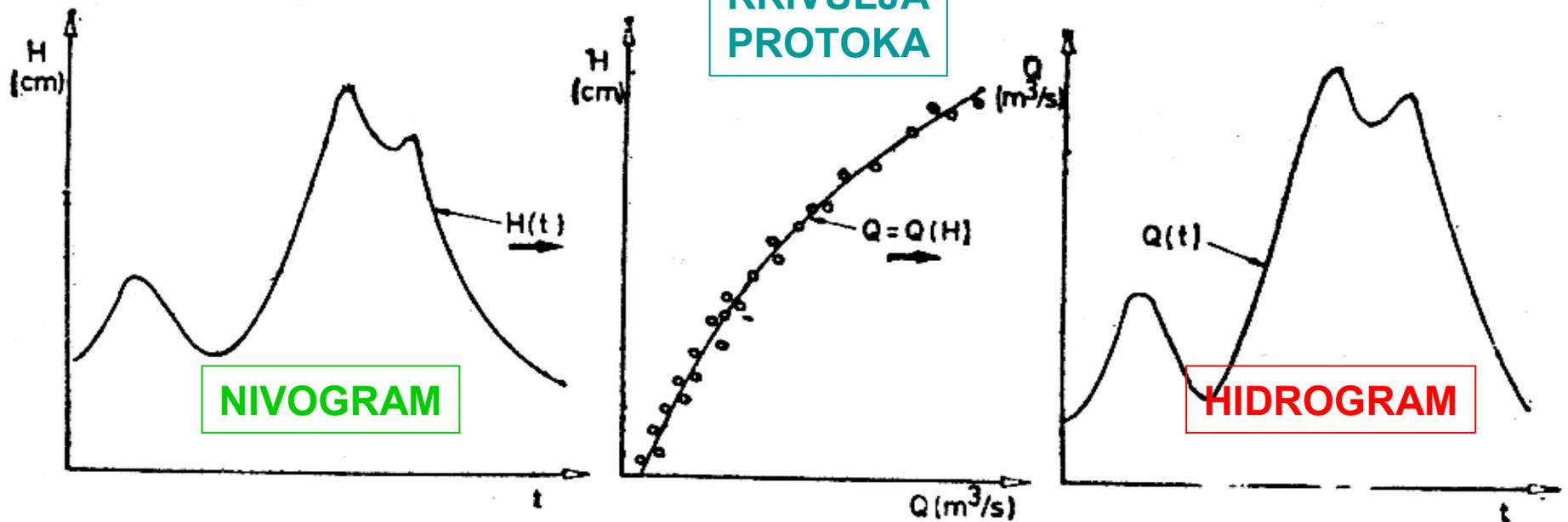


ODNOS VODOSTAJA I PROTOKA VODE KRIVULJA PROTOKA (KONSUMPCIJSKA KRIVULJA)

$$Q = f(H)$$



TEČENJE U PRIRODNIM KORITIMA

Tečenje u naravnim koritima općenito je turbulentno, nestacionarno i prostorno. Strujanje u otvorenim tokovima moguće je definirati Reynoldsovim diferencijalnim jednažbama, koje je moguće riješiti samo u općem slučaju. Uvođenjem određenih pretpostavki navedeni sustav diferencijalnih jednažbi značajno se pojednostavljuje pa ga je tada moguće riješiti i za svaki konkretni problem. Zanemarivanjem poprečne komponente strujanja i promjene nekih hidrauličkih veličina po vertikali tečenje se tretira kao linijski problem te je definirano Saint-Venanovim parcijalnim diferencijalnim jednažbama koje glase:

$$-\frac{\delta z}{\delta x} = \frac{v^2}{c^2 \cdot R} + \frac{\delta\left(\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}\right)}{\delta x} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\delta v}{\delta t} \quad \text{DINAMIČKA JEDNADŽBA}$$

$$\frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta t} = 0 \quad \text{JEDNADŽBA KONTINUITETA}$$

$$\frac{\delta z}{\delta x}$$

promjene nivoa po dužini korita (pad vodnog lica)

$$\frac{v^2}{c^2 \cdot R}$$

gubitak na trenju na jedinicu dužina (Chezyeva jednačba)

$$\frac{\delta\left(\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}\right)}{\delta x}$$

promjena kinetičke energije duž toka

$$\frac{1}{g} \frac{\delta v}{\delta t}$$

inercijski član (inercija zbog promjene brzine tijekom vremena)

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

stacionarno tečenje

$$\frac{dv}{dt} \neq 0$$

nestacionarno tečenje

$$\frac{dv}{dx} = 0$$

jednoliko tečenje

$$\frac{dv}{dx} \neq 0$$

nejednoliko tečenje

Zanemare li se u dinamičkoj jednadžbi promjena kinetičke energije duž toka i inercijski član dobije se Chezyeva jednadžba koja opisuje stacionarno i jednoliko tečenje u otvorenom vodotoku (v odgovara srednjoj profilskoj brzini):

$$I = \frac{v^2}{c^2 \cdot R} \quad \longleftrightarrow \quad v = c \sqrt{R \cdot I}$$

Manning $c = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$ \longleftrightarrow $v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$

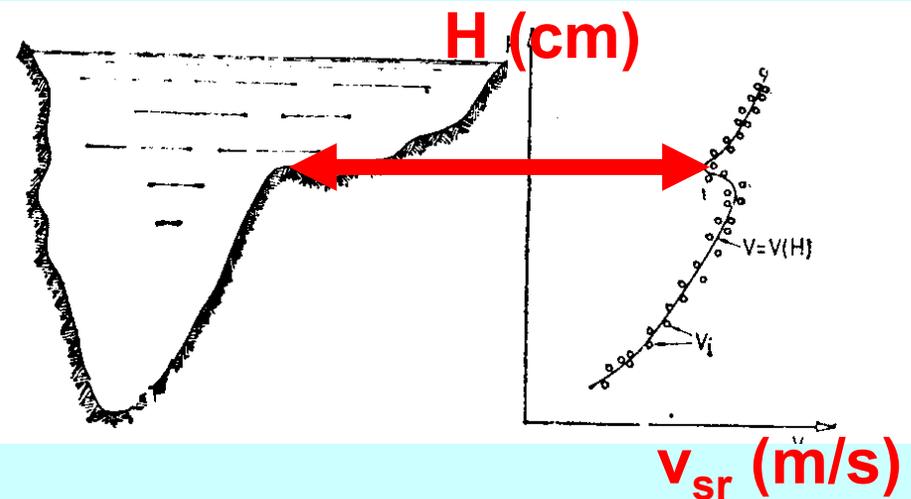
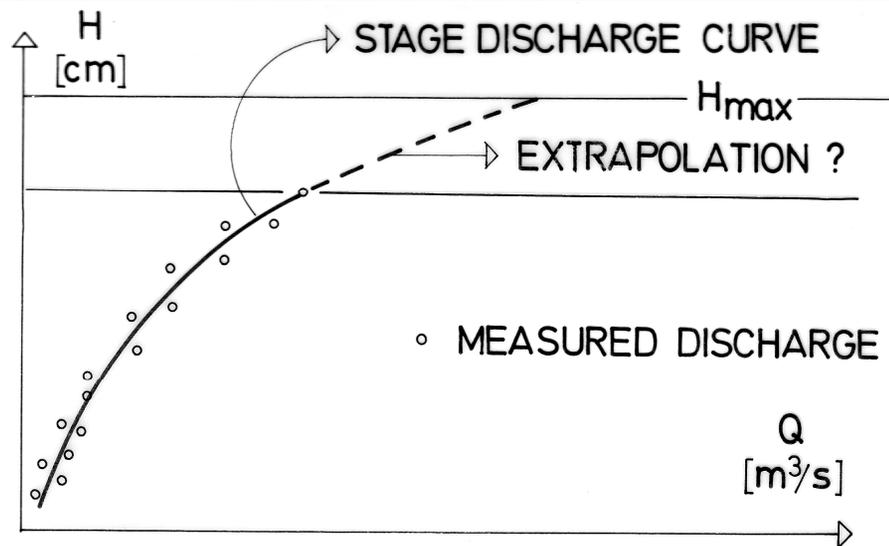
Primijenjeno na definiranje krivulje protoka prethodno znači da će jedino u slučaju jednolikog i stacionarnog tečenja biti moguće definirati protok samo u zavisnosti od vodostaja. U praksi se to rijetko dešava. U slučaju stacionarnog nejednolikog tečenja potrebno je poznavati i pad energetske linije uz napomenu da nerijetko ni taj podatak neće biti dovoljan. U stvarnosti se ipak postavljaju jednoznačni odnosi $Q=f(H)$, prvenstveno stoga jer krivulje protoka služe za bilanciranje količina voda tijekom dužeg razdoblja (najčešće godine). U takvim situacijama jednoznačno definirani $Q-H$ odnosi obično zadovoljavaju inženjerske potrebe.

Krivulja protoka ili konsumpcijska krivulja empirijski je odnos između protoka vode i odgovarajućeg vodostaja koji se definira na osnovi mjerenja protoka na terenu za svaki pojedinačni profil otvorenog vodotoka.

Odnos Q - H se mijenja tijekom vremena kao posljedica promjene poprečnog presjeka vodotoka uslijed erozije ili nasipavanje dna i obala, uslijed radova koje uzvodno ili nizvodno u slivu ili koritu vrši čovjek, ali i kao posljedica prirodnih promjena.

Osnovni preduvjet za pouzdano definiranje krivulje protoka je postojanje dovoljnog broja izmjerenih protoka u cijelom rasponu pojave vodostaja.

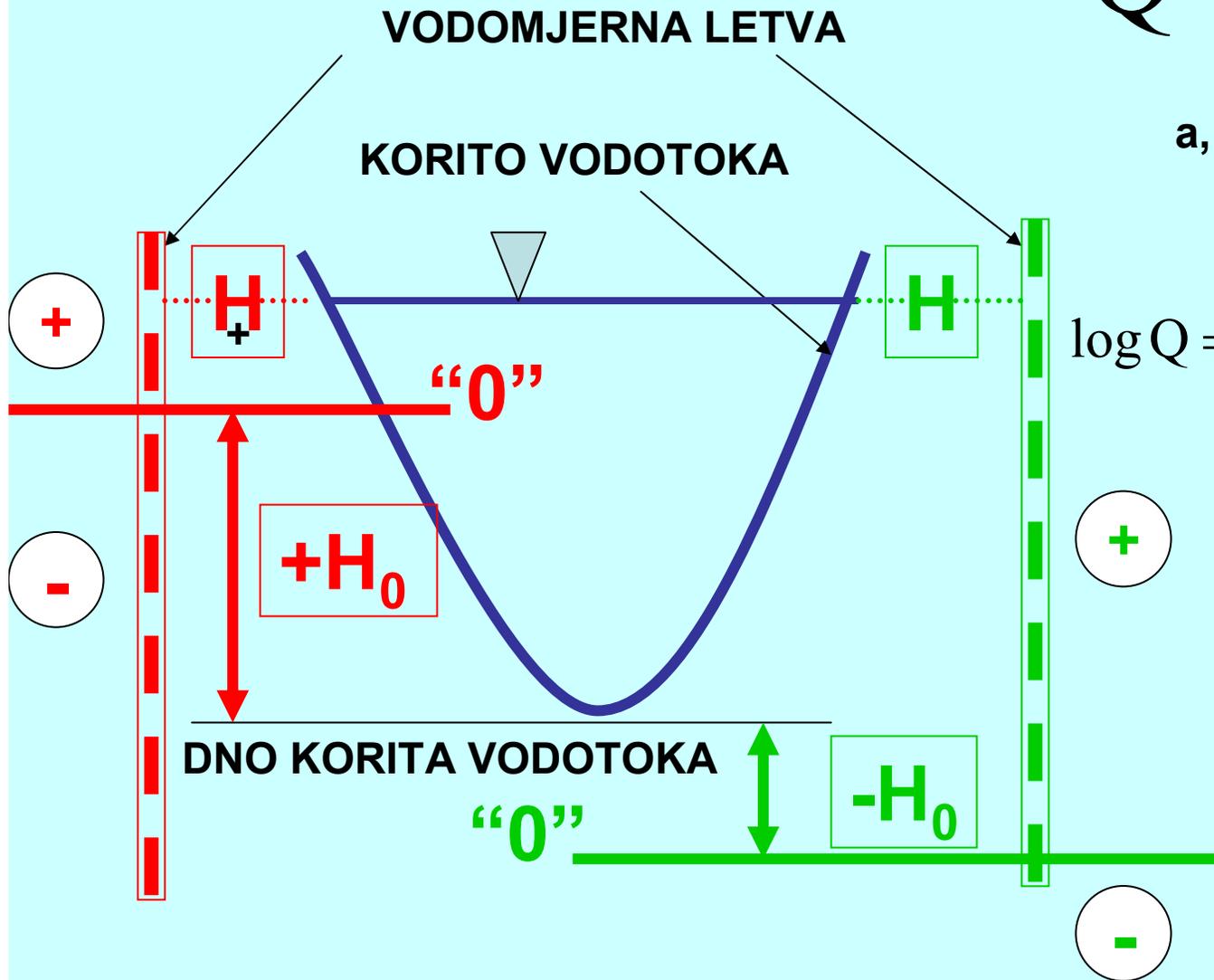
Ekstrapolaciju krivulje protoka treba izbjegavati (iako je ona vrlo često neophodna) jer se velike vode javljaju rijetko, a mogućnosti njihovog pouzdanog mjerenja su male. Danas je primjena ADCP tehnologije znatno poboljšala mogućnost mjerenja velikih voda.



