

GOLJEVŠČKOV SPOMINSKI DAN 2017

Rudi Rajar*, Matjaž Četina*, Andrej Umek

**FGG - Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem*

APROKSIMATIVNA METODA ZA HITRO DOLOČITEV PRETOKA PO PORUŠITVI PREGRADE

V okviru projekta VODPREG 2 je bila postavljena zahteva, da se izdelava enostaven program, s katerim bo možno zelo hitro, tudi na terenu, določiti parametre vala, ki bi nastal ob eventuelni porušitvi pregrade.

1. UVOD, NAMEN

- * Določitev parametrov vala po eventualni porušitvi pregrad je zakonsko določena v večini držav
- * „Točne“ metode: Numerične metode: zelo kompleksne, dolgotrajna priprava podatkov, dolge računalniške simulacije, često več milijonov računskih celic.
- * Aproksimativne metode: hitra ocena reda velikosti parametrov porušitvenega vala.
- * **Uporaba aproksimativnih metod:**
 - Če se pri ločnih ali težnostnih pregradah opazi resna poškodba
 - Če se pokaže poškodba kakega evakuacijskega organa (npr.zapornice)
 - Kadar zemeljski plaz zasuje reko in jo zajezi, grozi prelivanje

* Aproksimativna metoda: program „**PREGPORUS**“

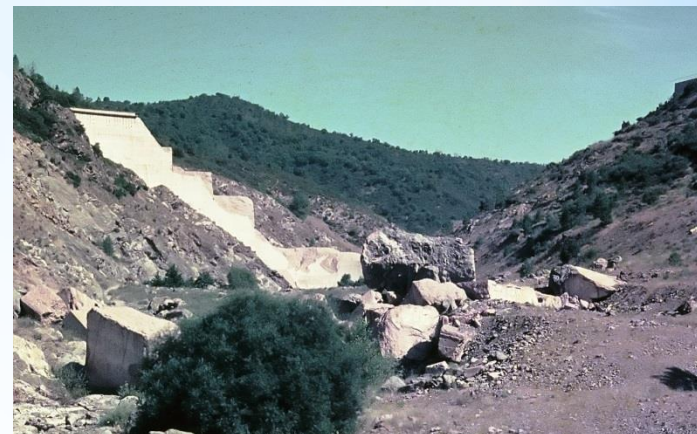
- * Program je popolnoma avtomatiziran, možna uporaba na terenu na prenosnem računalniku.
- * Ker je možnih več različnih načinov porušitve, je sestavljen iz treh metod in je najprej treba izbrati metodo.
- * Izbrani so le najbolj bistveni vhodni podatki.
- * **Rezultat je maksimalni pretok** na vsem odseku dolvodno od pregrade (kot stacionarni pretok).
- * TOČNOST PROGRAMA - VELIKOSTNI RAZRED PRETOKA

* Program **PREGPORUS** - VNOS PODATKOV :

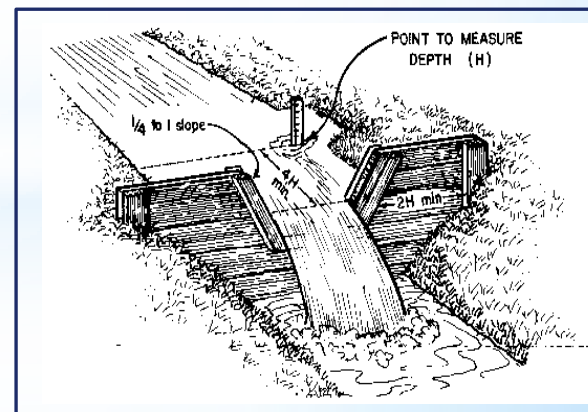
Program **PREGPORUS** (aproksimativna metoda)
vsebuje tri dele- kombinacija treh metod:

1. Metoda A - metoda Rajar (ICOLD 1973) -
Uporaba pri popolni ali večinski delni
porušitvi - LOČNE ALI TEŽNOSTNE PREGRADE

2. Metoda B: metoda preliva -
Mala odprtina pri delni porušitvi
- VSI TIPI PREGRAD



Primer: Pregrada Malpasset,
1959



3. Statistične metode -

nasute pregrade:

metoda Molinaro, metoda C1:

Uporaba pri primerih, kjer se pri
Umetnih nasutih pregradah
začne prelivanje in erozija. Navadno je
časa vsaj nekaj ur do nastopa
maksimalnega pretoka

PRIMER:
Oroville Dam



3. Statistične metode

za naravne nasute pregrade:
metoda C2- *metoda Molinaro*.

Uporaba pri primerih, kjer se pri
NARAVNIH nasutih pregradah
začne prelivanje in erozija. (največkrat
ko zemeljski plaz zasuje reko)

