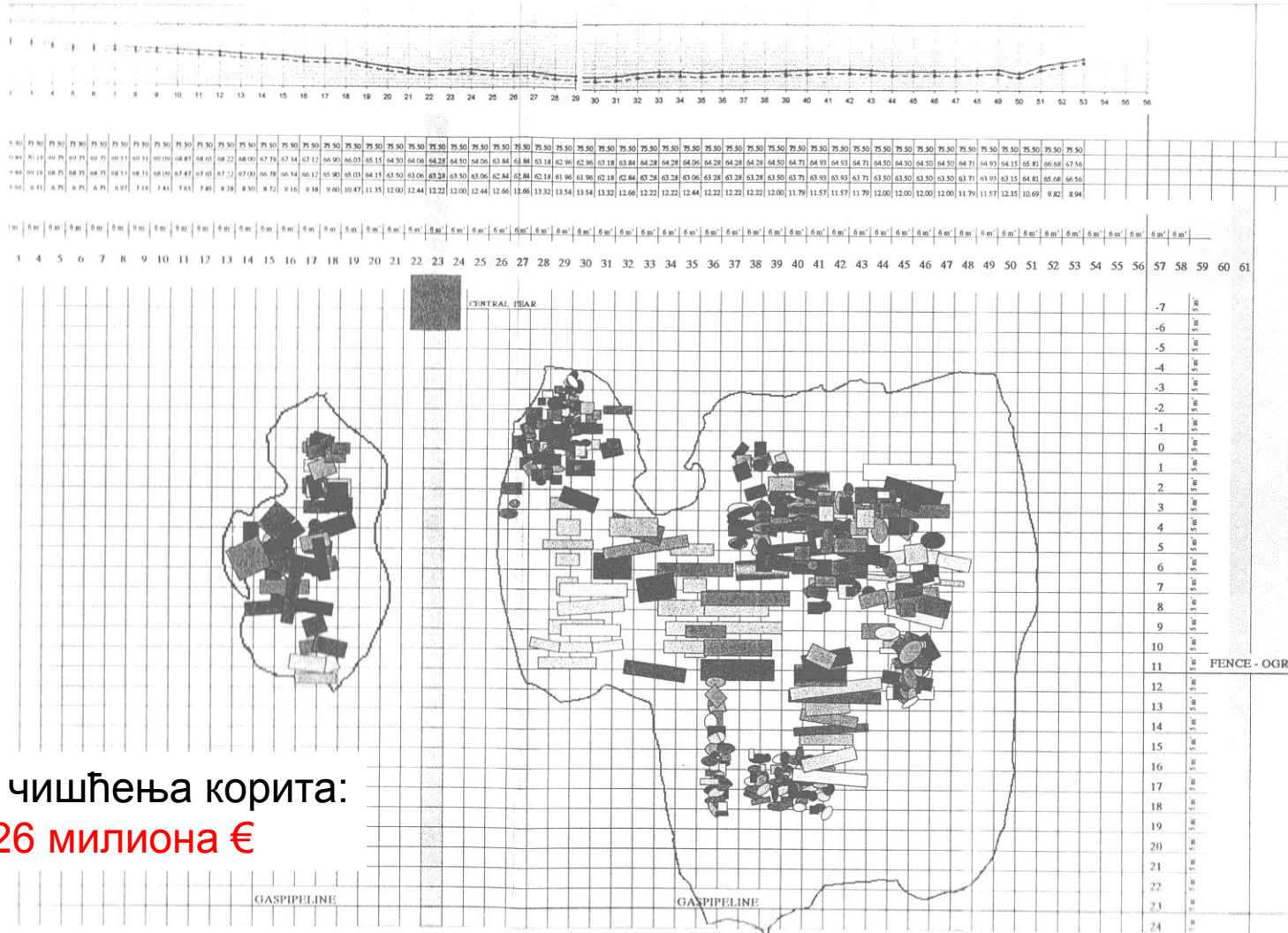
Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

Радови на чишћењу корита (2001-2002)