$$Q = a \cdot (H \pm H_0)^b$$

a, b - izračunavaju se po teoriji najmanjih kvadrata

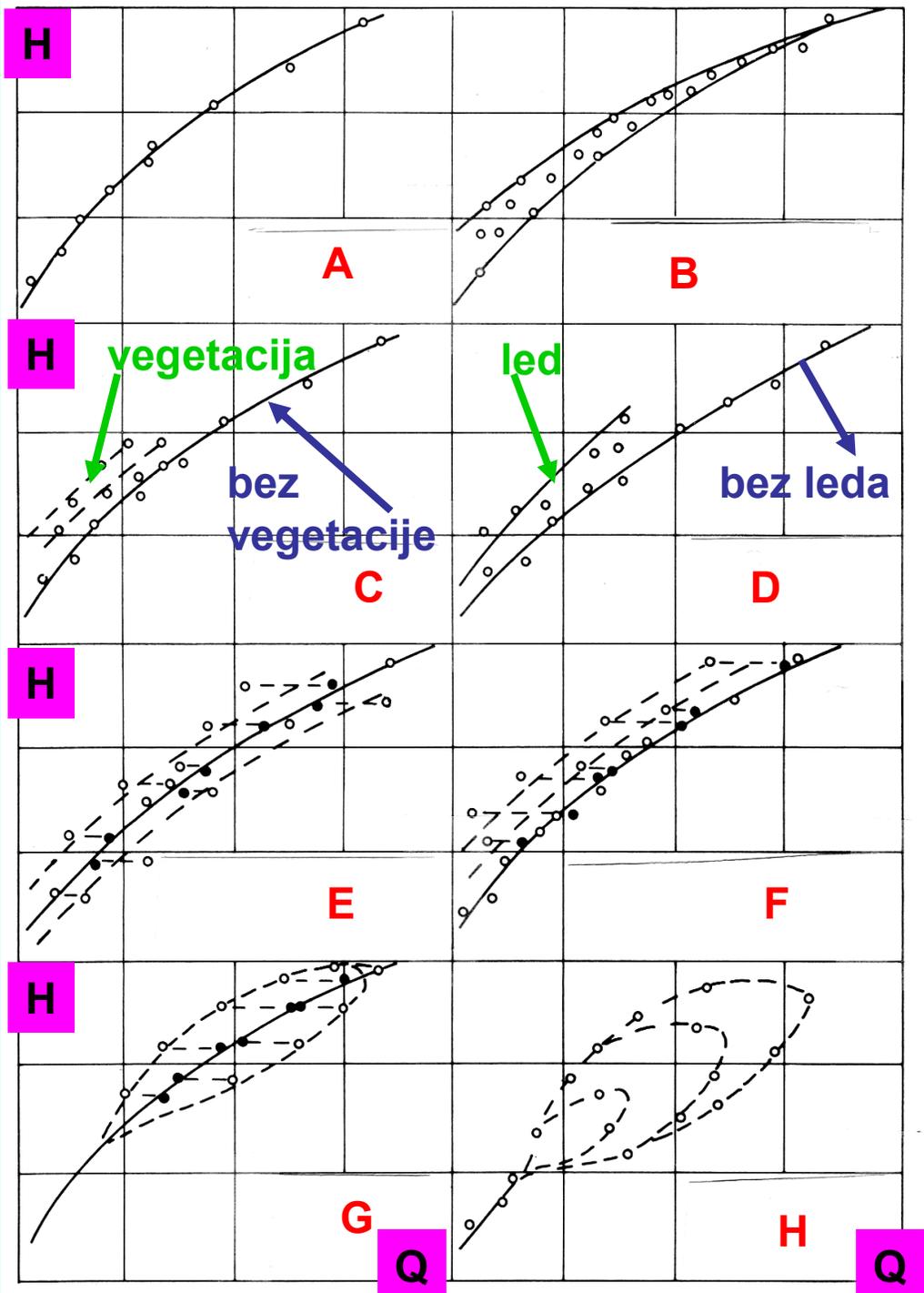
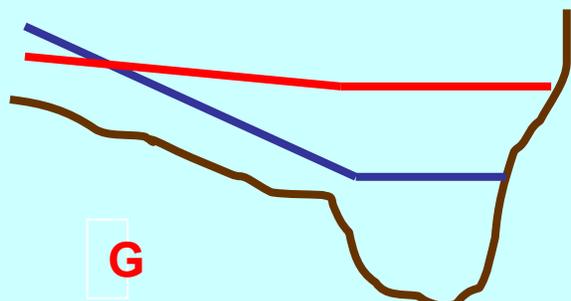
$$\log Q = \log a + b \cdot \log(H \pm H_0)$$



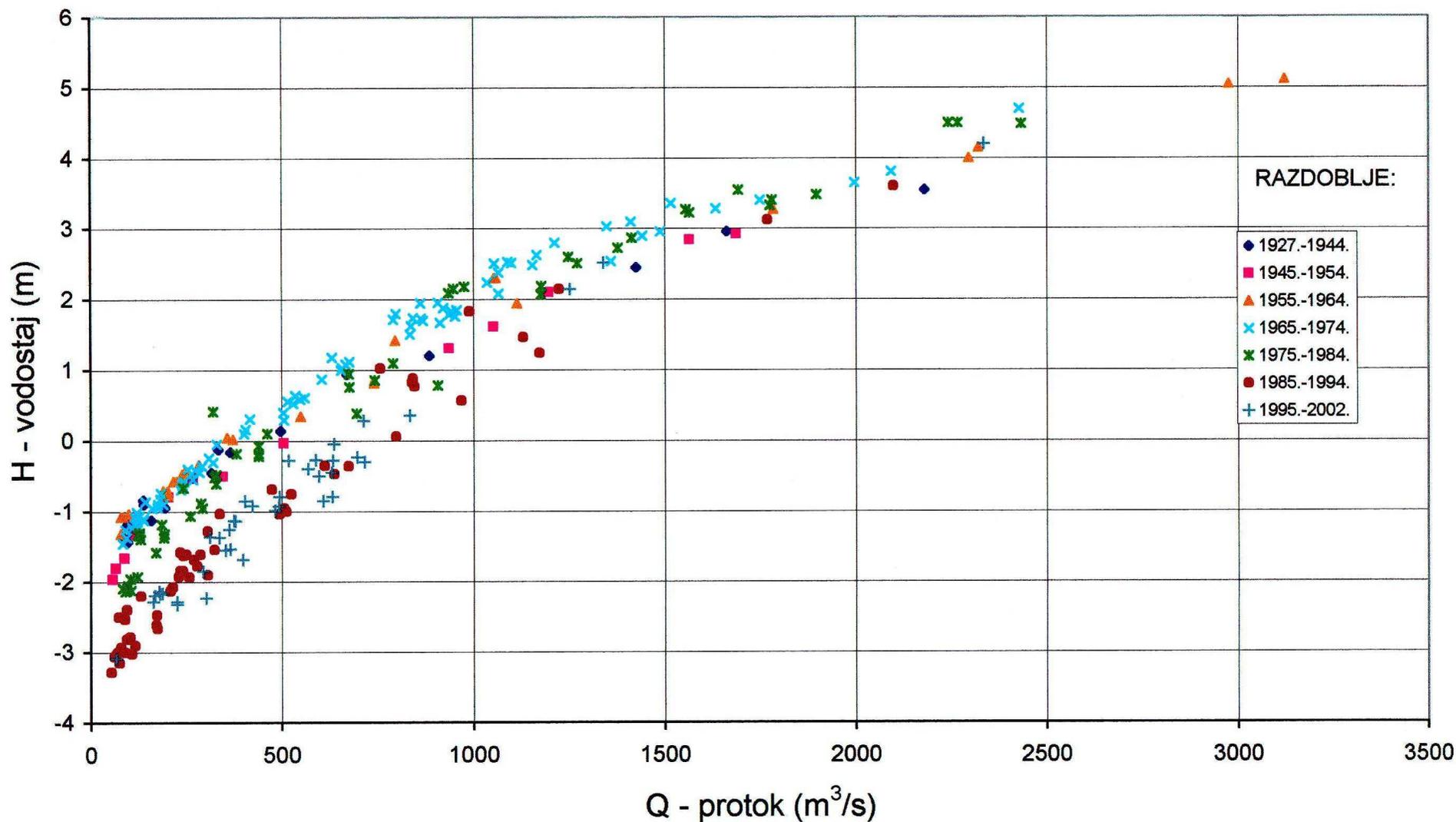
$$Q = a + b \cdot H + c \cdot H^2$$

KRIVULJE PROTOKA OTVORENIH VODOTOKA U RAZLIČITIM HIDRAULIČKIM UVJETIMA

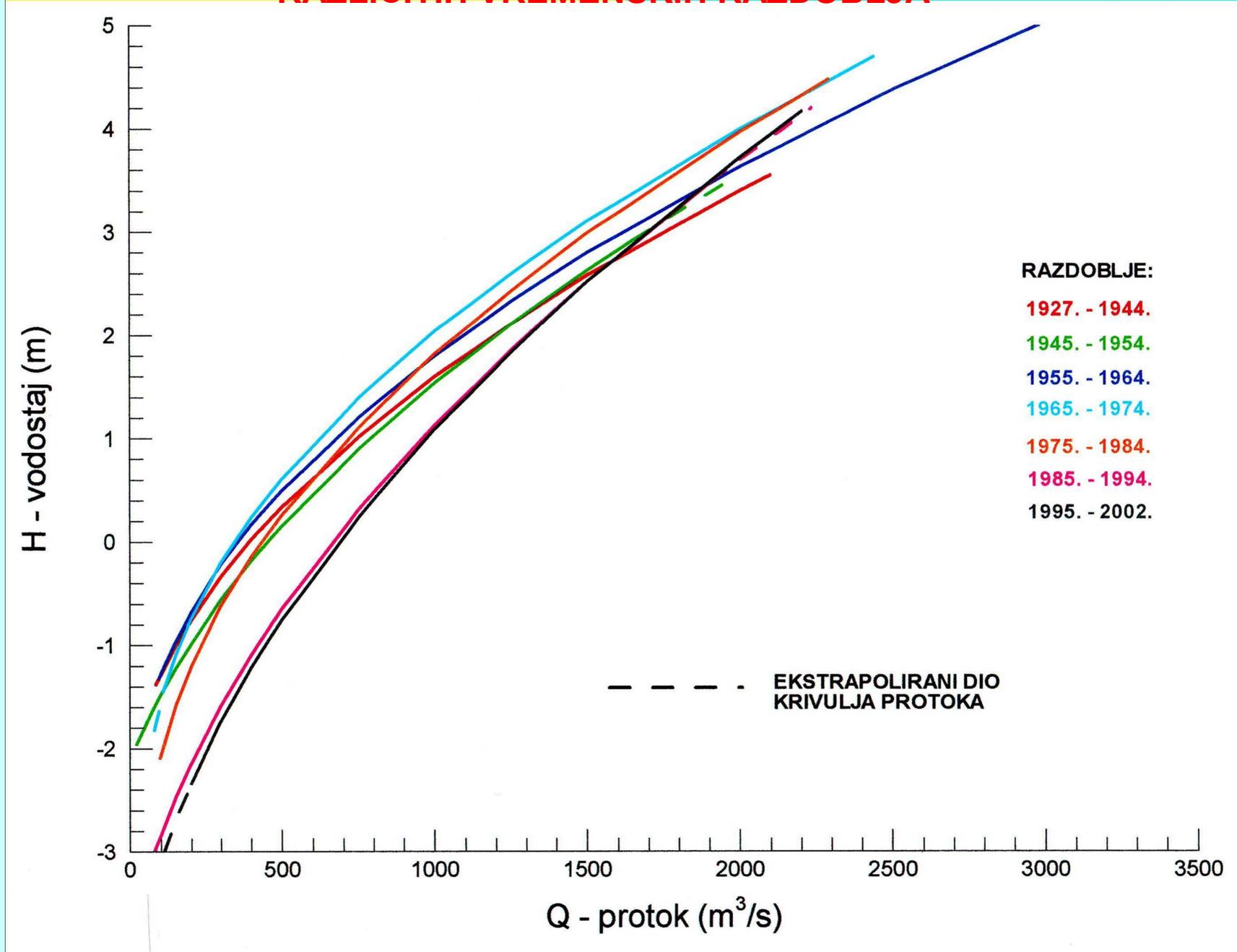
- A- stabilno korito
- B- pjeskovito (erodibilno) dno
- C- akvatična vegetacija
- D- ledeni pokrivač
- E- promjenjivi uspor pri jednolikom tečenju
- F- promjenjivi uspor uz potopljeni donji kontrolni presjek
- G- nestacionarnost
- H- pojava prelijevanja i retencioniranja