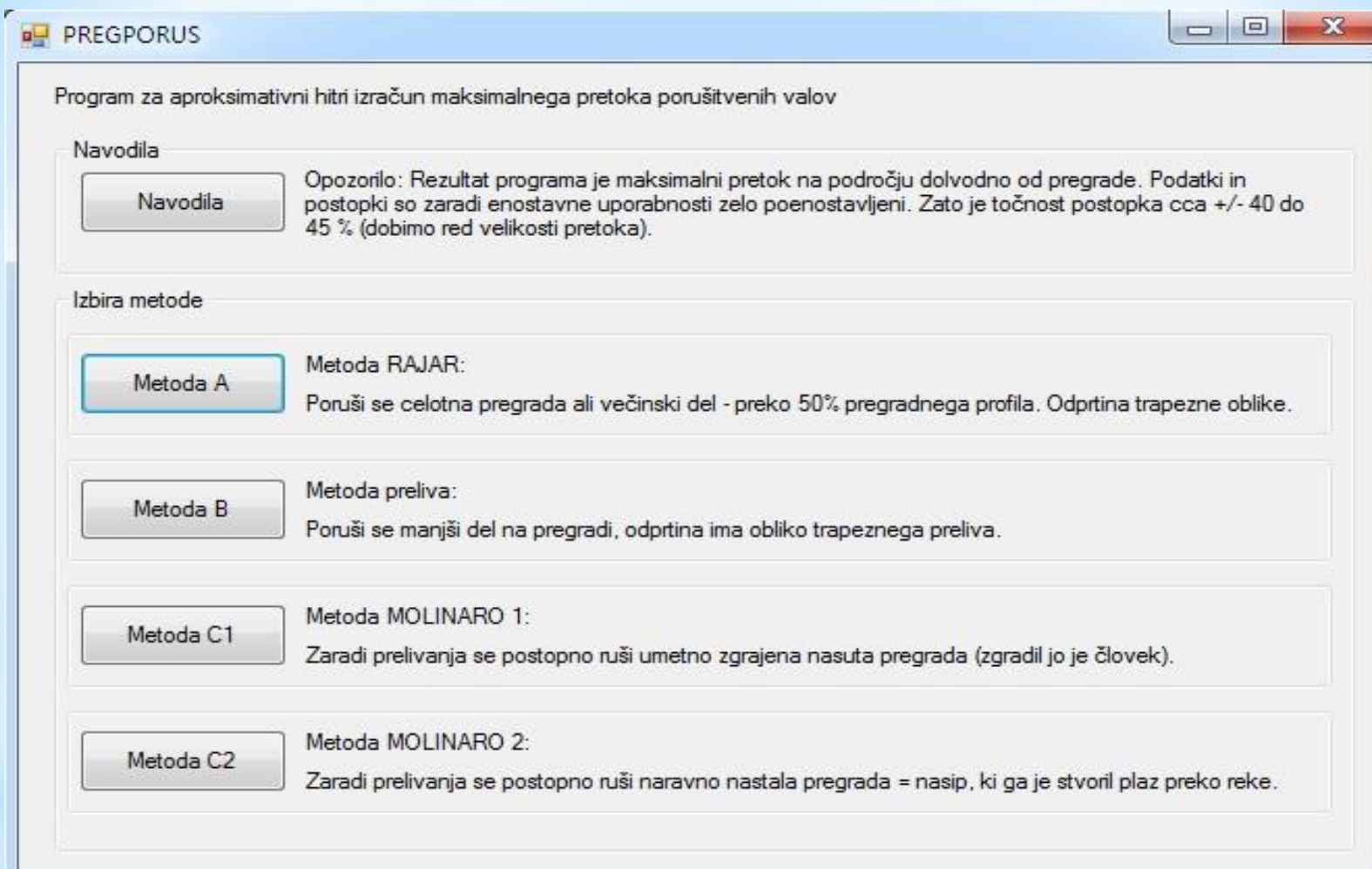


Primer: Zemeljski plaz na Lučnici, 1990.

REZULTAT PROGRAMA „PREGPORUS“ JE MAKSIMALNI PRETOK DOLVODNO OD PREGRADE

DOLOČITEV NIVOJA GLADIN IZ PODATKA O PRETOKU V REKAH:

- a) Poznavanje nivojev glede na pretoke različnih povratnih dob
- b) Izračun po standardnih metodah za račun gladin stalnega toka (HEC-RAS)



Primer začetne strani programa PREGPORUS - VNOS PODATKOV

* **METODA A - RAJAR**

- **Bistvo metode:**

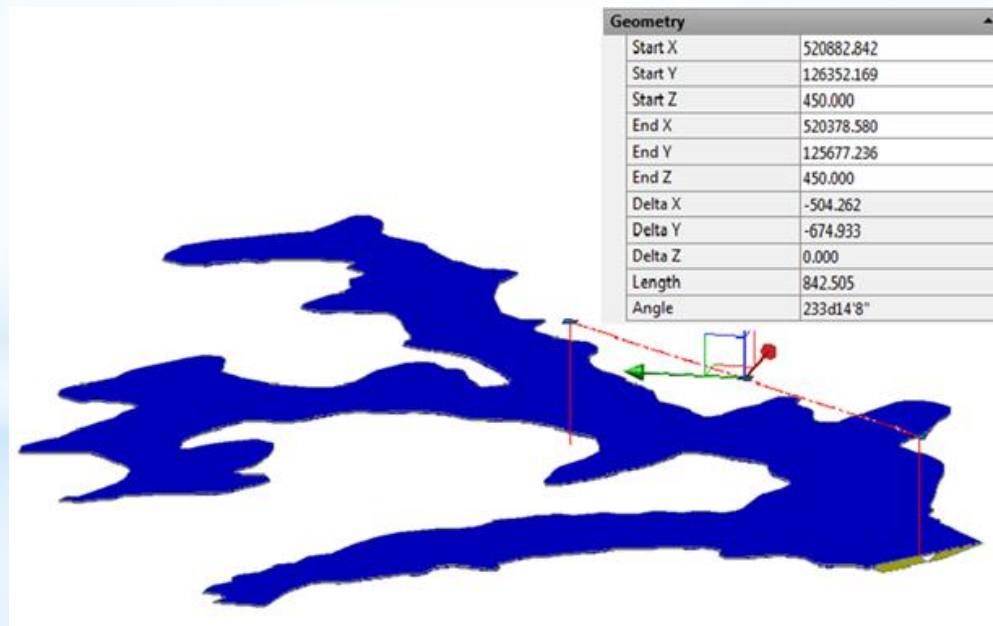
- a) Iz naprej izračunanih serij rezultatov (več kot sto) preko zakonov fizikalne podobnosti (Buckinghamov *PI* teorem) izdelamo nomogram (Rajar, ICOLD, 1973)
- b) Pripravimo podatke za konkreten primer in iz nomograma odčitamo ustrezen brezdimenzijski parameter Q
- c) Iz tega parametra izračunamo glavni rezultat: Maksimalni pretok Q na mestu porušene pregrade in pretok v profilih dolvodno od pregrade

V programu PREGPORUS so nomogrami digitalizirani

Metoda A:

PREDPOSTAVKE -APROKSIMACIJE:

- a) Pred poružitvijo je pretok pod pregrado zanemarljiv
- b) Manningov koeficient hrapavosti je 0.025.
- c) Obliko akumulacije aproksimiramo razdaljo težišča do pregrade



Metoda A: *Vhodni podatki:*

Podatka o akumulaciji:

* volumen akumulacije V

* razdalja težišča akumulacija do pregrade l_g .

