

## **direktno otjecanje, sliv i hidrografska mreža**

**direktno otjecanje:** *površinsko i brzo podpovršinsko otjecanje od konkretnog oborinskog događaja*

**sliv:** *područje sa kojeg voda dotječe u promatrani recipijent (ocean, more, jezero, rijeku, potok)*

**orografski sliv:** *sliv direktnog otjecanja (površinskog i brzog podpovršinskog)*

**hidrogeološki sliv:** *sliv podzemnog otjecanja*

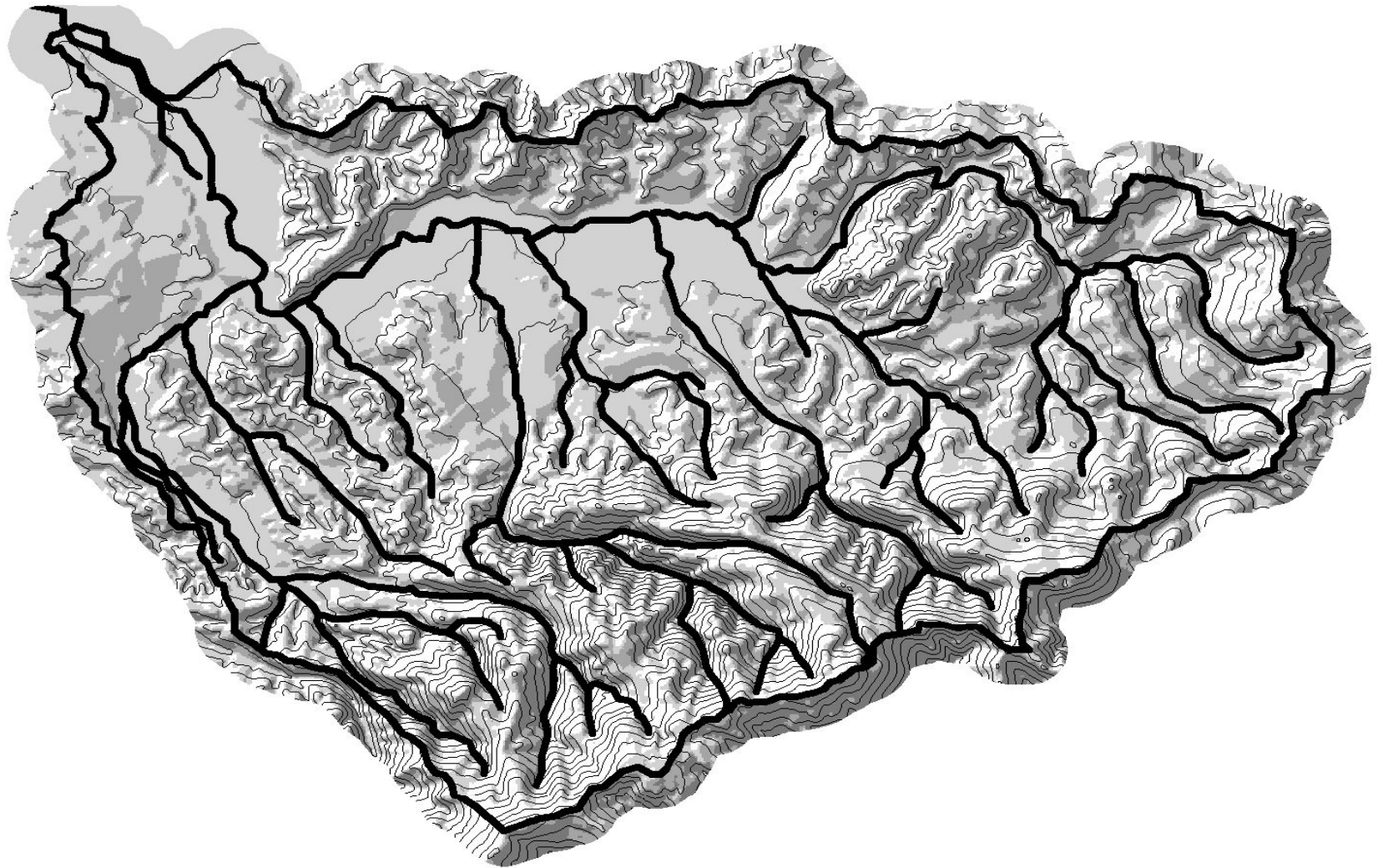
**topografska razvodnica (vododjelnica):** *granična crta između susjednih slivova, određuje se na topografskoj karti, najčešće kao spojnoc najviših točaka terena.*