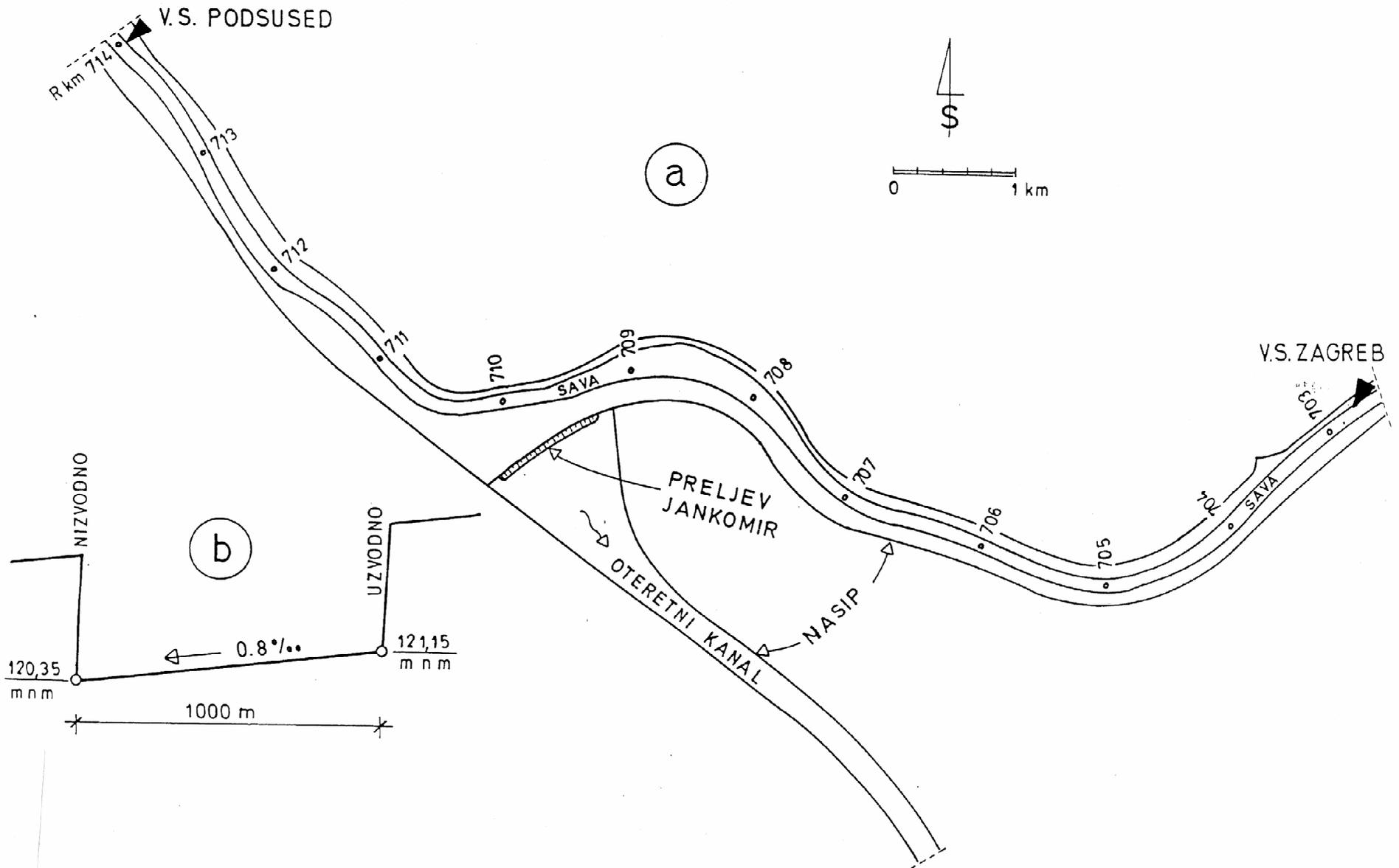
VODOMJERENJA NA PROFILU SAVE KOD ZAGREBA U RAZDOBLJU 1927.-2002.



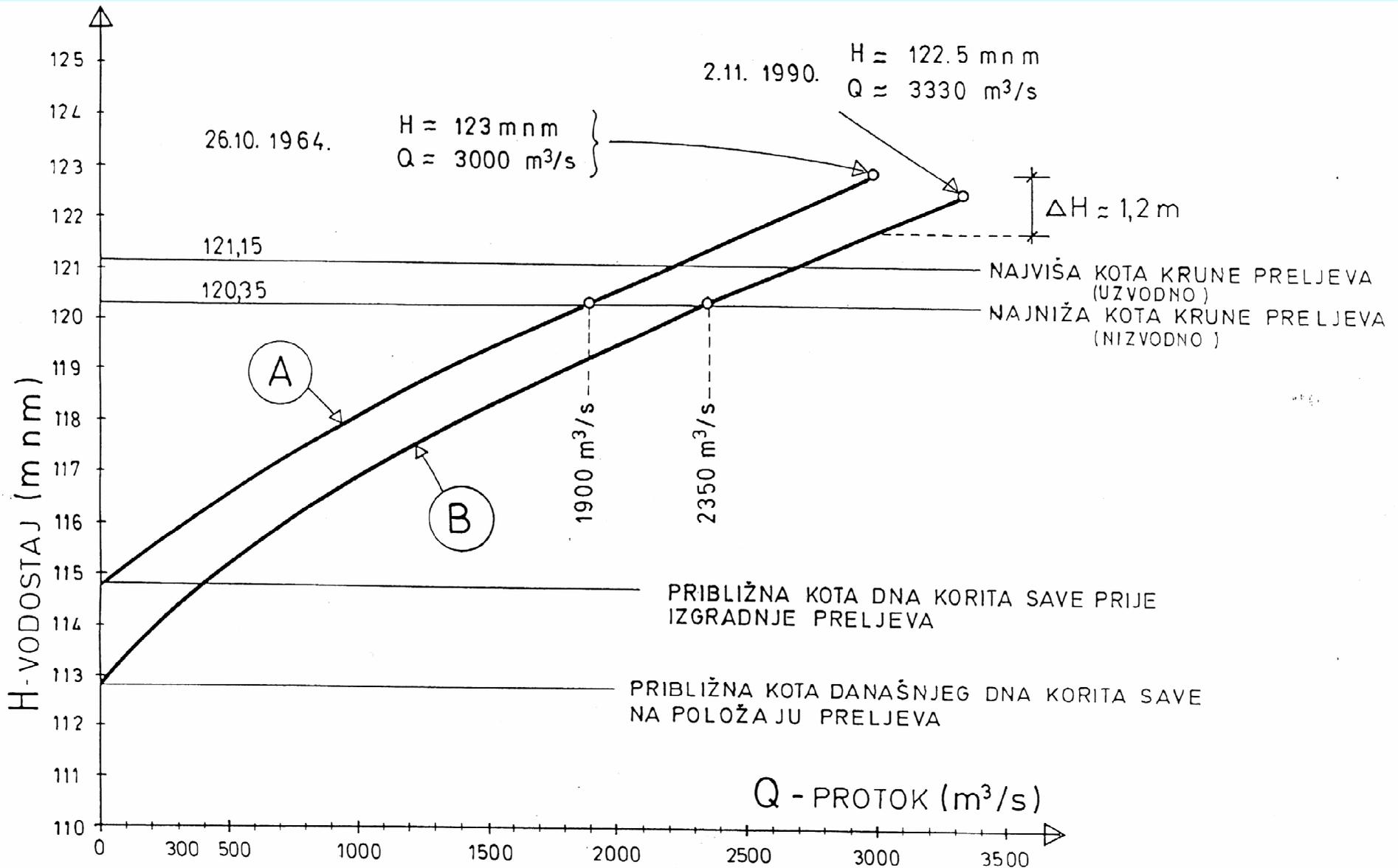
KRIVULJE PROTOKA SAVE KOD ZAGREBA DEFINIRANE ZA SEDAM RAZLIČITIH VREMENSKIH RAZDOBLJA



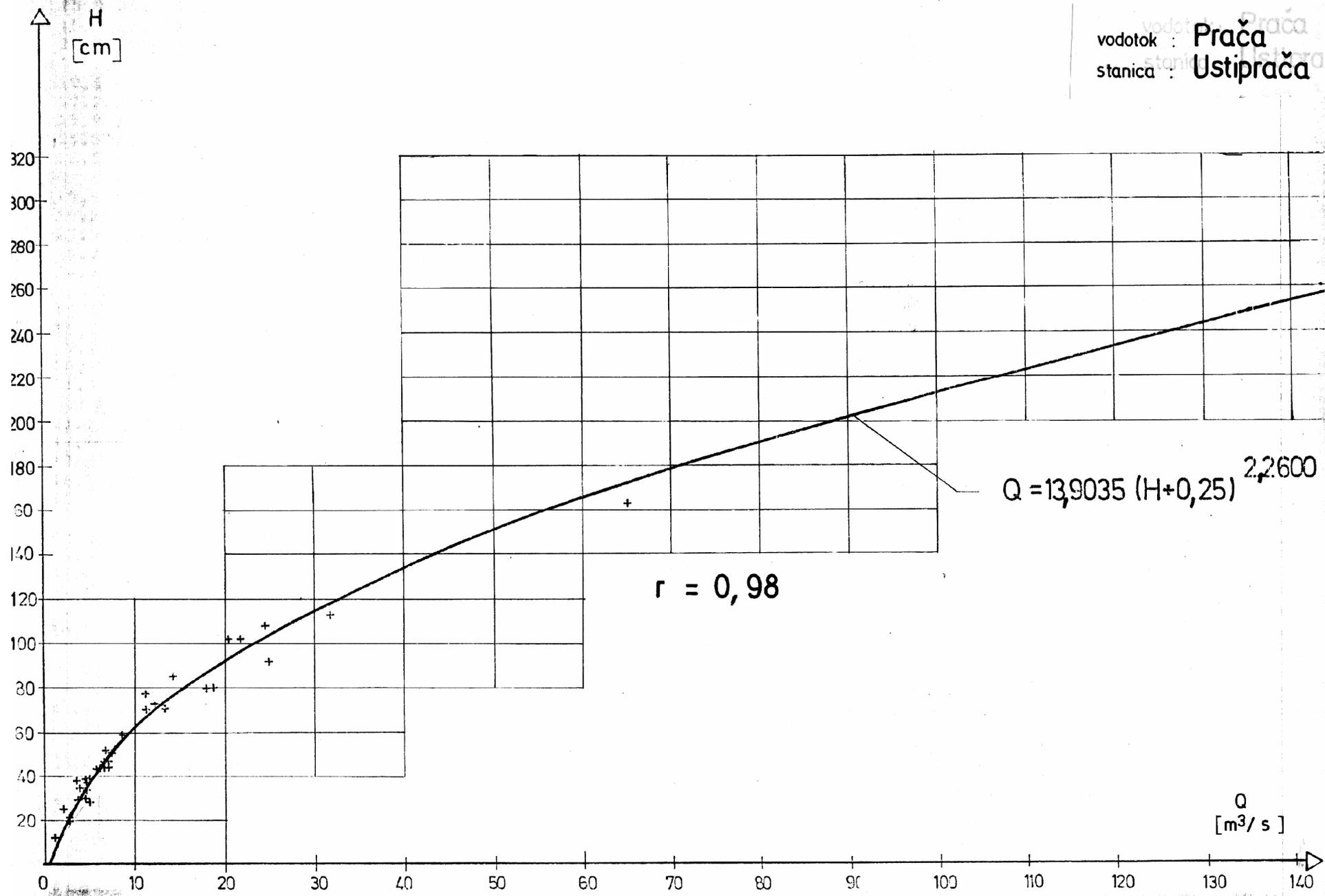
SITUACIJA SAVE NA POTEZU PODSUSED ZAGREB S UCRTANIM POLOŽAJEM PRELJEVA JANKOMIR I OTERETNOG KANALA



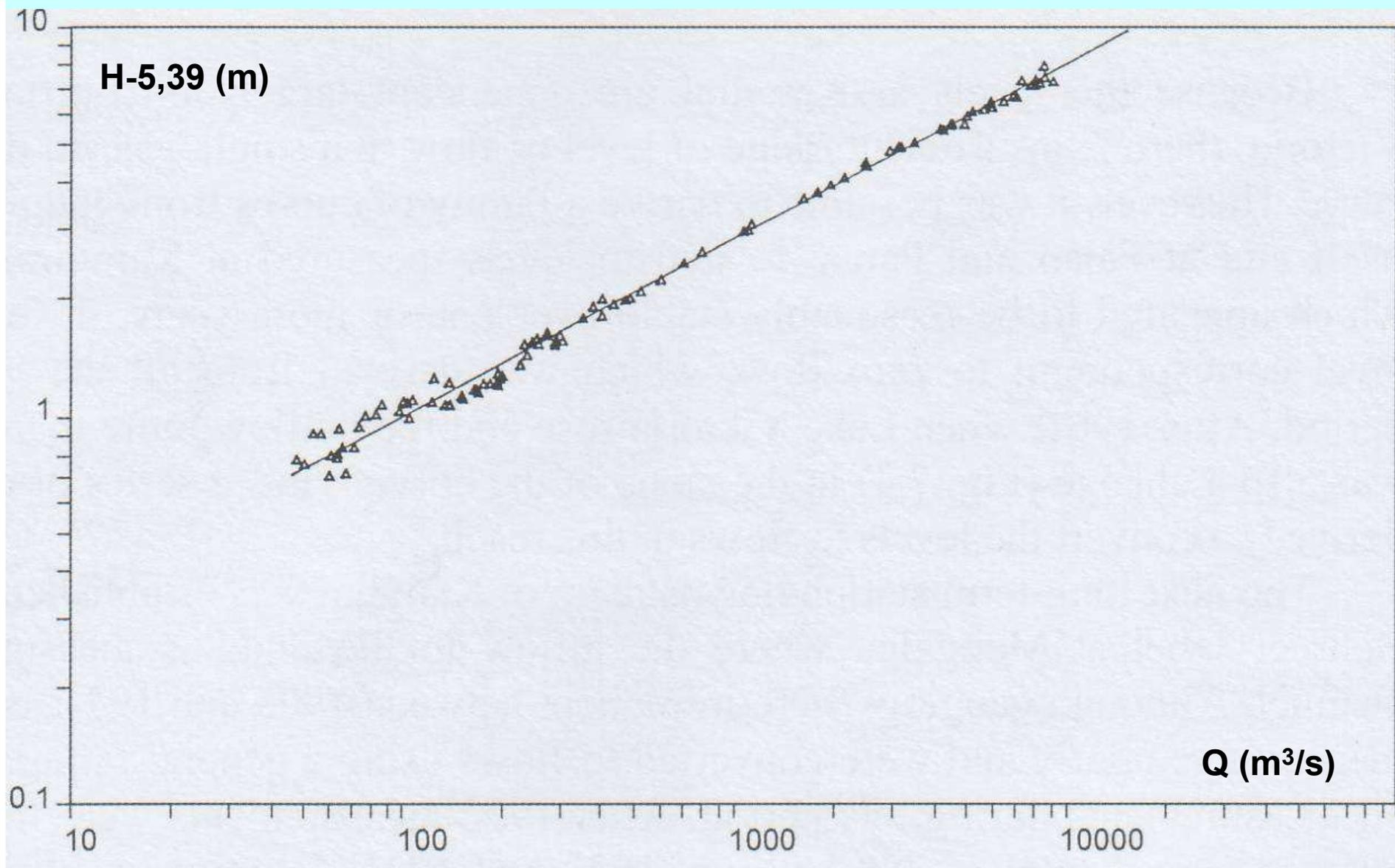
PROMJENA KRIVULJA PROTOKA SAVE KOD JANKOMIRA USLIJED PRODUBLJAVANJA DNA KORITA VODOTOKA