Volumen akumulacije je vedno poznan iz projektov.

Podatki o odprtini porušitve:

- Višina porušenega dela pregrade h_o
- S_b ... ploščina porušene odprtine

Lahko se predpostavlja delna ali popolna porušitev, vendar TRENUTNA porušitev večjega dela pregrade (cca nad 45 % pregradnega profila)

Predpostavlja se odprtina pravokotne ali trapezne oblike

Podatek o naklonu dna dolvodno od pregrade i

Podatek potrebujemo da se izračuna razdalja, na kateri se maksimalni pretok Q_m (na mestu pregrade) zmanjša na $Q_m/2$.

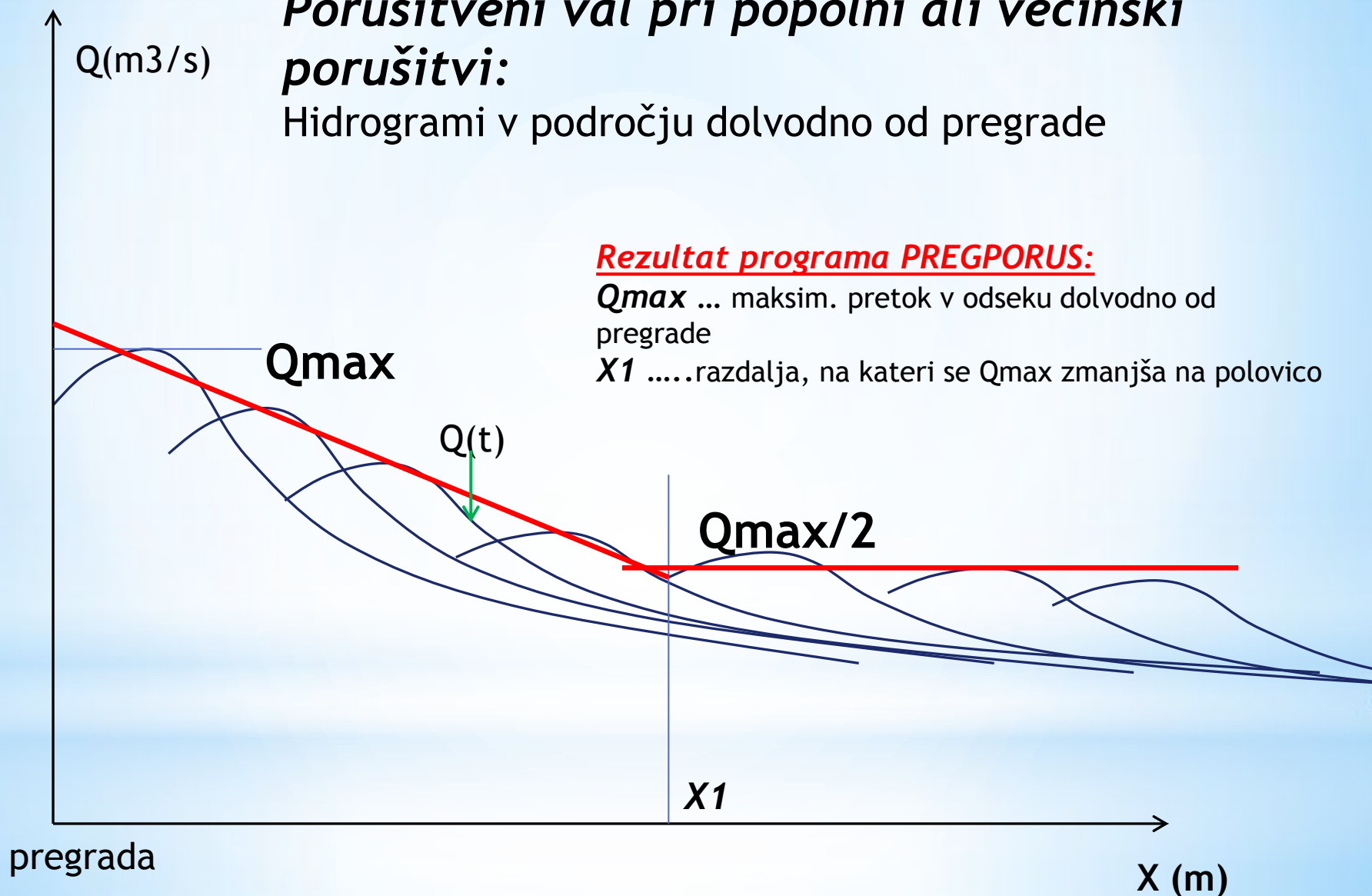
Porušitveni val pri popolni ali večinski porušitvi:

Hidrogrami v področju dolvodno od pregrade

Rezultat programa PREGPORUS:

Q_{max} ... maksim. pretok v odseku dolvodno od pregrade

$X1$ razdalja, na kateri se Q_{max} zmanjša na polovico

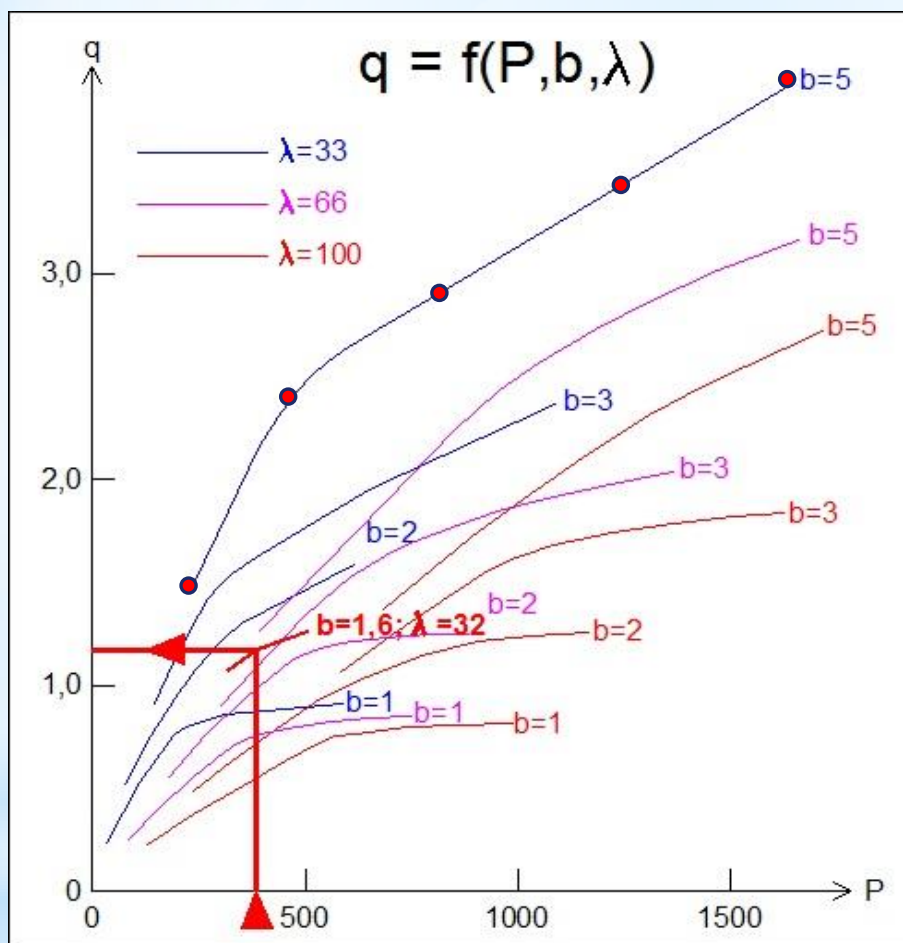


REŠITEV:

z uporabo **Buckingham-ovega π teorema**:
iz SEDMIH parametrov Q , t , h_0 , B_b , V , l_g in g ,

določimo **$7 - k = 7 - 3 = 4$** brez-dimenzijskih parametrov (Rajar, 1973)

$K = 3$ število fizikalnih enot: kg, m, sek



Nomogram funkcije $q = f(P, b, \lambda)$

Izračunani
brezdimenzijski
parametri:

$$P = \frac{V}{h_0^3}$$

$$b = \frac{Bb}{h_0}$$

$$\lambda = \frac{l_g}{h_0}$$

$$q = \frac{Q_m}{h_0^{5/2} g^{1/2}}$$

RAČUNOV: $5^{}3 = 125$**

(Računov s 7 dimenzijskimi
parametri: $5^{**}6 = 15.625$)

5.4 Rezultati

Po tej metodi (Rajar, 1973) iz brezdim. pretoka q izračunamo končno vrednost Q_m (pomen je opisan spodaj):

$$Q_m = q h_0^{5/2} g^{1/2} \quad (4)$$

Dodatno po spodnji enačbi izračunamo še parameter x :

$$X1 \cong 0,2 \frac{h_0}{i} \quad (5)$$

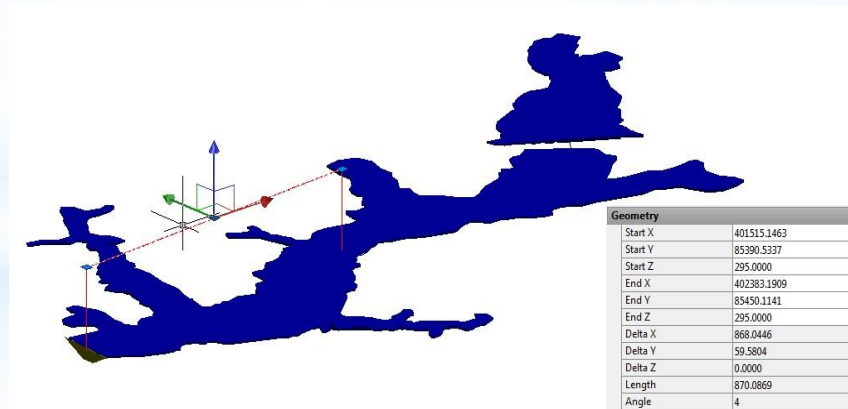
- * Q_m ... je maksimalni pretok, ki nastane na mestu pregrade takoj po poružitvi
- * $X1$... je razdalja od pregrade dolvodno, pri kateri se bo maksimalni pretok Q_m zmanjšal na polovično vrednost $Q_m/2$

METODA A PRIMERI

1) Porušitev pregrade Vogršček

Podatki:

- * Predpostavljena delna trenutna porušitev. Odprtina trapezne oblike: širina odprtine 20 m na koti 72,5 m in širina 70 m na koti 100 m (normalna gladina).
- * Osnovni podatki, ki so potrebni za vrednotenje po aproksimativni metodi so:
 - * $V = 8\,035\,300 \text{ m}^3$
 - * $h_o = 27.5$
 - * $S_b = 1237 \text{ m}^2$
 - * $l_g = 873 \text{ m}$
 - * $i = 0.00649$
 - * $(B_b = 45 \text{ m})$



Vogršček - rezultati:

* Maksimalni pretok na pregradi:

$$* Q_m = q h_0^{5/2} g^{1/2} = 1.17 * 27.5^{5/2} * 9.81^{1/2} = \underline{14\,781 \text{ m}^3/\text{s}}$$