Дневни губитак
услед обуставе
пловидбе: **милион €**

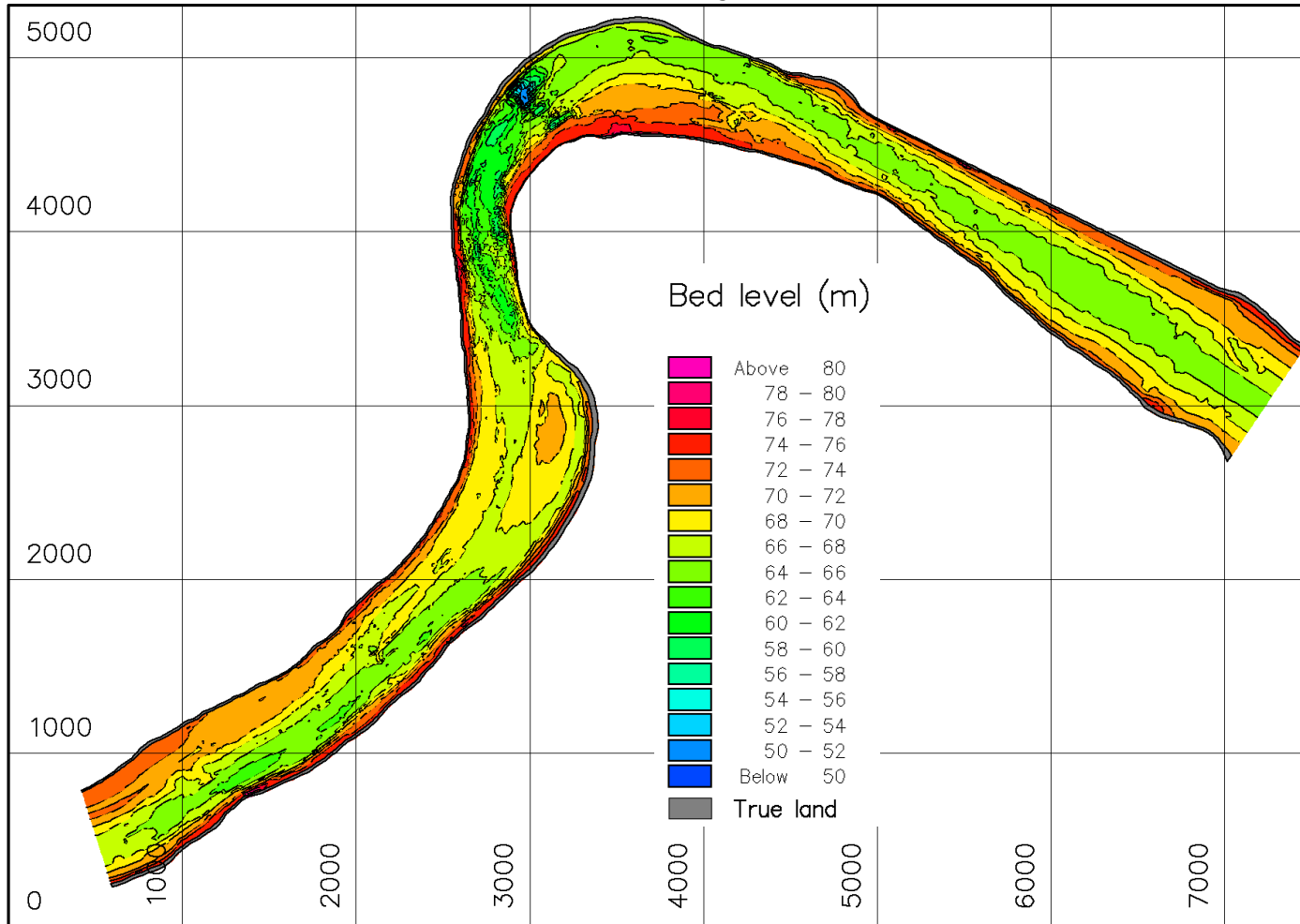
Попуњавање ерозионе јаме остацима Жежељевог моста