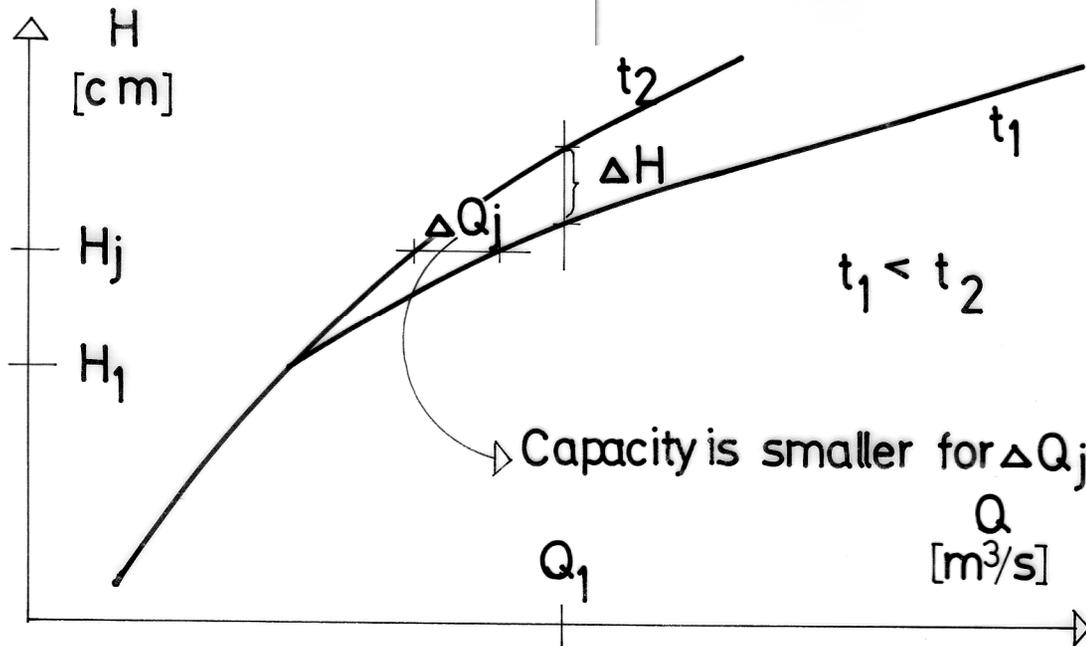
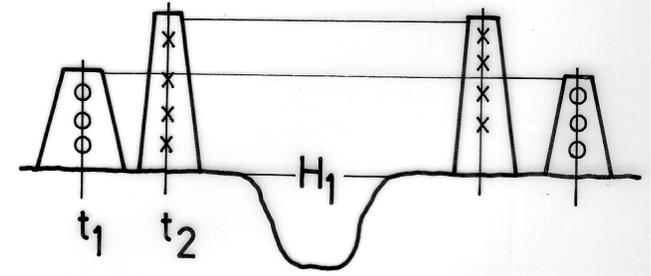
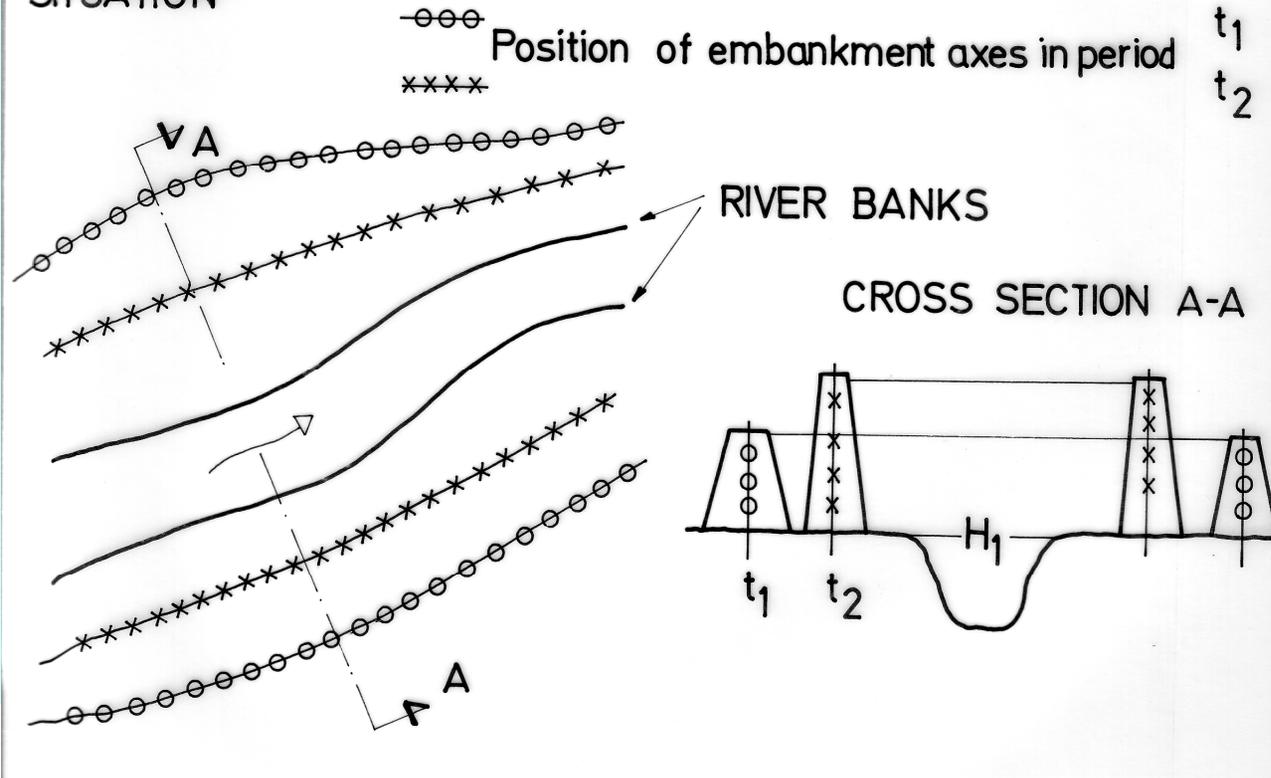
vodotok : Prača
stanica : Ustiprača



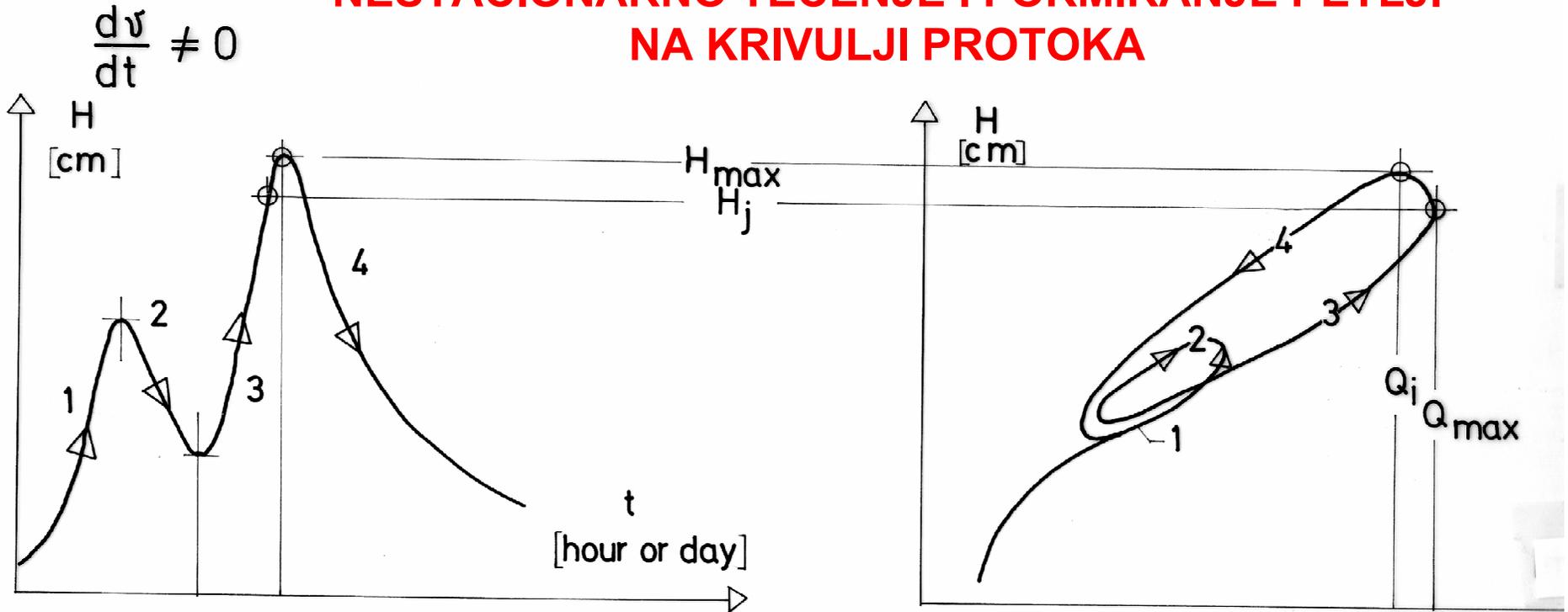
KRIVULJA PROTOKA (log-log papir) PLAVOG NILA NA STANICI EL DEIM



SITUATION

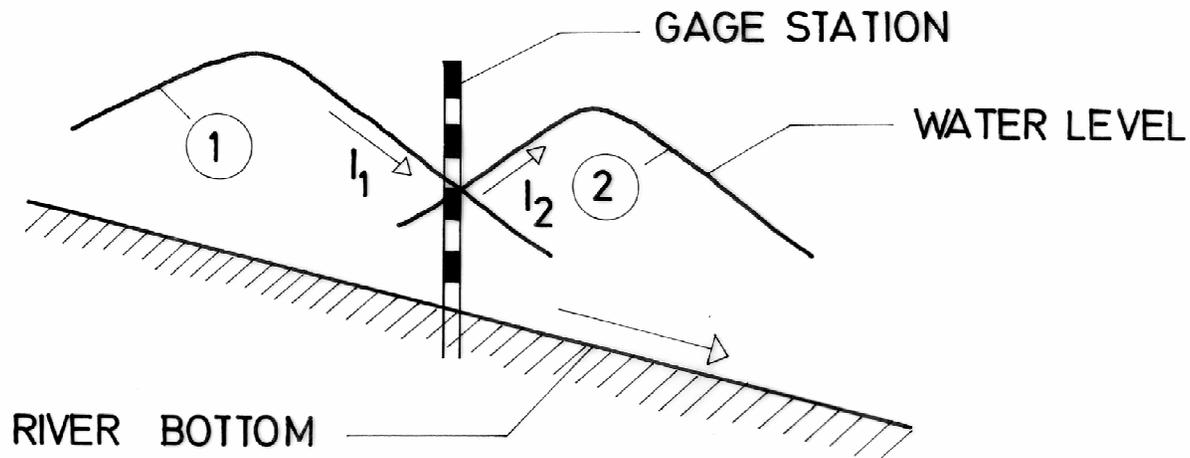


NESTACIONARNO TEČENJE I FORMIRANJE PETLJI NA KRIVULJI PROTOKA



$H_j < H_{max}$ but $Q_{max} > Q_j$

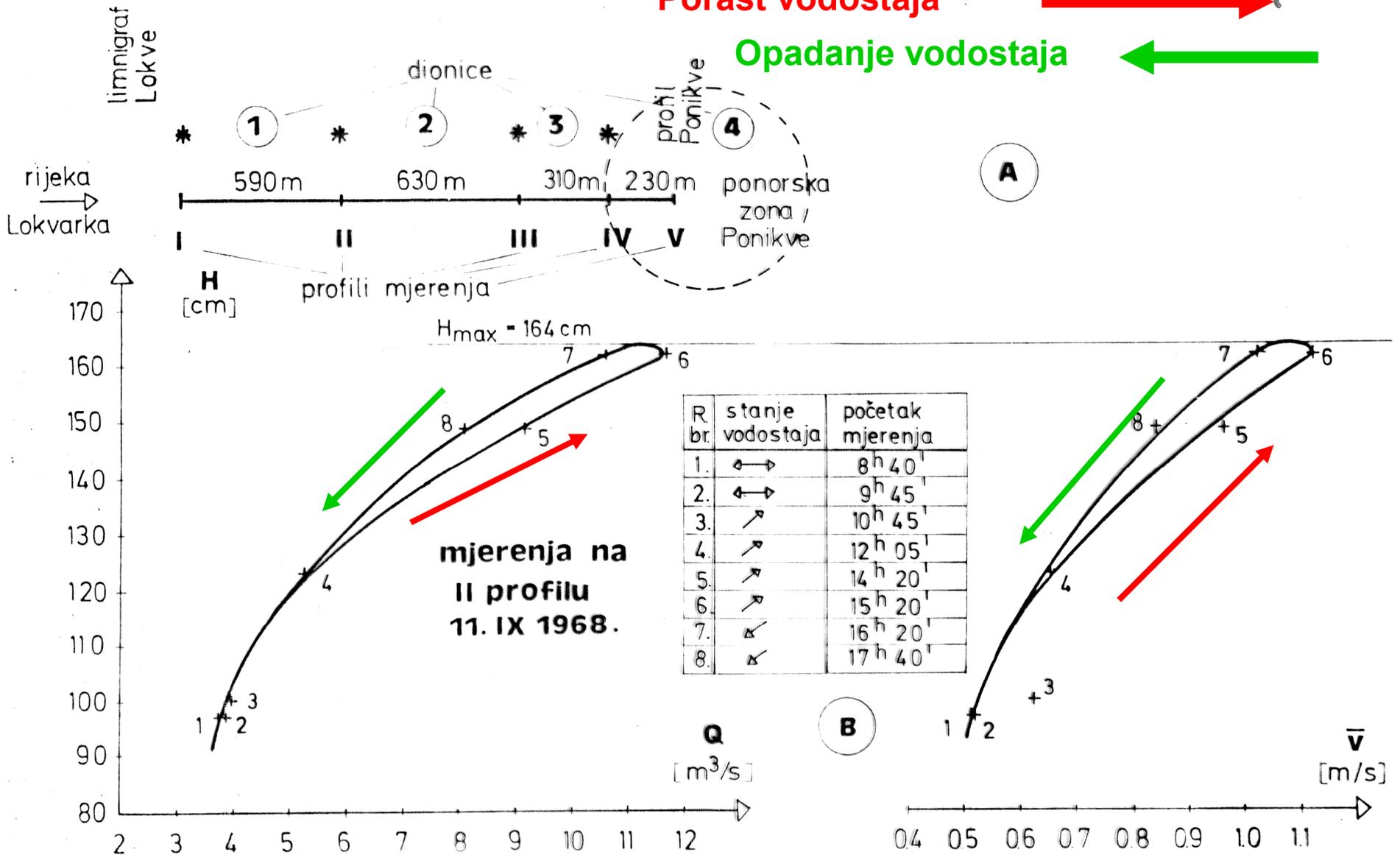
$t_1 < t_2$
 $H_1 = H_2$
 $Q_1 > Q_2$
 $I_1 \gg I_2$