**hidrogeološka razvodnica:** *granična ploha između susjednih slivova podzemnog otjecanja; određuje se na osnovu hidrogeoloških karakteristika podzemnih slojeva; na topografskoj karti predstavlja crtu koja se često ne poklapa s topografskom razvodnicom.*

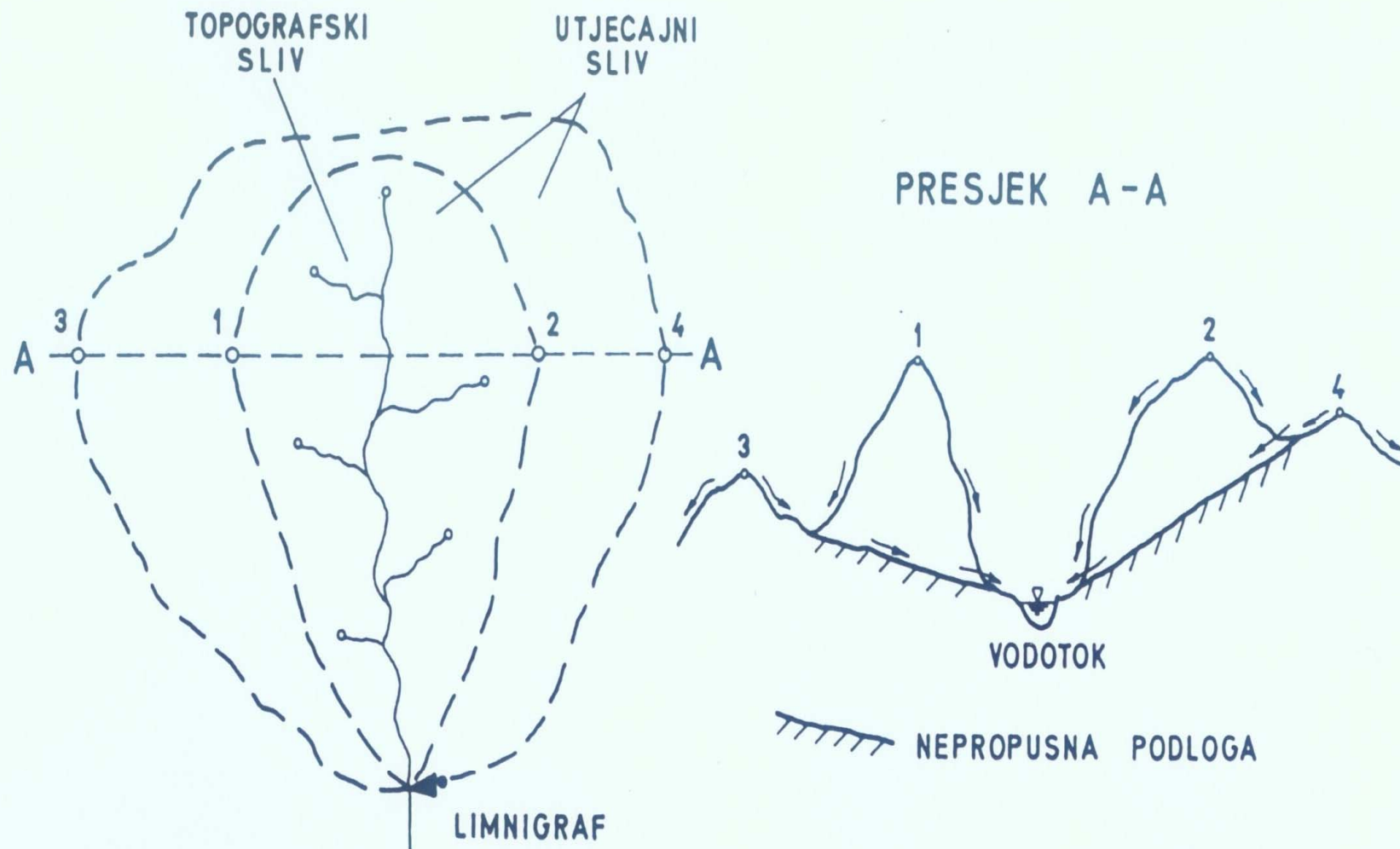
**utjecajni sliv:** *ukupni sliv - objedinjuje površinski i podzemni sliv*