Цена чишћења корита:
26 милиона €

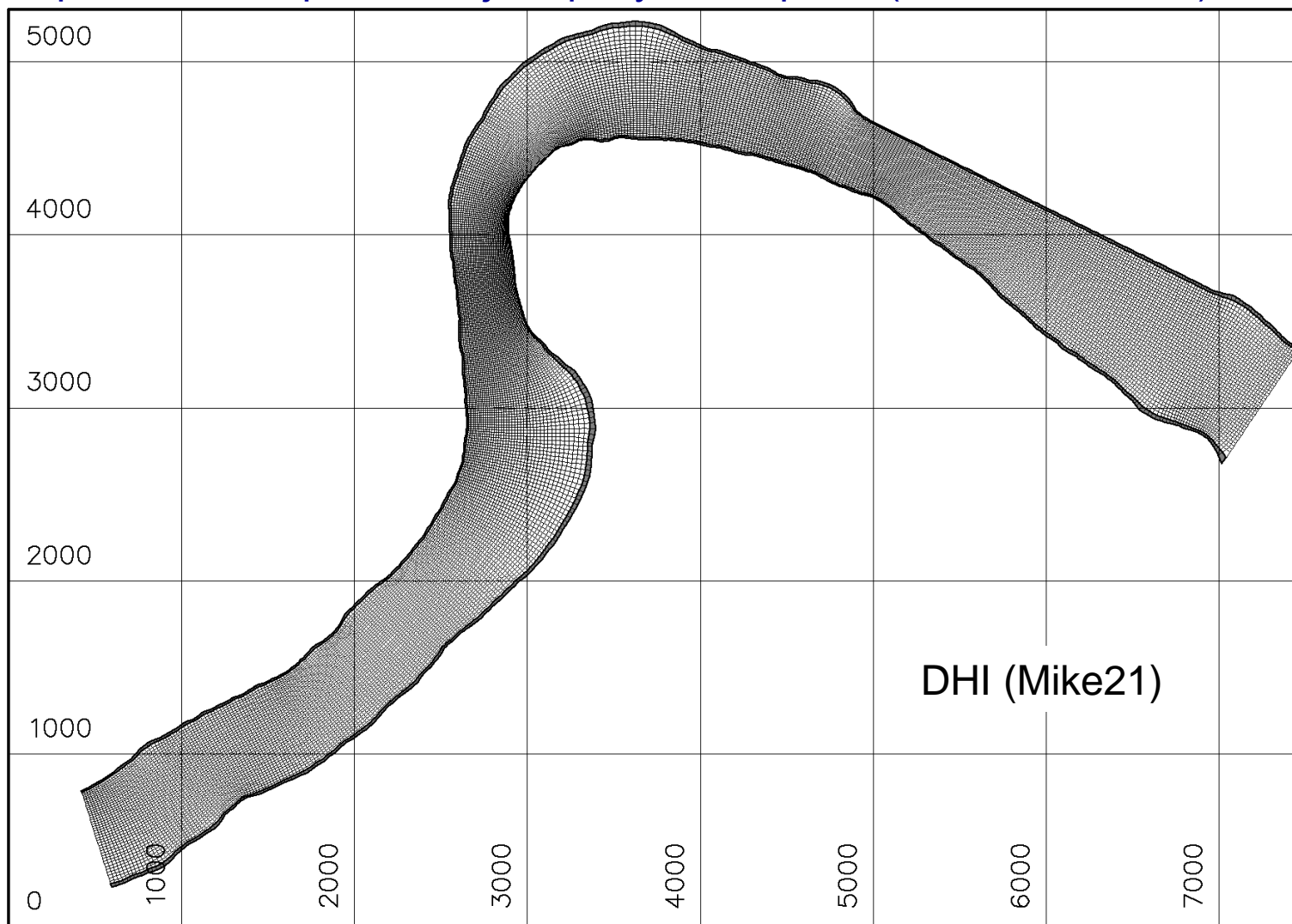
Прогноза природне рехабилитације дунавског корита