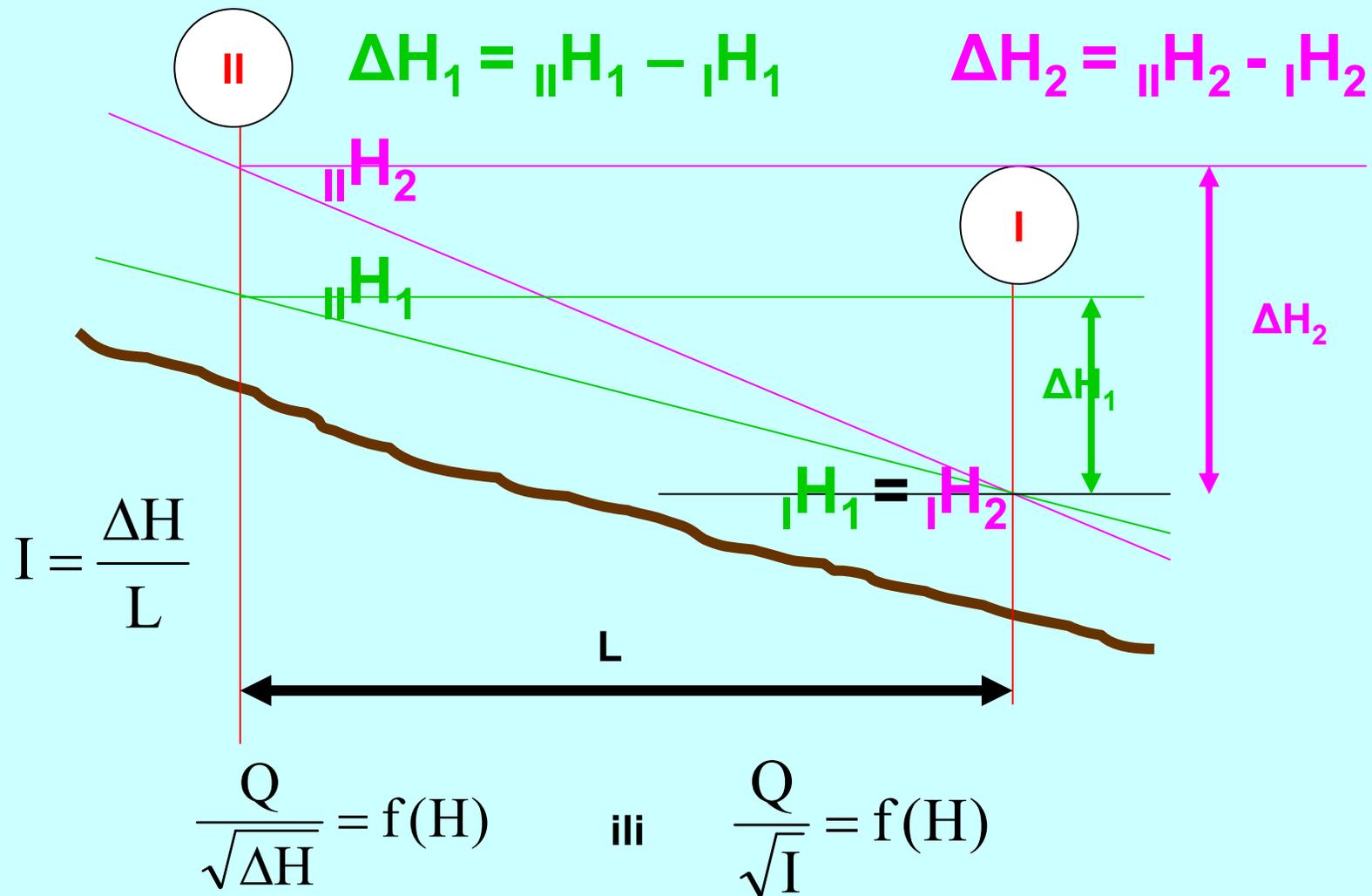
FORMIRANJE PETLJE KOD KRIVULJE PROTOKA

Porast vodostaja 

Opadanje vodostaja 

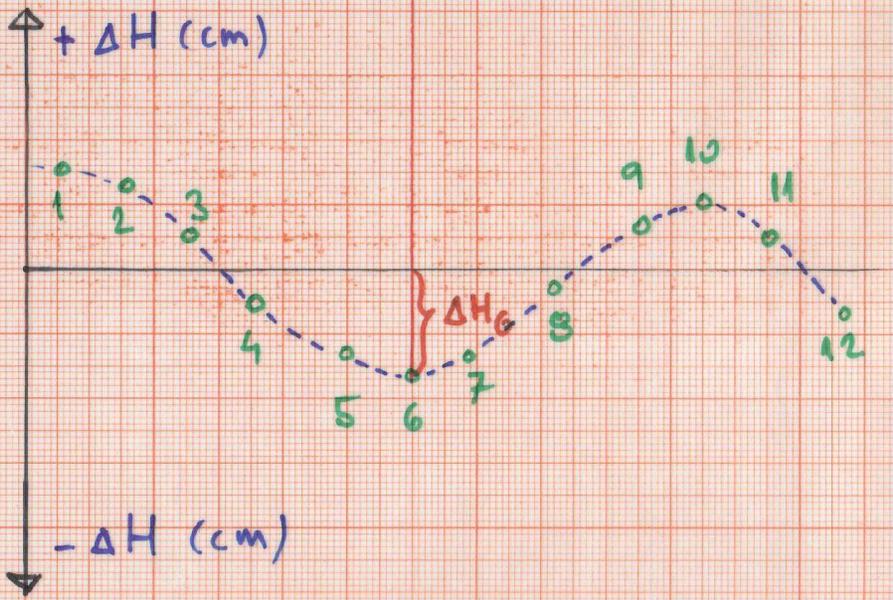
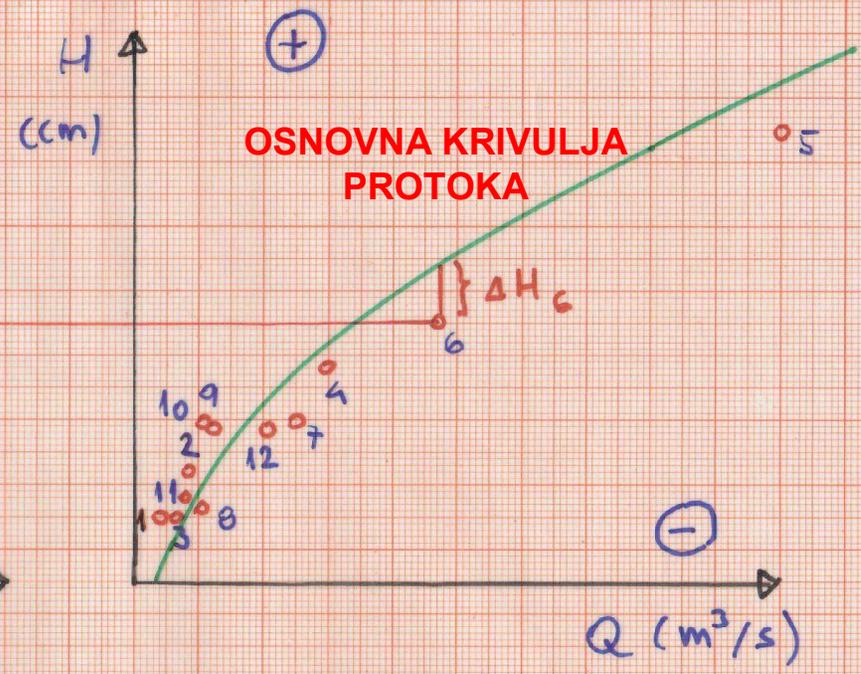
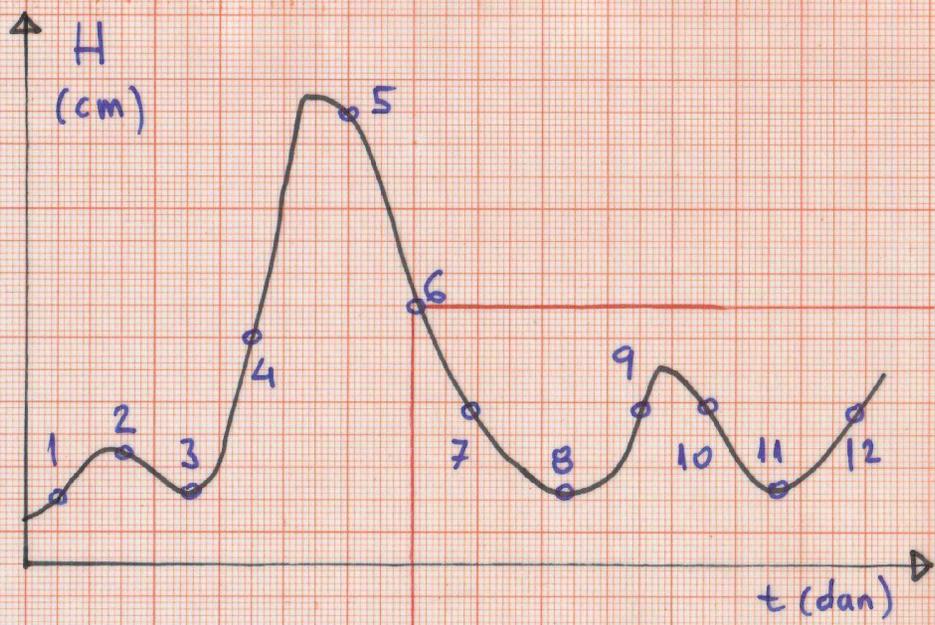