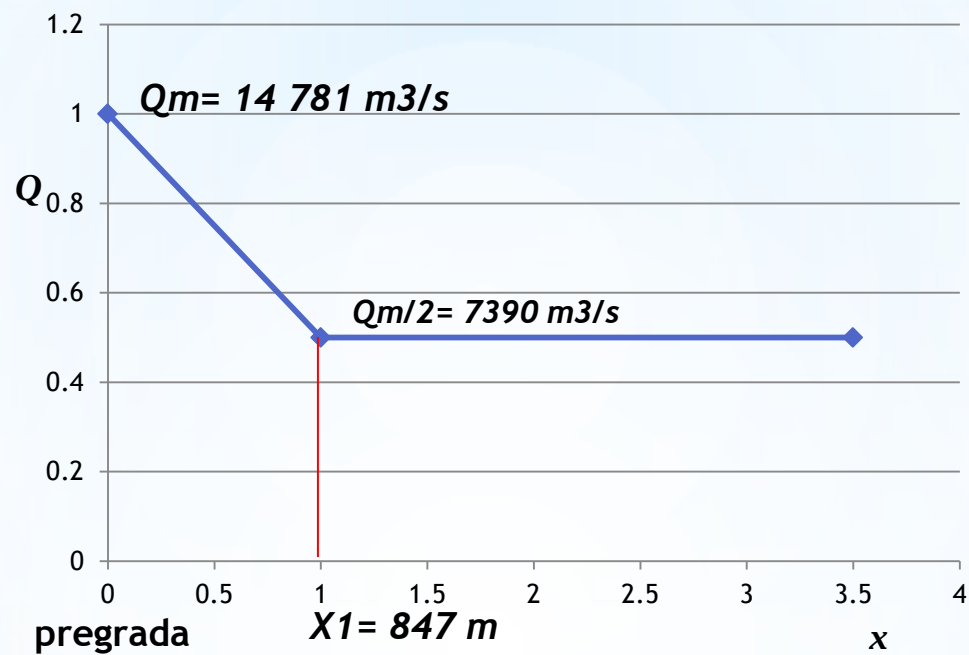
$$* Q_m/2 = 7\,390 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$* X1 \cong 0,2 \frac{h_0}{i} = 0.2 * 27.5/0.00649 = \underline{847 \text{ m}}$$

PRIMERJAVA:

$$Q_R = 14\,781 \text{ m}^3/\text{s}; \quad Q_{\text{num}} = 17\,556 \text{ m}^3/\text{s}$$

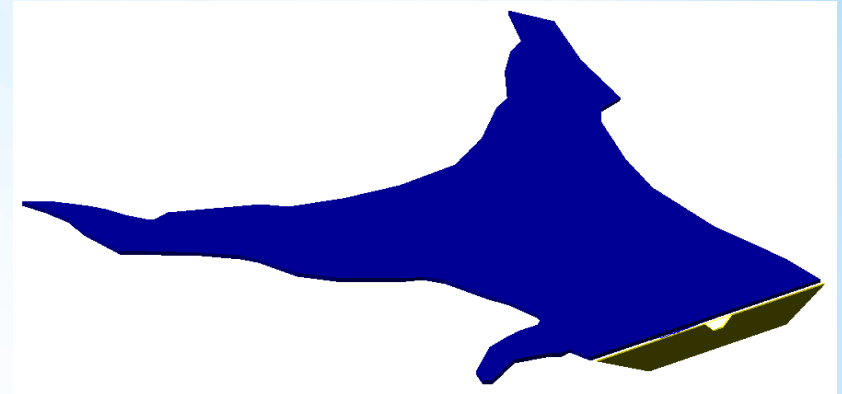
TOČNOST: - 16%



METODA A- PREGRADA VOGRŠČEK

METODA A

PRIMER 2: Delna porušitev pregrade Vanganel



Podatki:

- * Zemeljska pregrada, predpostavlja se delna porušitev ob koti gladine 61.3m.
- * Odprtine je trapezne oblike: širina odprtine 5 m na koti 56.3 m, naklon brežin 1:1.
- * Osnovni podatki, ki so potrebni za vrednotenje po aproksimativni metodi so:
- * $V = 29\,944 \text{ m}^3$
- * $h_0 = 5.0$
- * $S_b = 50 \text{ m}^2$
- * $l_g = 59 \text{ m}$
- * $i = 0.0198$

- * ($B_b = 10 \text{ m}$)

*** METODA A:**
PRIMER 2: Vanganel - rezultati:

*Maksimalni pretok na pregradi:

$$* Q_m = q h_0^{5/2} g^{1/2} = \dots\dots = \underline{179 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$* Q_m/2 = 89.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

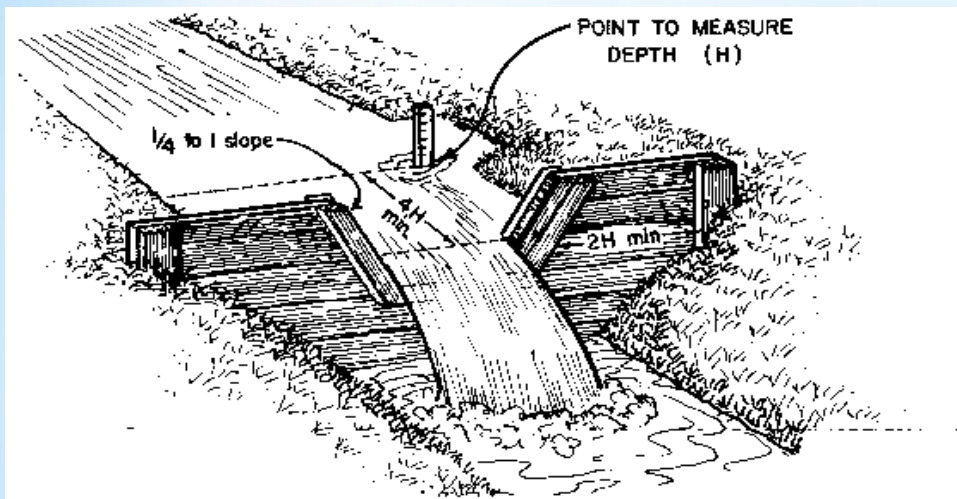
$$* X1 \cong 0,2 \frac{h_0}{i} = 0.2 * 5/0.0198 = \underline{51 \text{ m}}$$

PRIMERJAVA:

$$Q_R = 179 \text{ m}^3/\text{s}; \quad Q_{\text{num}} = 164 \text{ m}^3/\text{s}$$