почетна геометрија корита

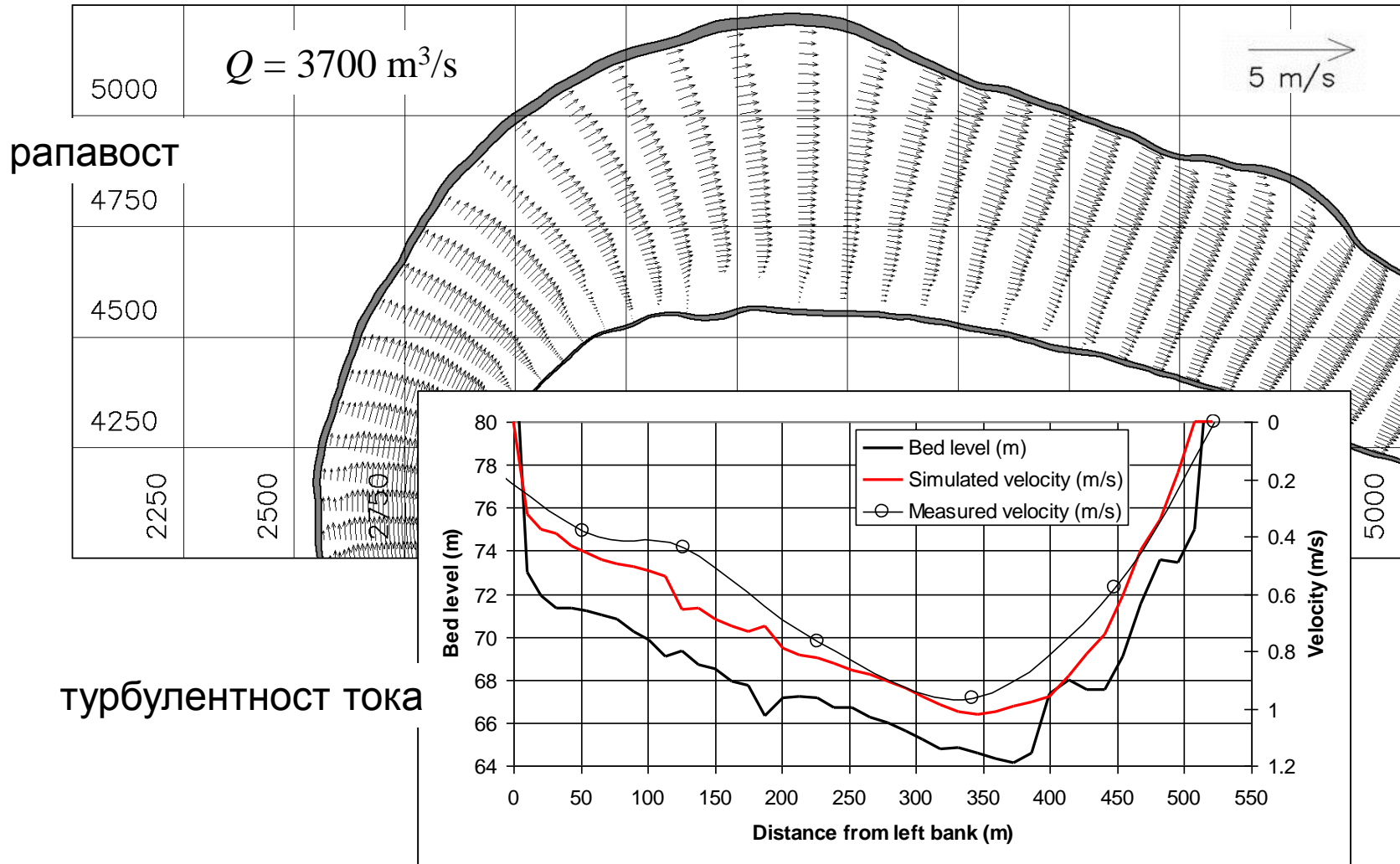


Нумеричка речна хидраулика у инжењерској пракси

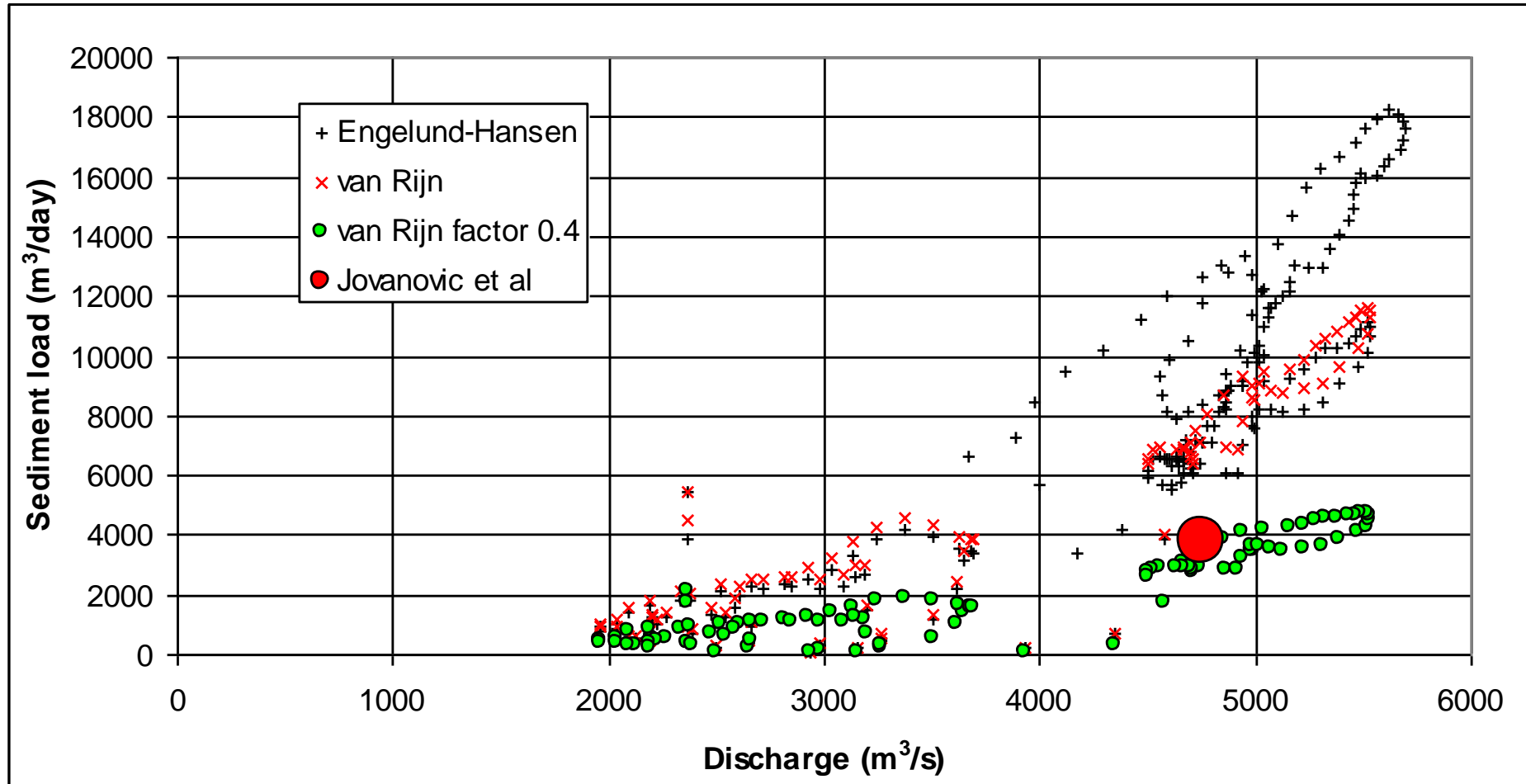
Ортогонална криволинијска рачунска мрежа (600 x 40 тачака)