MJERENJE PROTOKE VODE NA PROFILIMA LOKVARKE SA CILJEM DEFINIRANJA GUBITAKA VODE

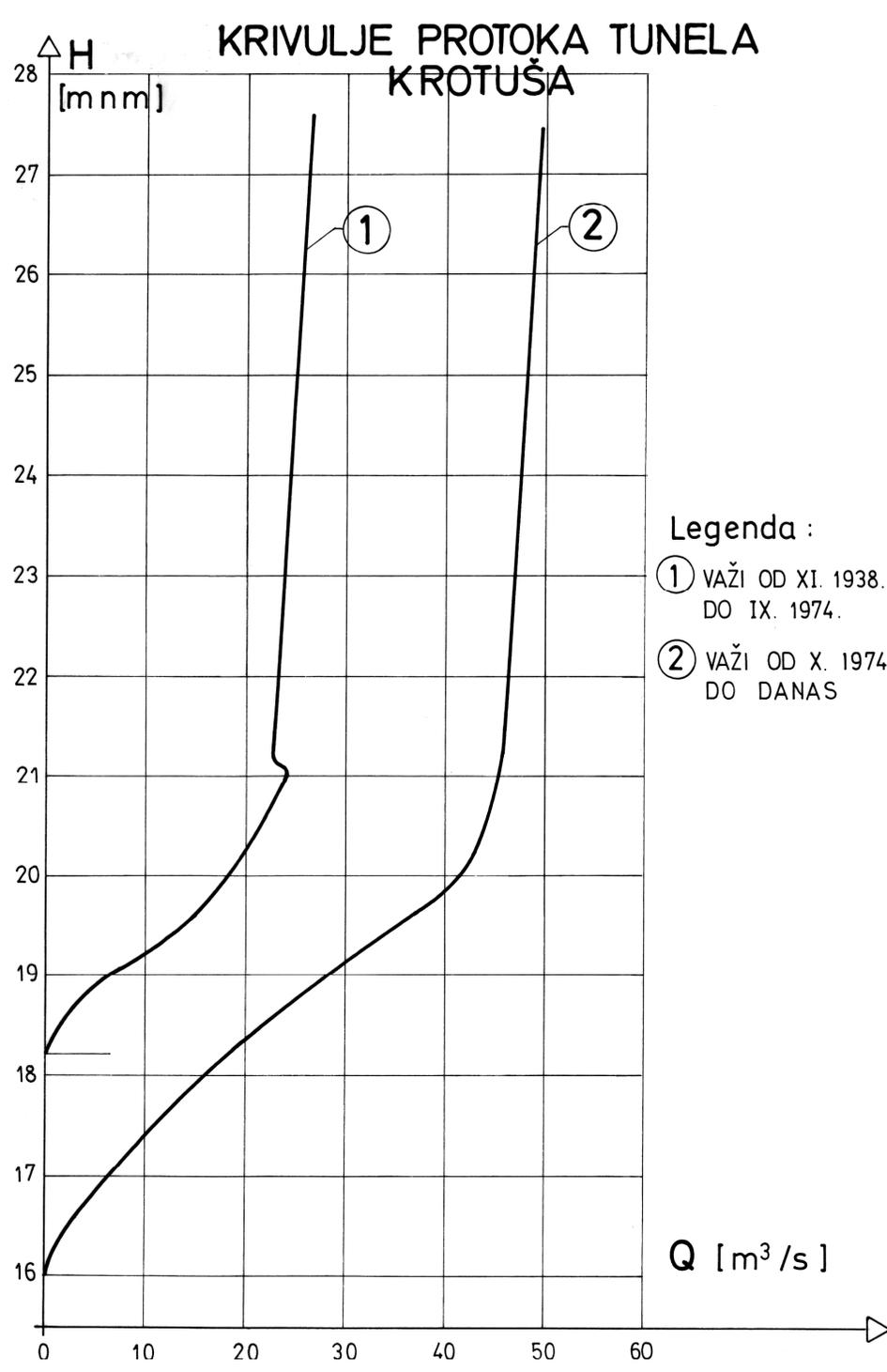


KRIVULJA PROTOKA KOD KOJE JE $Q = f(H, I)$

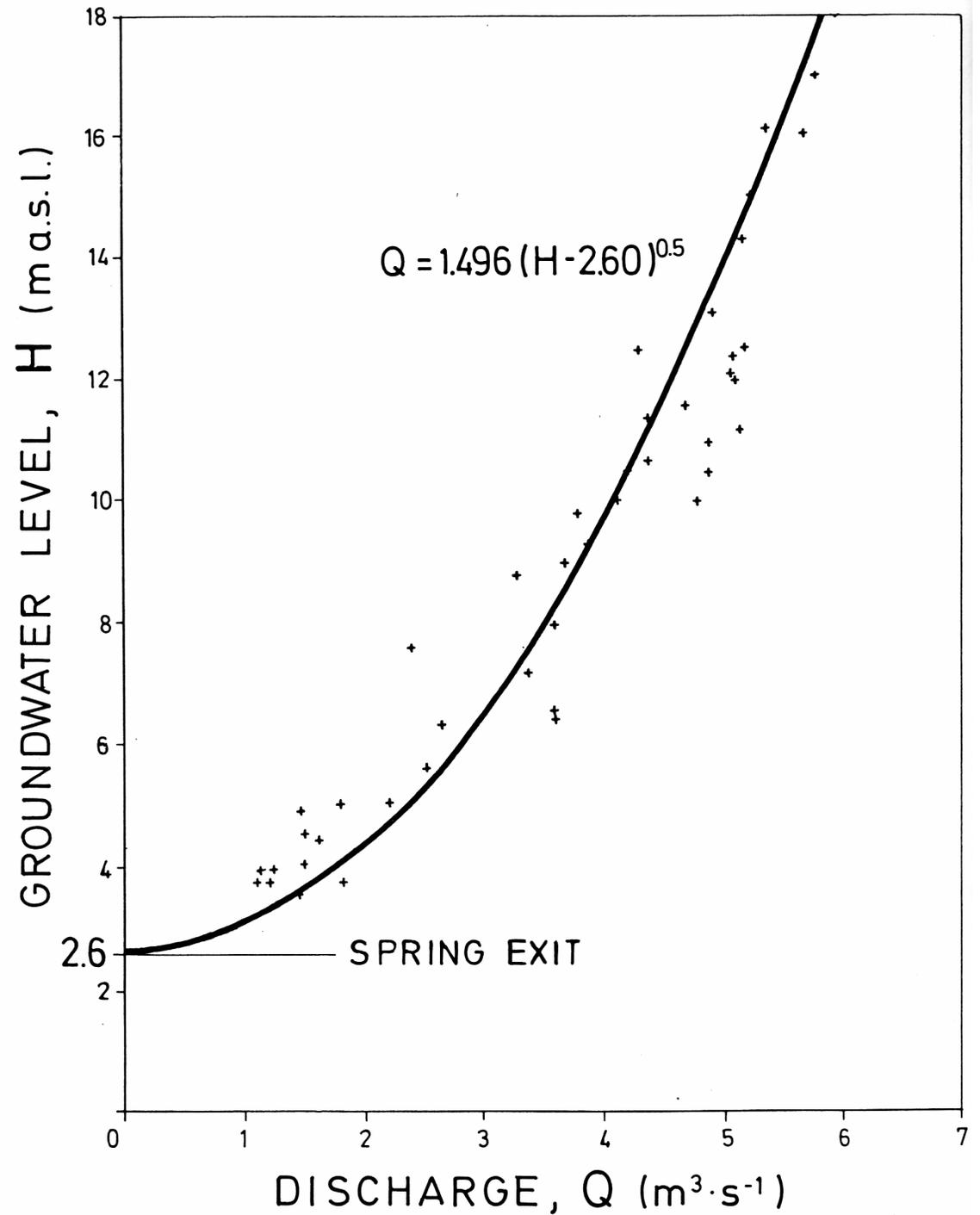
$$Q = a \cdot \sqrt{I} \cdot (H \pm H_0)^b$$



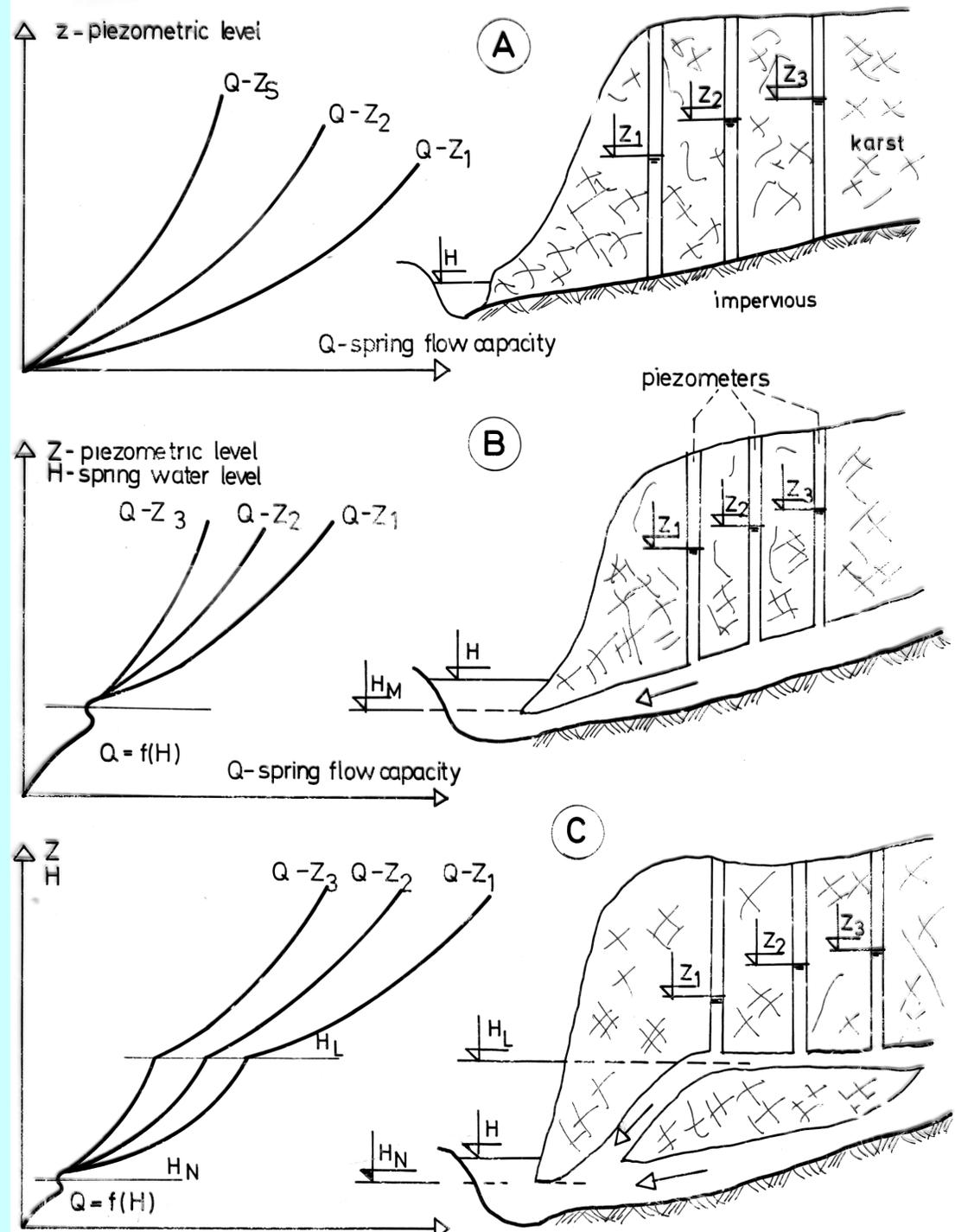
STAUTOVA METODA DEFINIRANJA KRIVULJE PROTOKA KOJA SE OBIČNO PRIMJENJUJE KOD VODOTOKA U KOJIMA RASTE AKVATIČNA VEGETACIJA