TOČNOST: + 9.1%

METODA B - Metoda PRELIVA – Predpostavlja se trapezna oblika preliva



Trapezni preliv

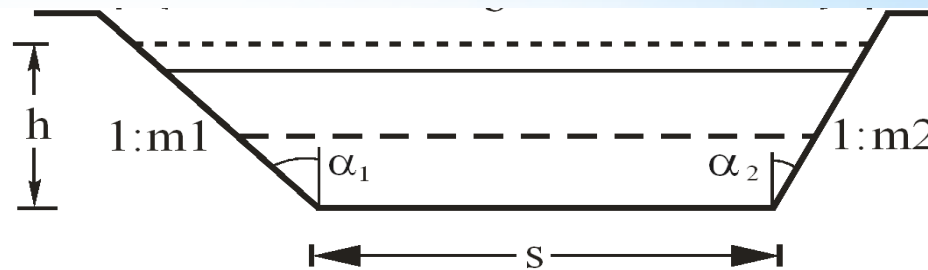
$$Q = m b \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}}$$

$$b = (2s + m_1 * h + m_2 * h) / 2$$

$m = 0,42$ koef. preliva
(za simetrični profil)

b = srednja širina preliva

h ... vodostaj merjen $4 * h$
od preliva gorvodno
 m_1 in m_2 ... različna naklona
stranic preliva



METODA B - METODA PRELIVA

Primer: Loče 2

Trapezna odprtina: $h = 8.0 \text{ m}$, bsp = 3, bzg = 27.6; $b = 15.3 \text{ m}$; $S = 125.5 \text{ m}^2$

$$Q = m b \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} = 644 \text{ m}^3/\text{s}; \quad Q_{\text{numer}} = 600 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \text{točnost: } +7.3\%$$

Spregr = 1450 S: Spregr = 8.6 %

Primer: Loče 3

Trapezna odprtina: $h = 5.0 \text{ m}$, bsp = 3, bzg = 18.6; $b = 10.8 \text{ m}$; $S = 56.2 \text{ m}^2$

$$Q = m b \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} = 225 \text{ m}^3/\text{s}; \quad Q_{\text{numer}} = 250 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \text{točnost: } -10\%$$

Spregr = 1050 S: Spregr = 5.3 %

METODA C: STATISTIČNA METODA MOLINARO

Uporaba: NASUTE PREGRADE, PRELIVANJE

Na podlagi statistične obdelave primerov porušitev nasutih pregrad (umetnin in naravnih) je dobil relacije:

* C1: UMETNE PREGRADE (zemeljske, skalometne):

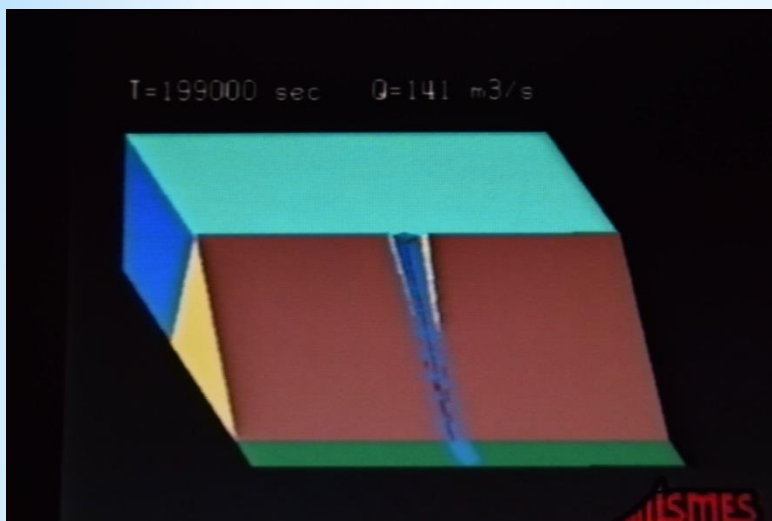
$$Q_{max} = 0.116 * (V/H^3)**0.221*9.81^{0.5}*H^{2.5}$$

* C2: NARAVNE PREGRADE (npr. zemeljski plaz zasuje reko):

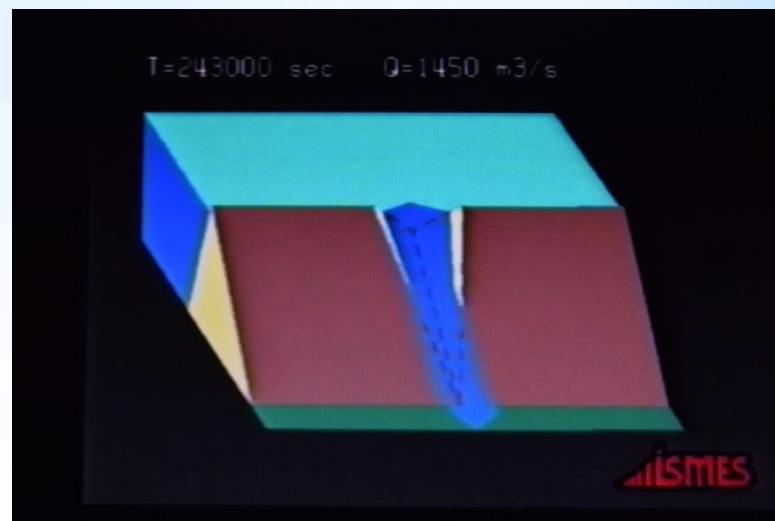
$$Q_{max} = 0.00319 * (V/H^3)**0.564*9.81^{0.5}*H^{2.5}$$

* **OPOMBA:** Pri rezultatih po metodi B in metodi C Q_{max} pomeni pretok v celotnem področju dolvodno od pregrade

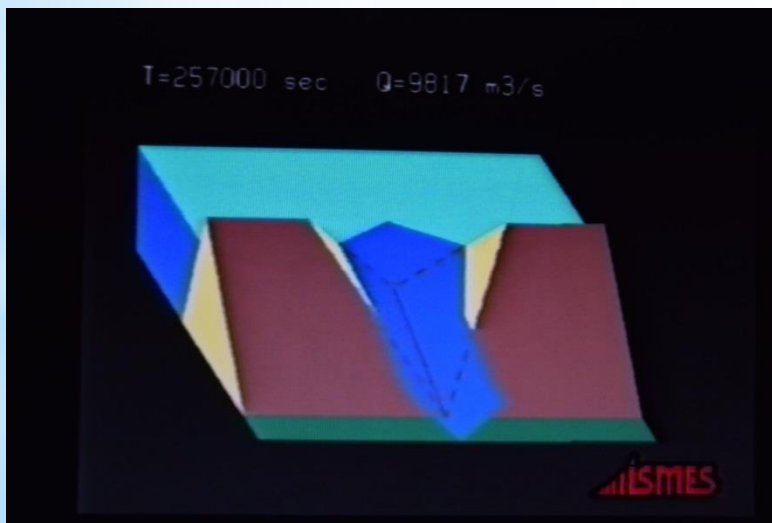
Razvoj erozije pri prelivanju nasute pregrade