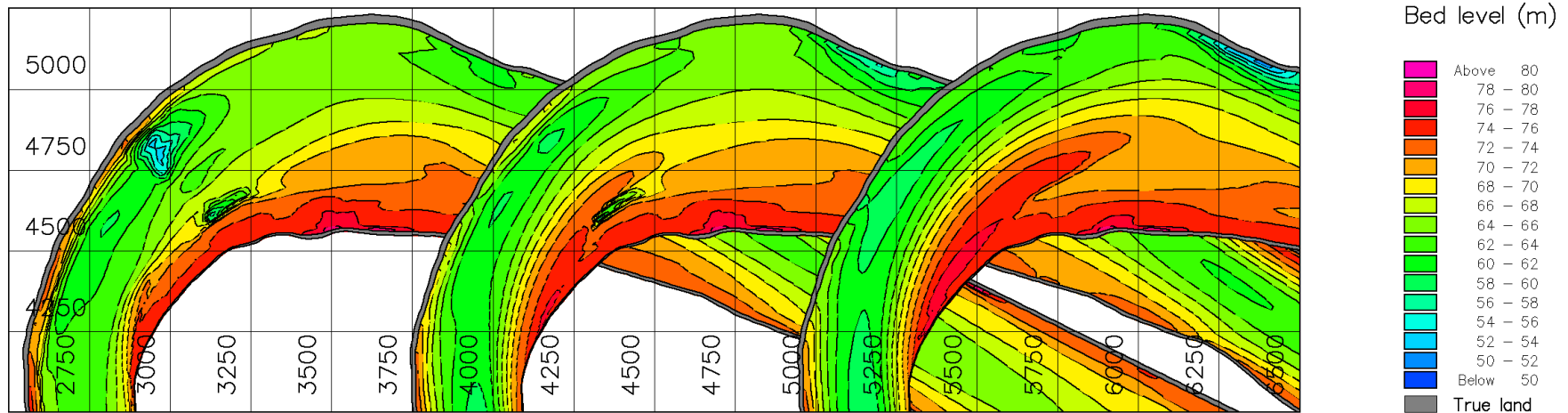
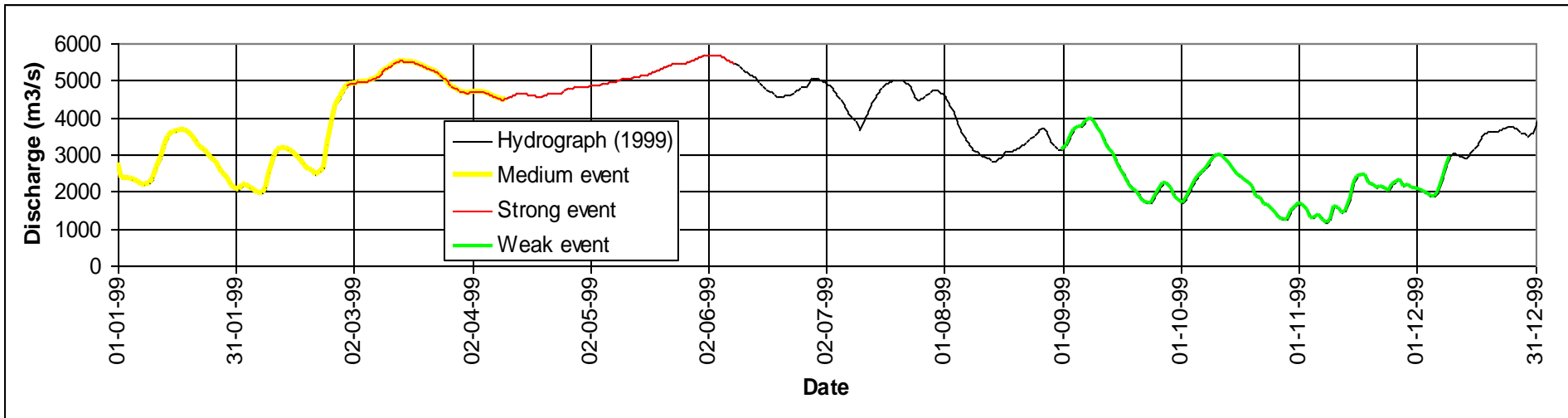
Калибрација хидродинамичке компоненте рачунског модела