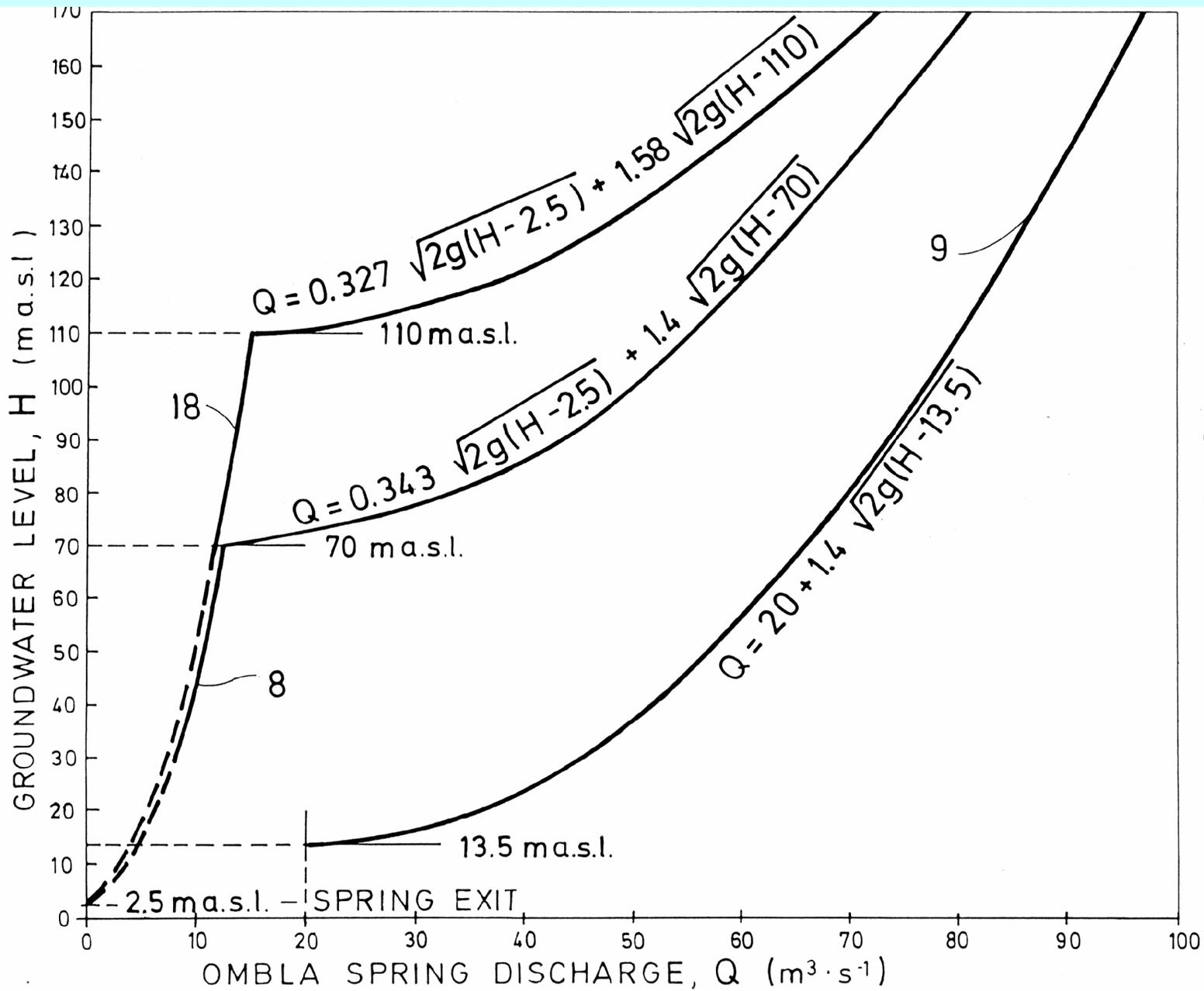


**KRIVULJA PROTOKA IZVORA
PANTAN U FUNKCIJI RAZINE
PODZEMNE VODE U ZALEĐU**



NEKOLIKO PRIMJERA KRIVULJA PROTOKA IZVORA U KRŠU





EXPLANATION

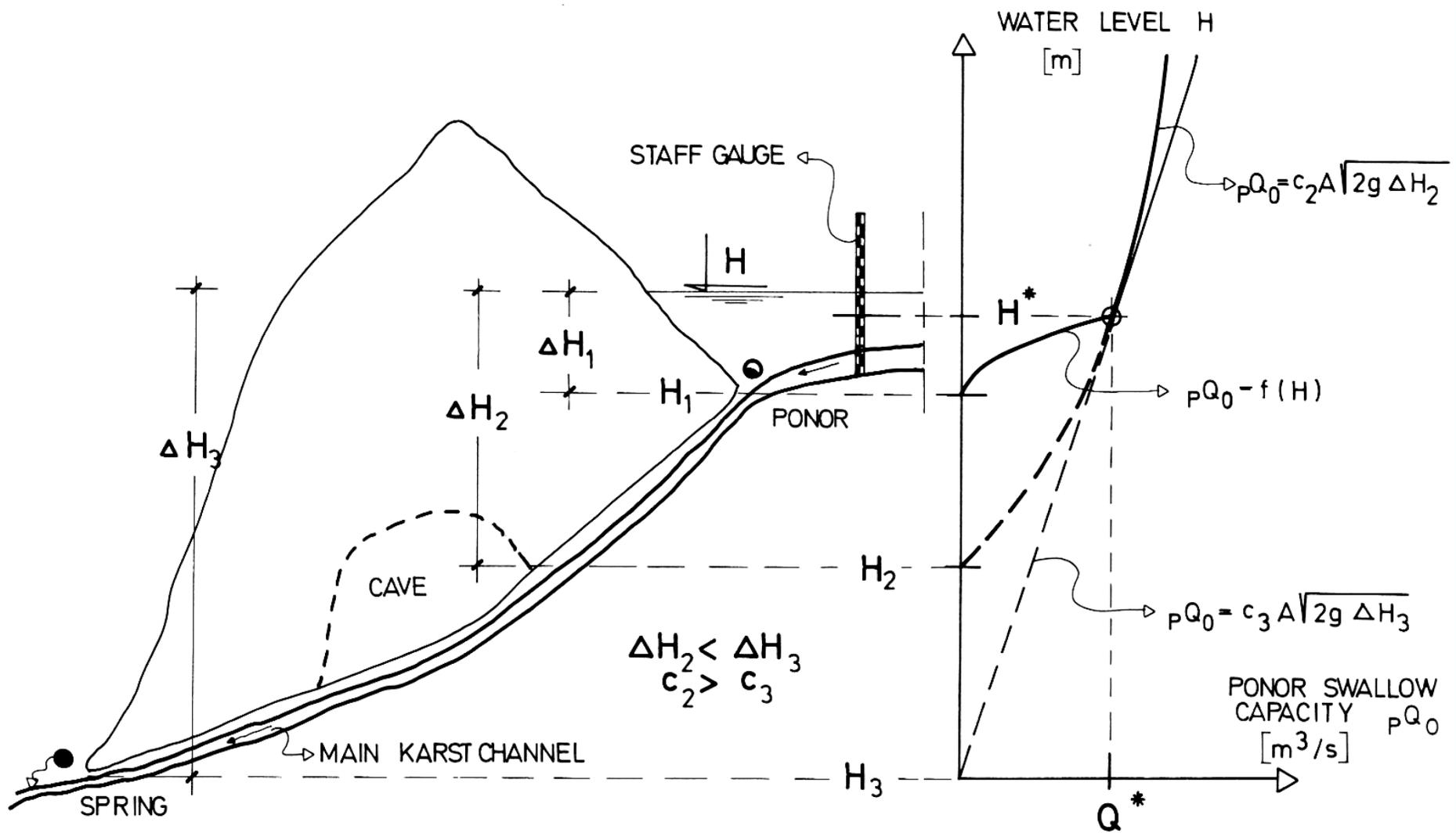
Q - OMBLA SPRING DISCHARGE (m³·s⁻¹)

H - GROUNDWATER LEVEL (m a.s.l.)

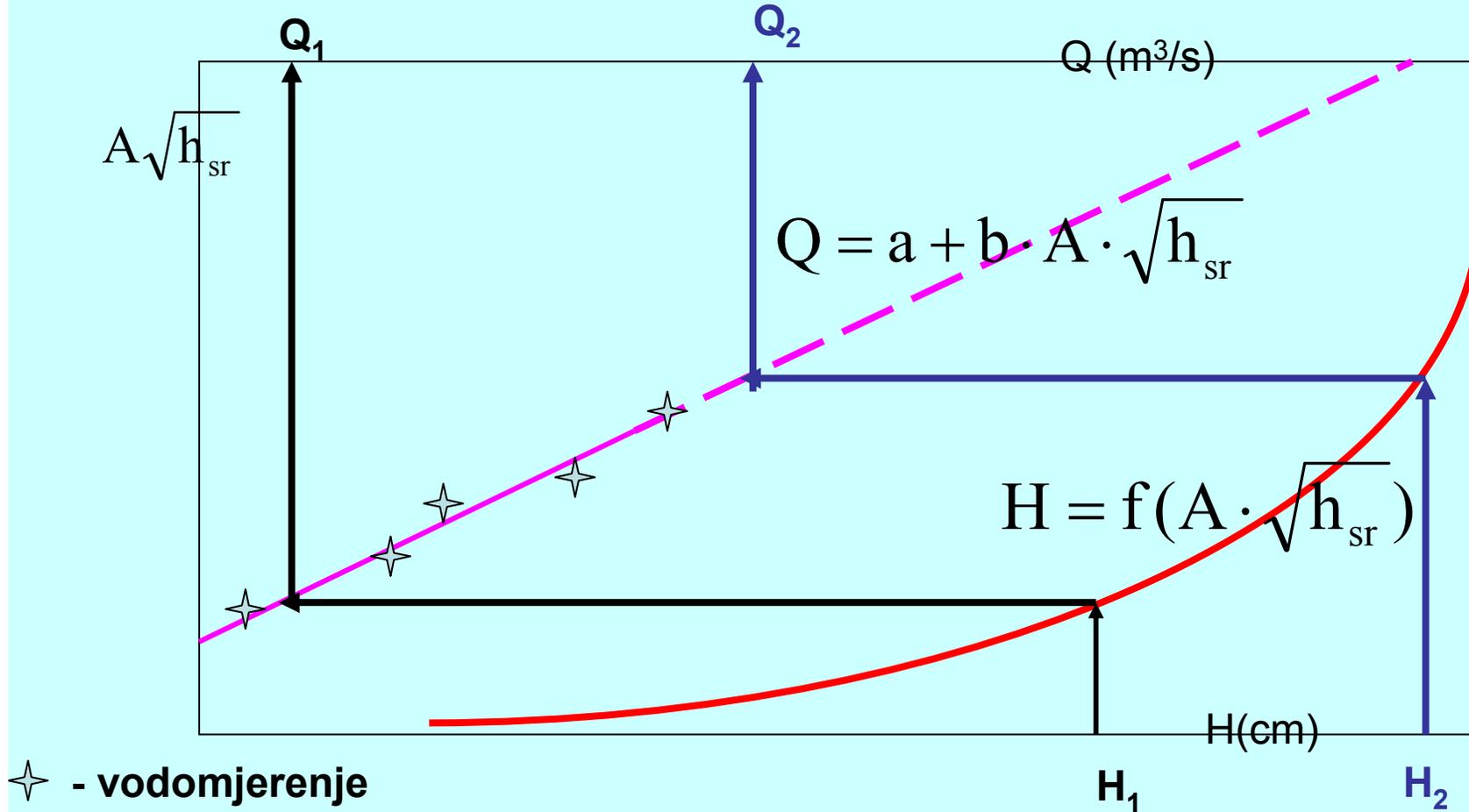
g - ACCELERATION OF GRAVITY (m·s⁻²)

8 - PIEZOMETER NUMBER

KRIVULJE PROTOKA KAPACITETA GUTANJA PONORA



STEVENSOVA METODA EKSTRAPOLACIJE KRIVULJE PROTOKA



$$Q \approx A \cdot c \cdot \sqrt{h_{sr}} \cdot I = c \cdot \sqrt{I} \times A \cdot \sqrt{h_{sr}} = m \times A \cdot \sqrt{h_{sr}}$$

METODU SE PREPORUČA KORISTITI SAMO KOD DUBOKIH VODOTOKA (> 4 m)
 a, b – parametri koji se određuju po teoriji najmanjih kvadrata, a za čije se određivanje koriste samo vodomjerenja kod kojih je h_{sr} veći od 3 m

Vodotok: Jadro

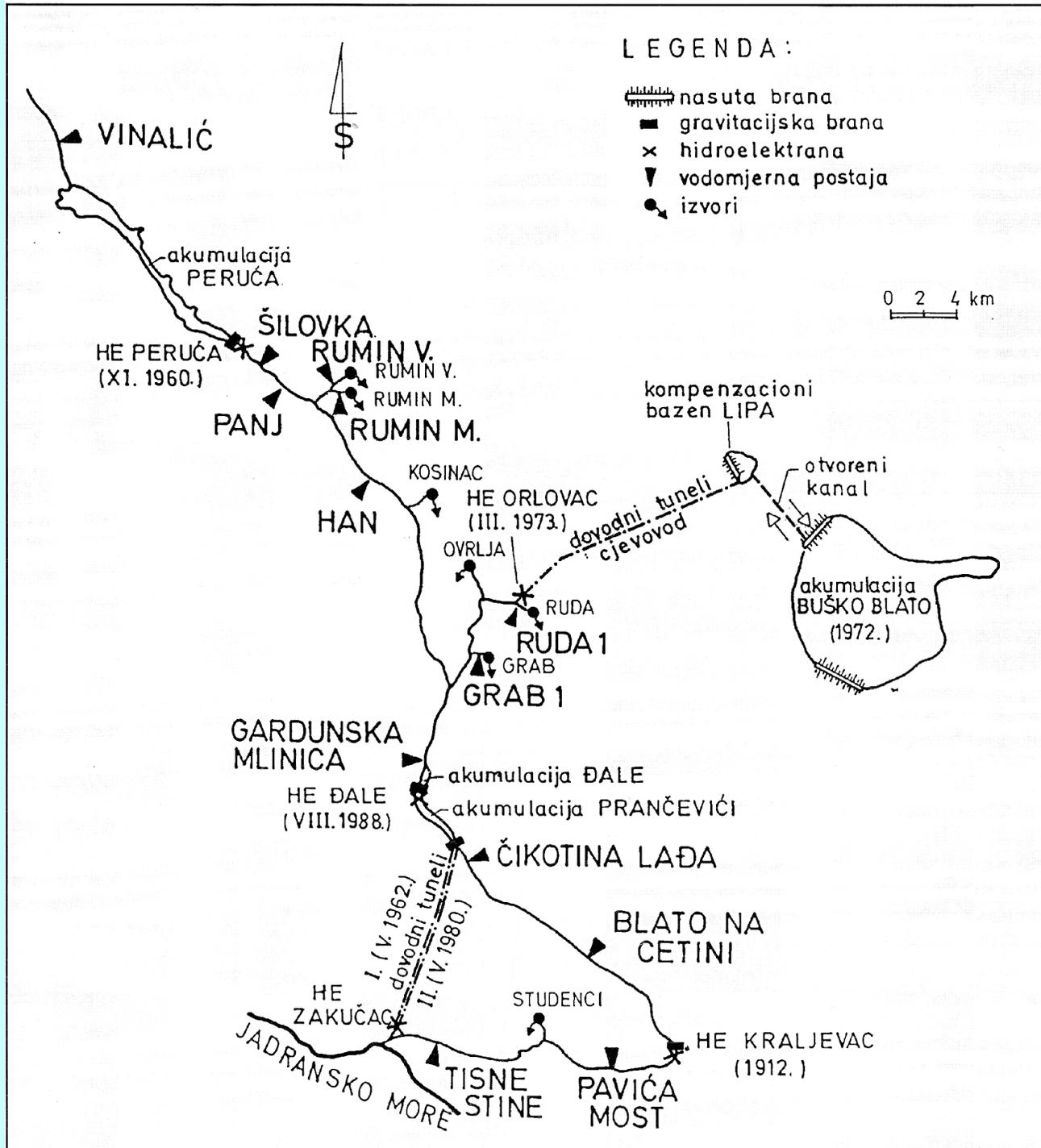
Protoci za postaju Majdan nizvodni

PROTOCI (m³/s) za 1998. godinu

dan	mjesec											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	20,1	6,95	4,3	3,29	8,29	5,71	2,82	1,98	2,39	12	6,01	8,64
2	18,2	6,63	4,3	3,29	7,95	5,13	2,6	1,98	2,39	10,1	5,71	12,9
3	17,3	6,32	4,3	3,29	7,61	4,84	2,6	1,98	2,39	8,64	5,41	13,7
4	15,9	6,32	4,3	3,29	8,64	4,57	2,39	1,98	2,39	7,61	5,41	22,2
5	15	6,95	4,3	3,05	11,6	4,3	2,39	1,98	2,39	6,63	5,41	34
6	14,1	6,63	4,3	3,05	10,5	4,03	2,39	1,79	2,82	6,32	5,41	31
7	13,3	6,32	4,03	3,05	9	4,03	2,39	1,98	2,39	6,95	5,41	25,3
8	12,9	6,01	4,03	3,05	8,29	4,03	2,39	1,98	2,18	8,64	5,41	21,1
9	11,6	6,01	4,03	3,05	7,61	3,78	2,39	1,98	2,6	7,95	5,41	18,2
10	10,9	5,71	4,03	3,05	6,63	3,78	2,39	1,98	2,39	7,61	5,41	16,3
11	10,1	5,71	4,03	3,05	6,63	3,78	2,39	1,98	2,39	7,28	5,41	14,1
12	9,36	5,41	3,78	3,05	6,01	3,78	2,39	1,98	2,39	6,95	6,32	12,4
13	8,64	5,41	3,78	3,05	5,71	3,53	2,39	1,98	4,57	6,32	5,71	11,2
14	7,95	5,41	3,78	2,82	5,41	3,53	2,39	1,98	9,72	5,71	5,41	10,1
15	7,61	5,41	3,78	3,05	5,13	3,53	2,39	1,98	6,32	5,41	12,4	9
16	7,28	5,13	3,78	4,3	5,13	3,53	2,39	1,98	4,84	5,41	16,3	8,64
17	6,95	5,13	3,78	6,95	4,84	3,53	2,39	1,98	4,84	5,41	14,1	8,29
18	6,95	5,13	3,78	7,95	4,84	3,29	2,39	1,98	6,32	5,41	12	7,95
19	6,95	4,84	3,53	10,5	4,57	3,29	2,39	1,98	5,41	5,13	10,1	7,28
20	22,2	4,84	3,53	12	4,3	3,29	2,39	1,98	4,84	5,71	8,64	6,95
21	22,2	4,84	3,53	10,9	4,3	3,05	2,39	2,18	4,03	8,64	7,61	10,9
22	18,2	4,84	3,53	9	4,3	3,05	2,39	2,39	3,78	7,95	6,95	22,7
23	15,4	4,84	3,53	7,95	4,3	3,05	2,39	2,39	3,78	7,61	6,32	17,7
24	13,3	4,57	3,53	6,63	4,03	3,05	2,39	2,18	3,53	7,28	6,32	15
25	12	4,57	3,29	6,01	5,13	3,05	2,39	2,18	3,53	6,63	7,28	13,3
26	10,5	4,57	3,29	5,71	15	3,05	2,39	2,18	3,53	9,72	13,7	11,6
27	9,72	4,3	3,29	5,41	11,6	3,05	2,39	2,18	5,71	10,1	15	10,9
28	8,64	4,3	3,29	5,13	9,36	3,05	2,18	2,18	29,8	8,64	12,9	9,36
29	8,29		3,05	8,64	7,95	2,82	2,18	2,39	18,7	7,61	10,9	8,64
30	7,61		3,05	9	6,95	2,82	2,18	2,18	14,1	7,28	9,72	8,29
31	6,95		3,05		6,01		2,18	2,39		6,63		7,95
min.	6,95	4,30	3,05	2,82	4,03	2,82	2,18	1,79	2,18	5,13	5,41	6,95
sr.	12,13	5,47	3,74	5,42	7,02	3,64	2,39	2,07	5,55	7,40	8,27	14,05
maks.	22,20	6,95	4,30	12,00	15,00	5,71	2,82	2,39	29,80	12,00	16,30	34,00
sr. god.		6,44										