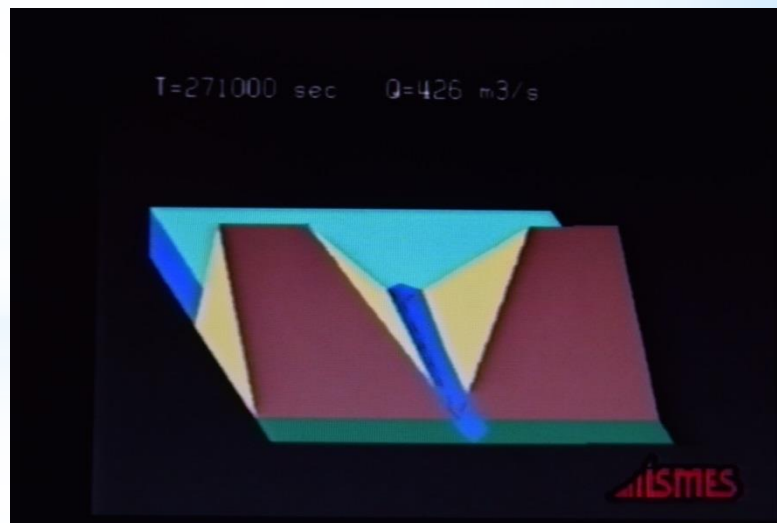
Začetna faza



Erozija je močnejša



Maksimalni pretok



Nižanje gladine in pretoka

METODA C2 - METODA MOLINARO:

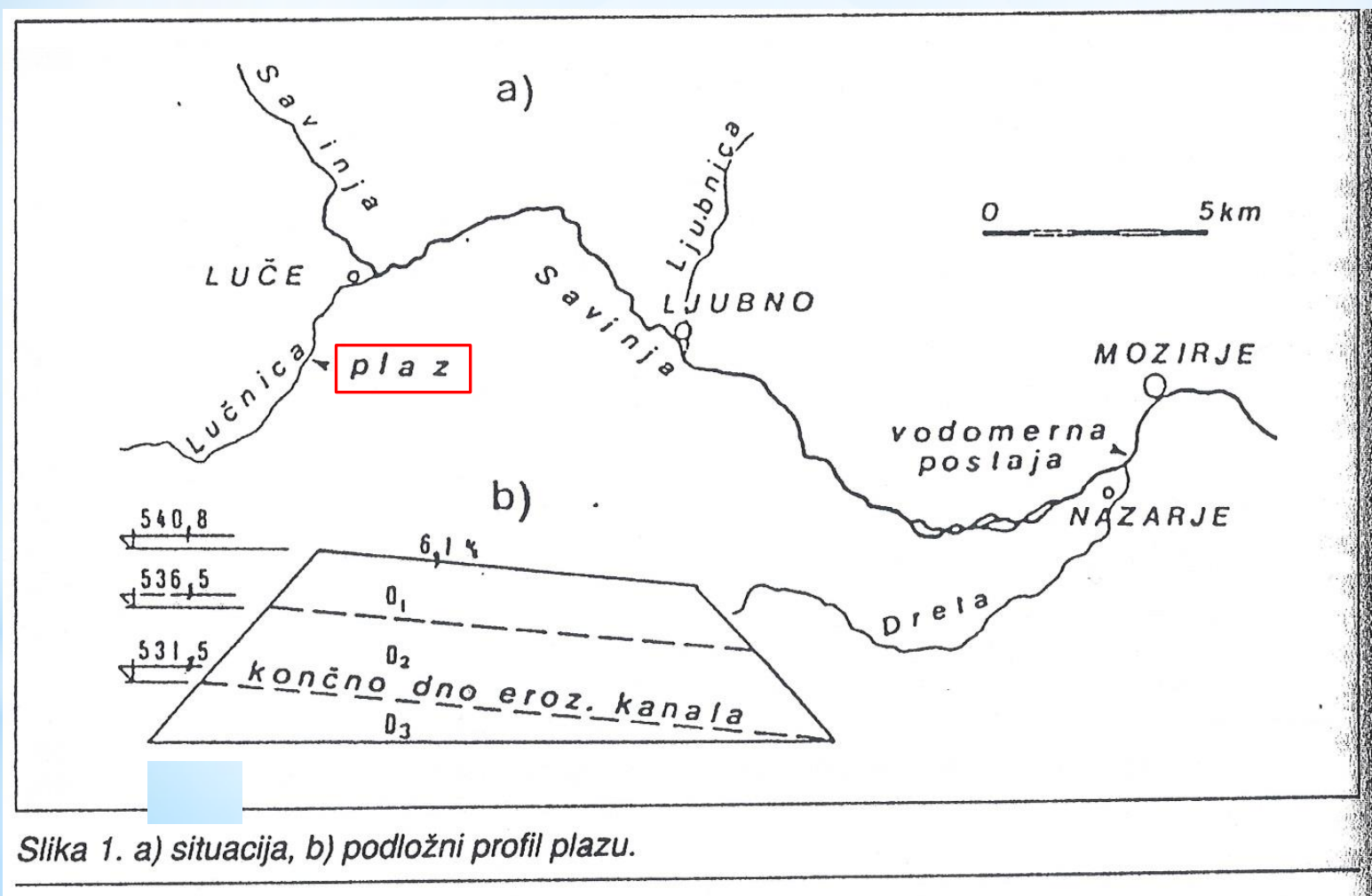
Primer: zemeljski plaz na Lučnici , 1 nov. 1990

Zbiranje podatkov o pojavi - naknadno:



- Višina plazu: 15 m (po sledovih na terenu)
- Volumen 730 000 m³ (naknadne meritve)
- Maksimalne kote gladine dolvodno - meritve sledov na stavbah v Lučah
- ŠTUDIJA PRIMERA:
- MATEMATIČNI MODEL : PCFLOW3D-DAMBRK:
 - Numerični model po osnovnih enačbah hidromehanike
 - Simuliranje porušitve - pretok preko pregrade: vključen proces erozije pregrade med rušenjem, glede na velikost zrn v nasipu (ocene)
 - Štiri variante izračunov, ocene dimenzij zrn v plazu

Slika 10: Situacija potoka Lučnica



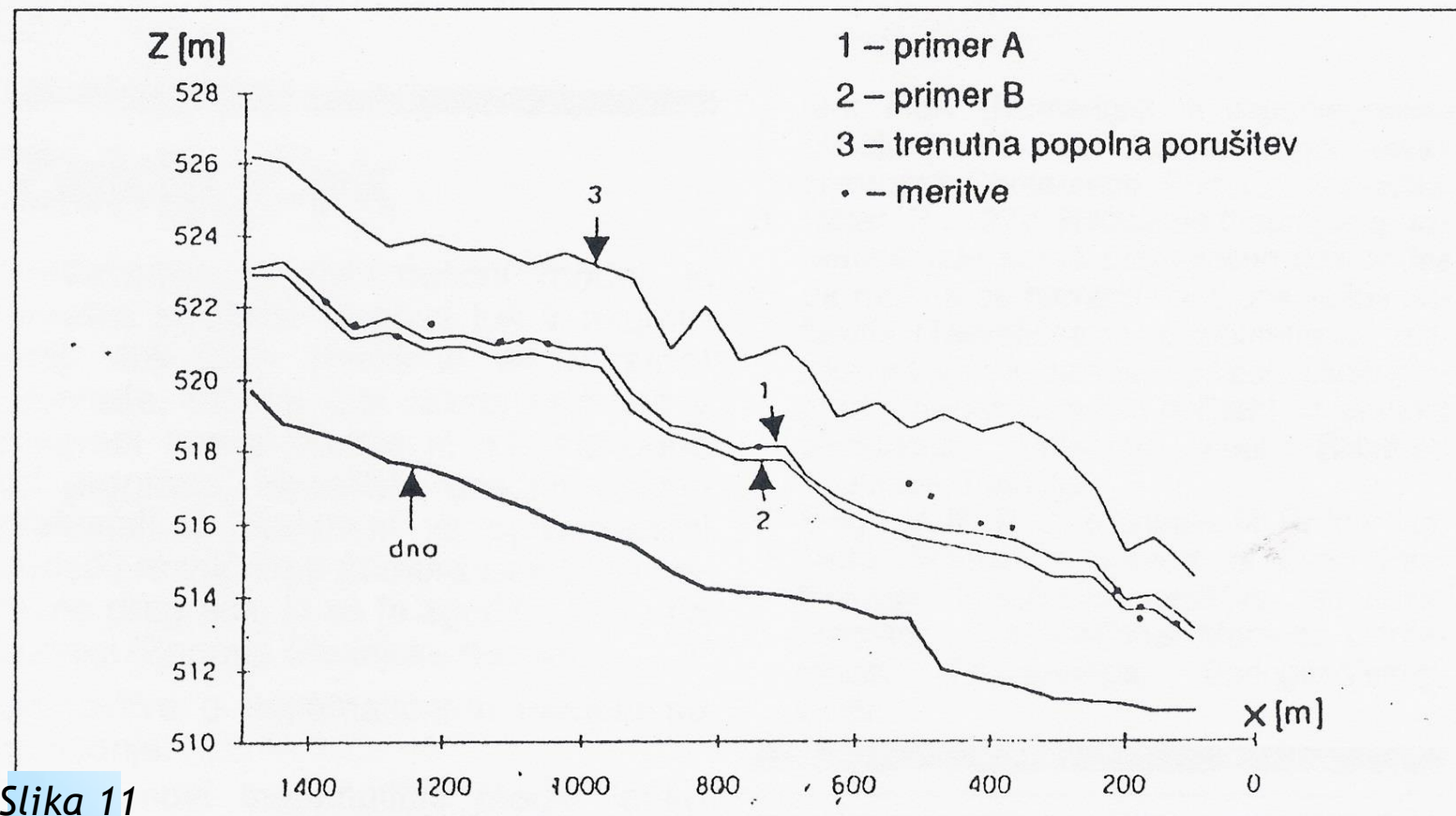
Slika 1. a) situacija, b) podložni profil plazu.











Slika 11

Slika 2. Maksimalne kote vode po porušitvi v območju vasi Luče.

Primer LUČNICA 1990: $Q_{\max}$ na mestu pregrade, primerjava metod:

Podatki: $VOL = 730\,000\text{ m}^3$; $H = 15\text{ m}$

PRIMER	$Q_{\max}$ (m ³ /s)
A - numerična metoda	290
B - numerična metoda	170
C	260
D	215
Trenutno-popolno	1980
Postopno - 30 minut	265
Statistična metoda Costa	506
<u>Statistična metoda</u> <u>Molinaro</u>	<u>181</u>

Točnost: + 6.5 %, oziroma -37 %

Metoda Molinaro C1 - umetna pregrada

Primer Oroville Dam:

Podatki: Rockfill dam,
Višina : 230 m
Vol. Materiala 59 340 000 m³
Inštal moč: 819 MW
Zmoglj. Prelivov: 7.100 m³/s

$Vol = 4.4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
 $H = 230 \text{ m}$

Po metodi Molinaro C1:
 $Q_{max} = 1,071.494 \text{ m}^3/\text{s} (??)$



7. ZAKLJUČKI

- * Za preliminarne ocene možnih porušitev zgrajenih ali projektiranih **pregrad vseh tipov** - uporaba *točnih NUMERIČNIH METOD* (Izdelava poročil po NAVODILIH - ni hudih časovnih omejitev)
- * Za hitro približno oceno porušitve pregrade (na terenu): uporaba programa **PREGPORUS.EXE**
- * *Točnost metode je red velikosti*

*Hvala za
pozornost*