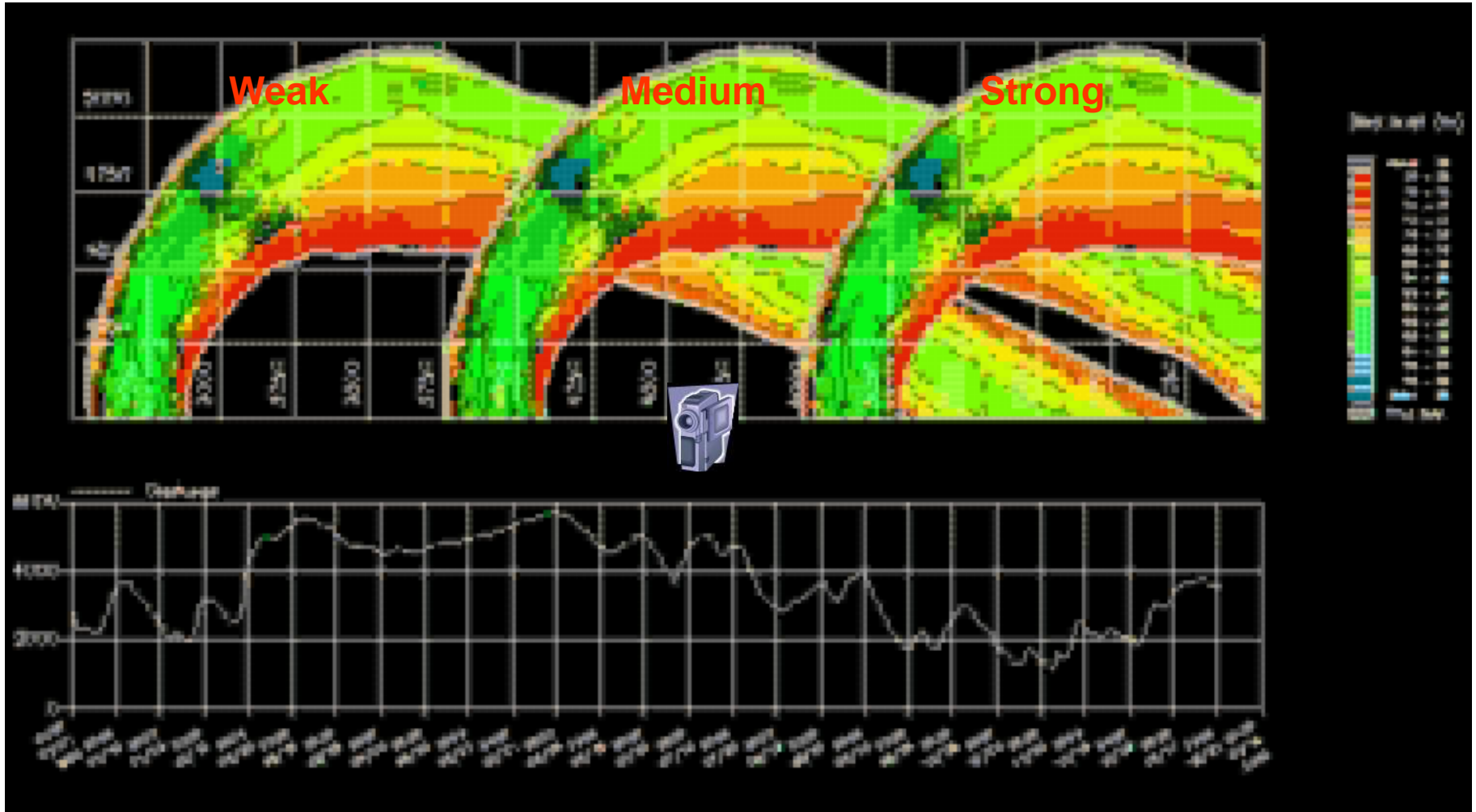
Калибрација компоненте модела за нанос



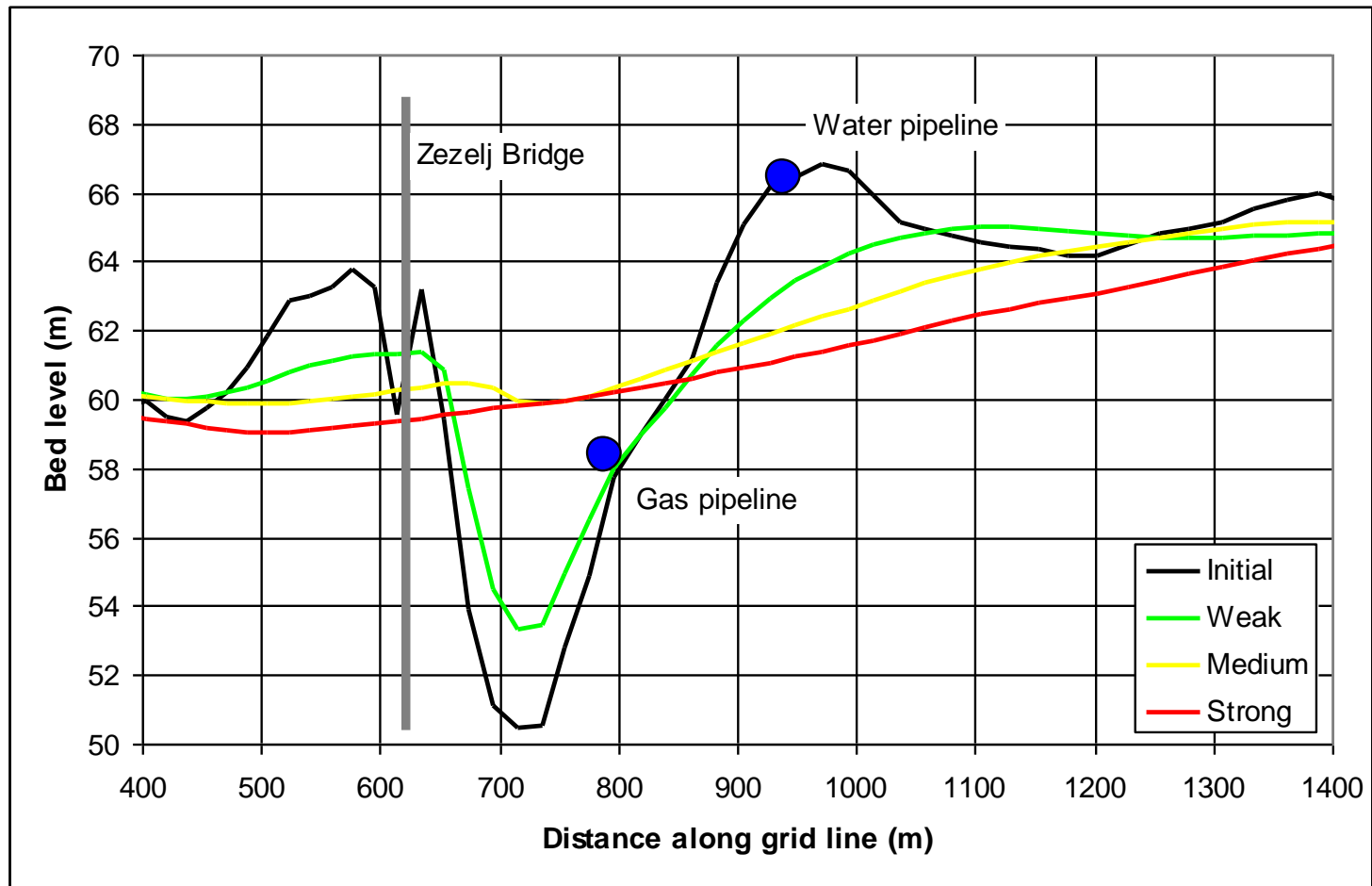
3 сценарија засипања ерозионе јаме (симулациони период: 100 дана)