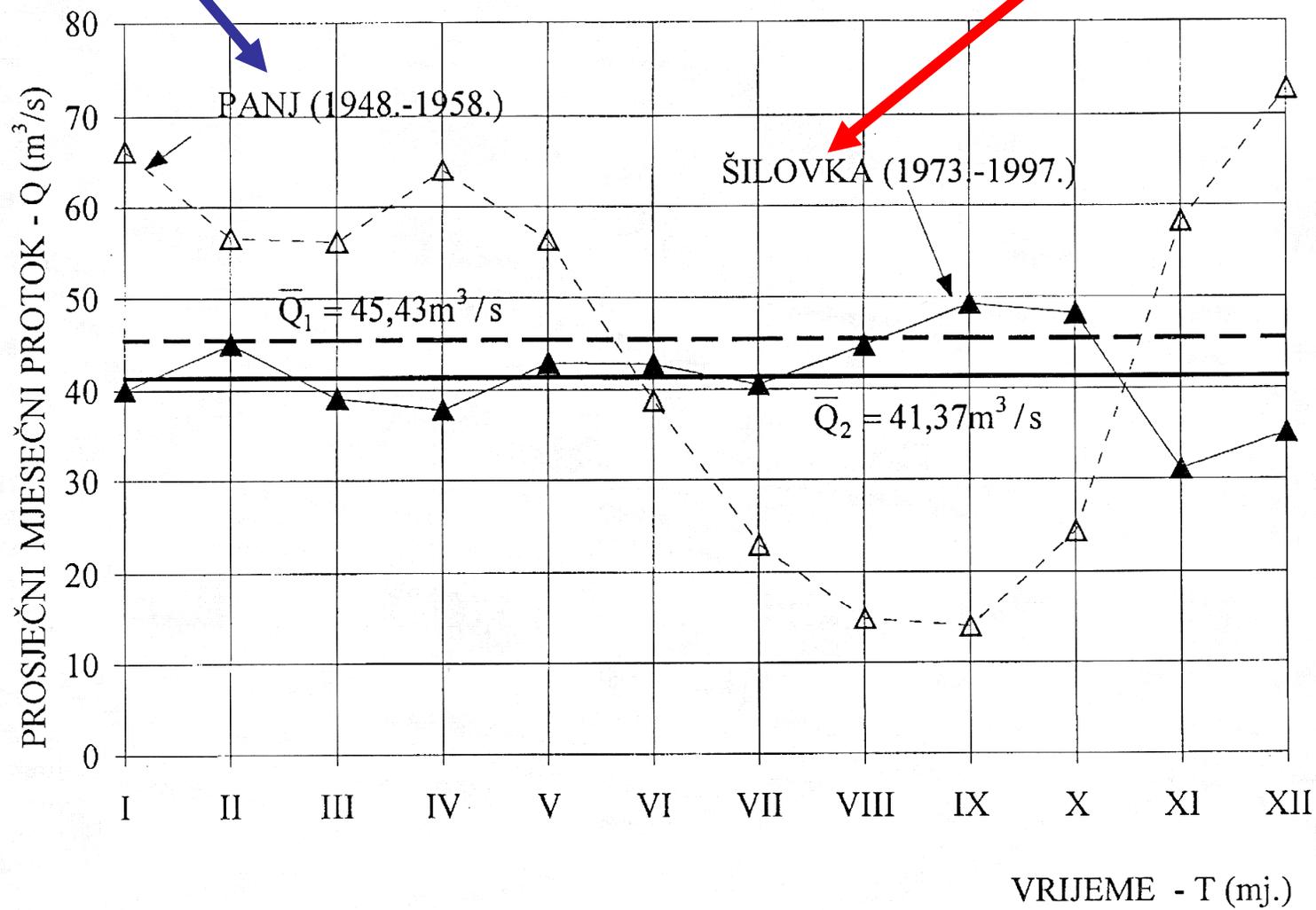
GODIŠNJI PREGLED SREDNJIH DNEVNIH PROTOKA JADRA NA STANICI MAJDAN NIZVODNI ZA 1998. GODINU
PROTOCI SU IZRAŽENI U m³/s

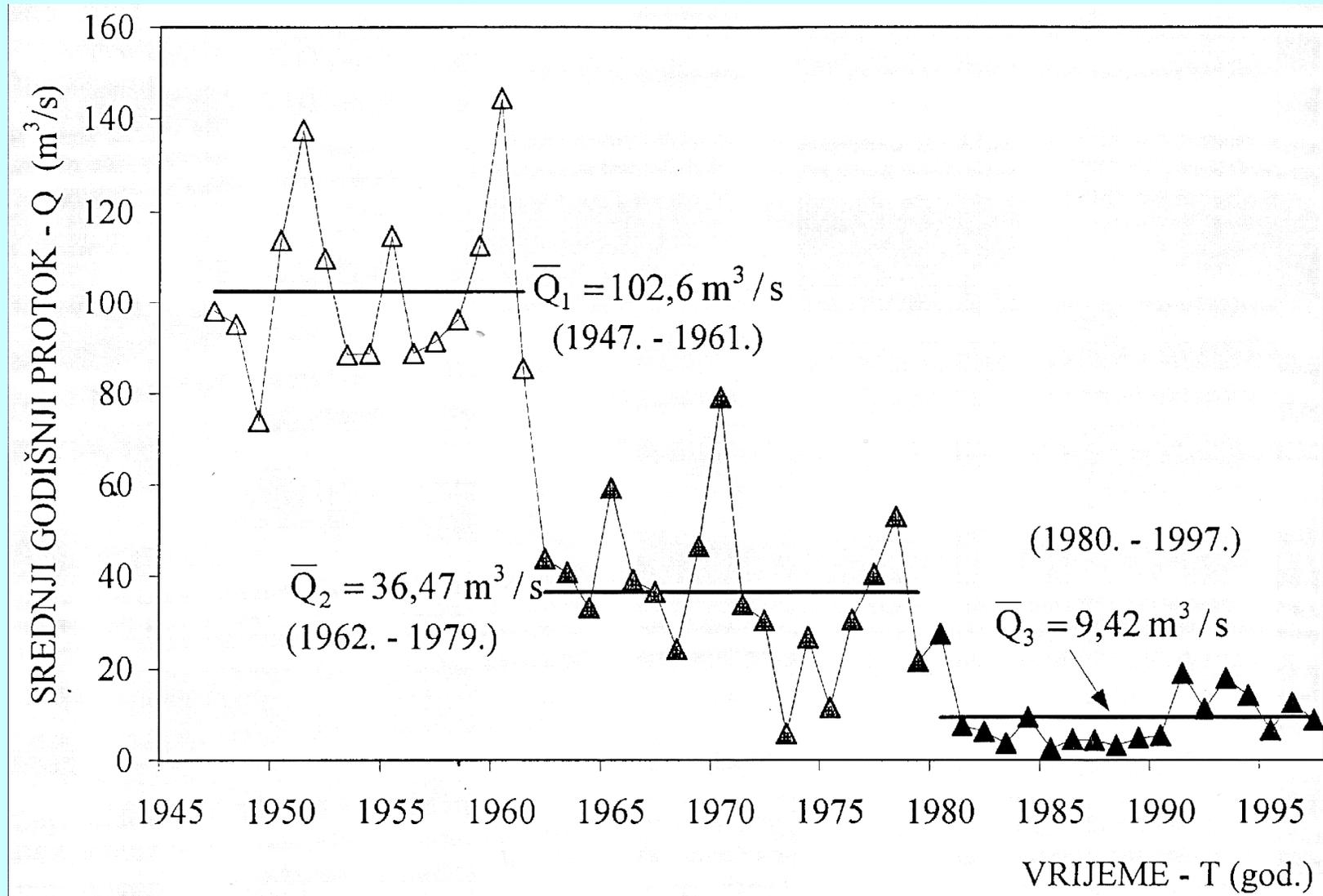
SITUACIJA RIJEKE CETINE



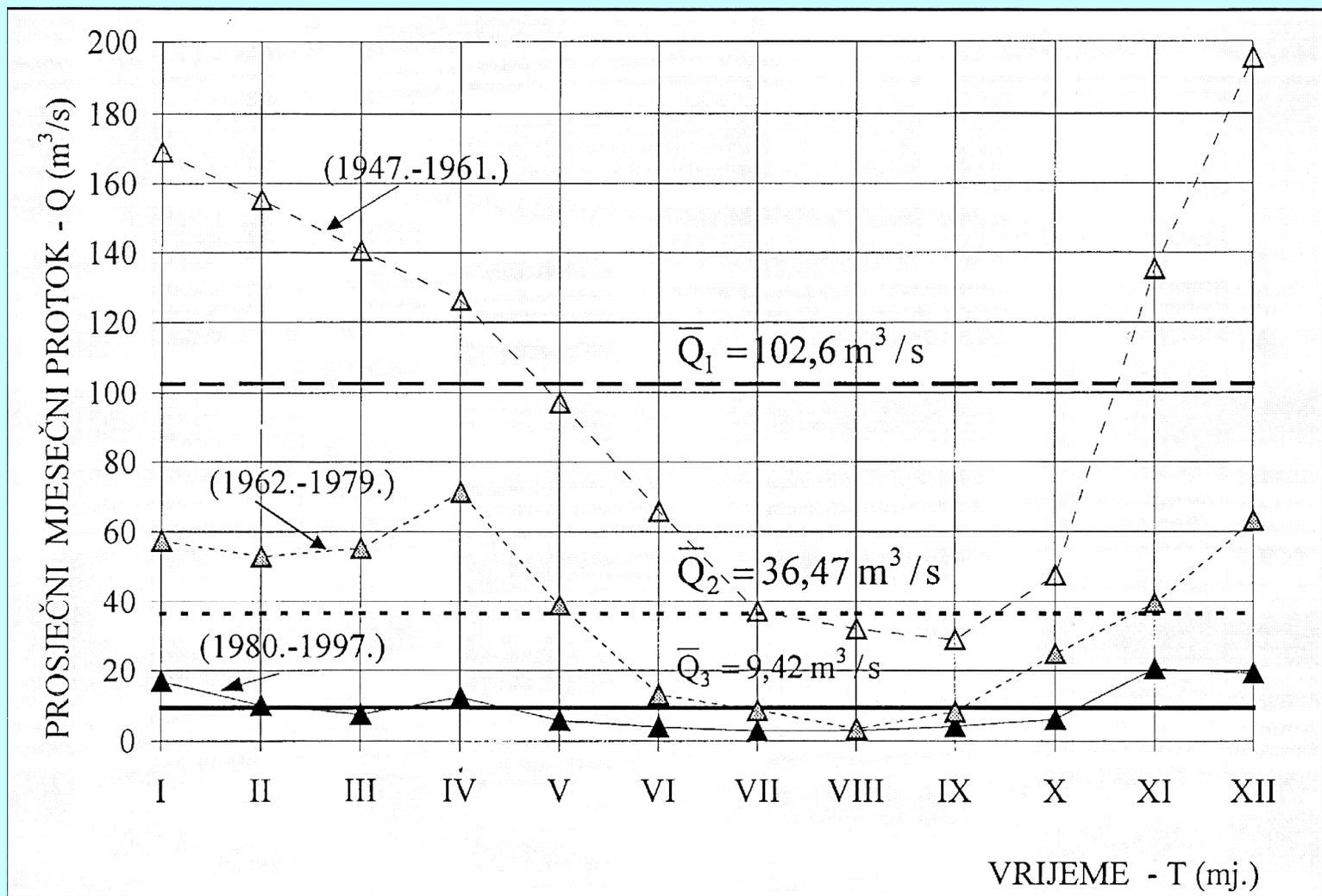
PRIJE IZGRADNJE PERUČE

POSLIJE IZGRADNJE PERUČE





NIZ SREDNJIH GODIŠNJIH PROTOKA CETINE NA STANICI BLATO NA CETINI



HOD PROSJEČNIH MJESEČNIH PROTOKA CETINE NA STANICI BLATO NA CETINI U PRIRODNOM STANJU (1947-1961.), TIJEKOM RADA PRVOG CJEVOVODA HE ZAKUČAC (1962.-1979.) TE U RAZDOBLJU RADA OBA CJEVOVODA (1980.-1997.)