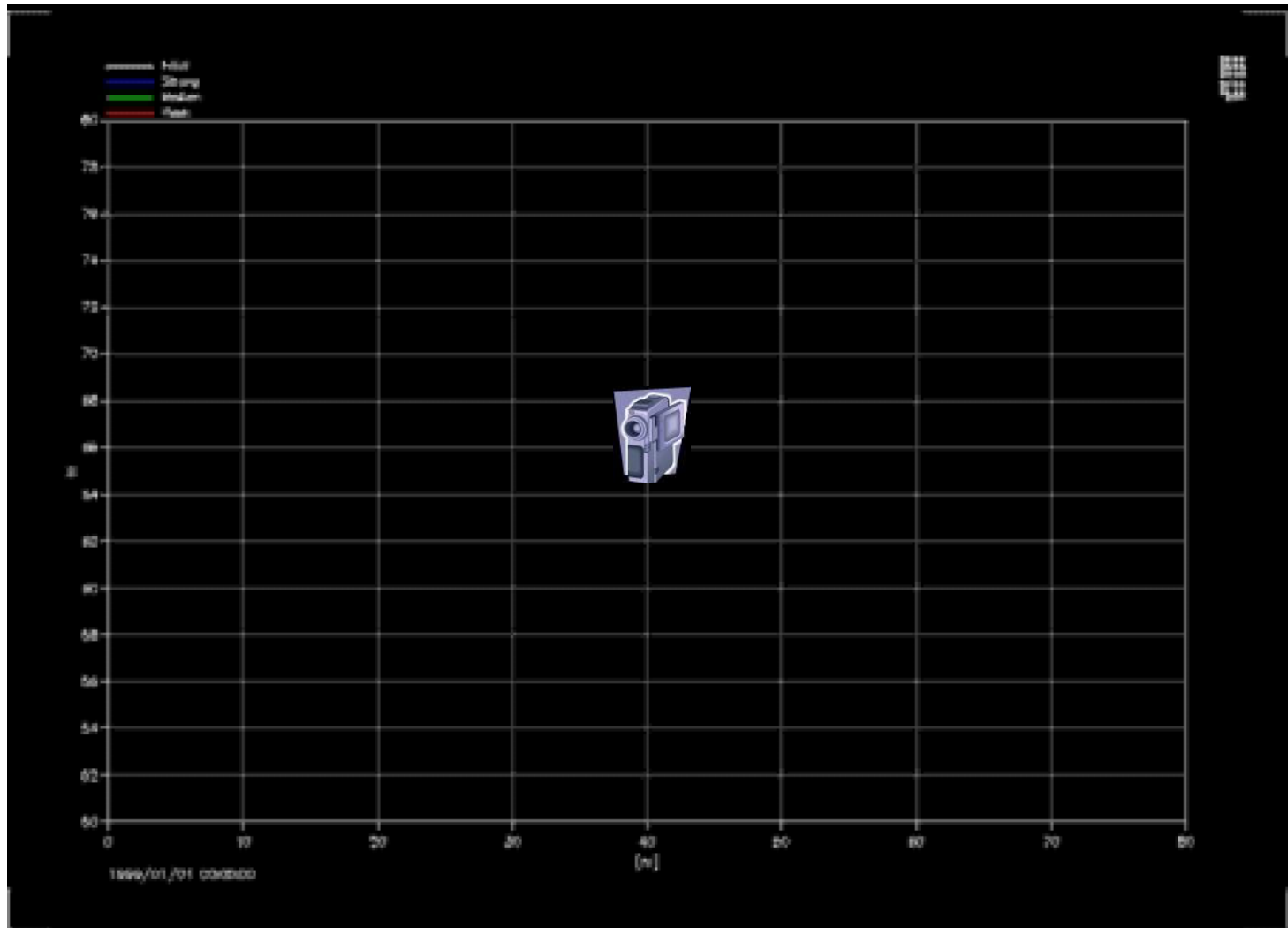
Анимација резултата прорачуна



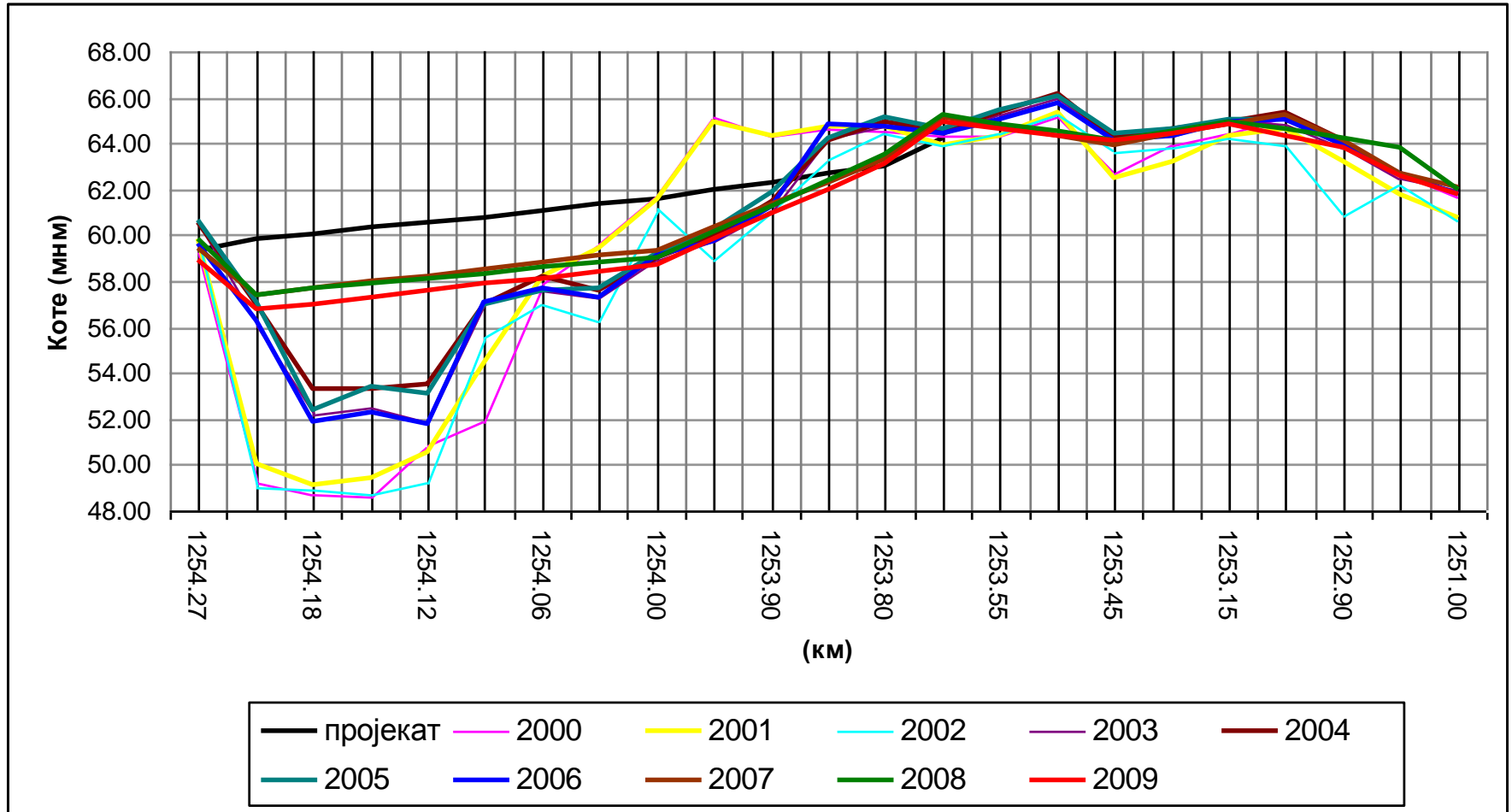
Динамика засипања у зависности од протока Дунавом уздужни профил кроз ерозиону јаму



Анимација резултата прорачуна



Динамика засипања на основу мерења



Закључак презентације

Увођење сложених нумеричких алата у област речне хидраулике револуционарно је унапредило праксу уређења водотока – од искуствено-емпиријске дисциплине до теоријски утемељене делатности која омогућава анализу физичких процеса и ефикасну проверу пројектних решења.



др **Миодраг Јовановић**, редовни професор
др **Радомир Капор**, ванредни професор
др **Душан Продановић**, ванредни професор
др **Дејана Ђорђевић**, асистент
Будо Зиндовић, асистент
Никола Росић, асистент