**hidrografska mreža:** *mreža površinskih vodotoka i stajačica (jezera, močvara, ribnjaka)*

## Primjer sliva s riječnom mrežom

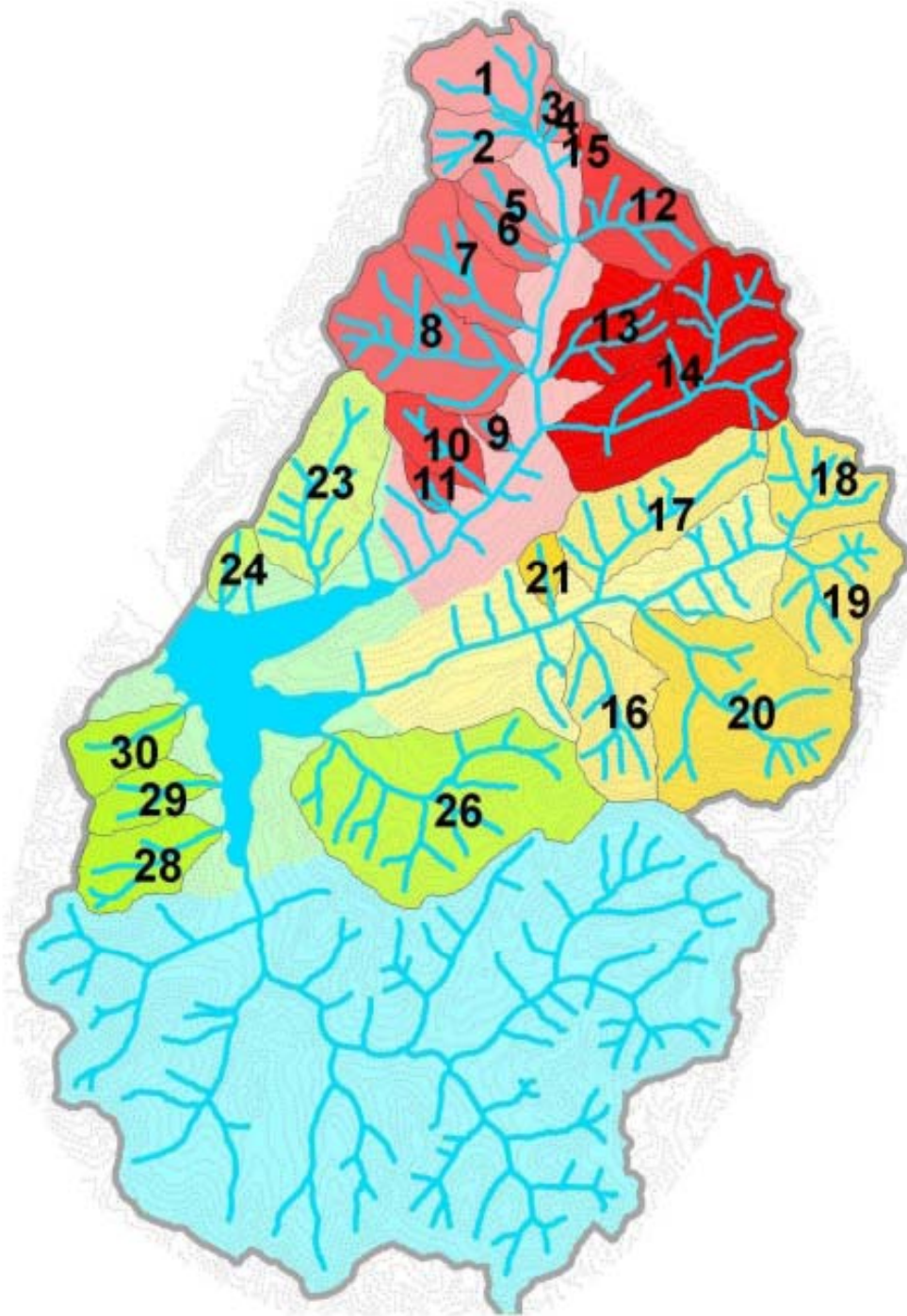


# shematski prikaz utjecajnog sliva

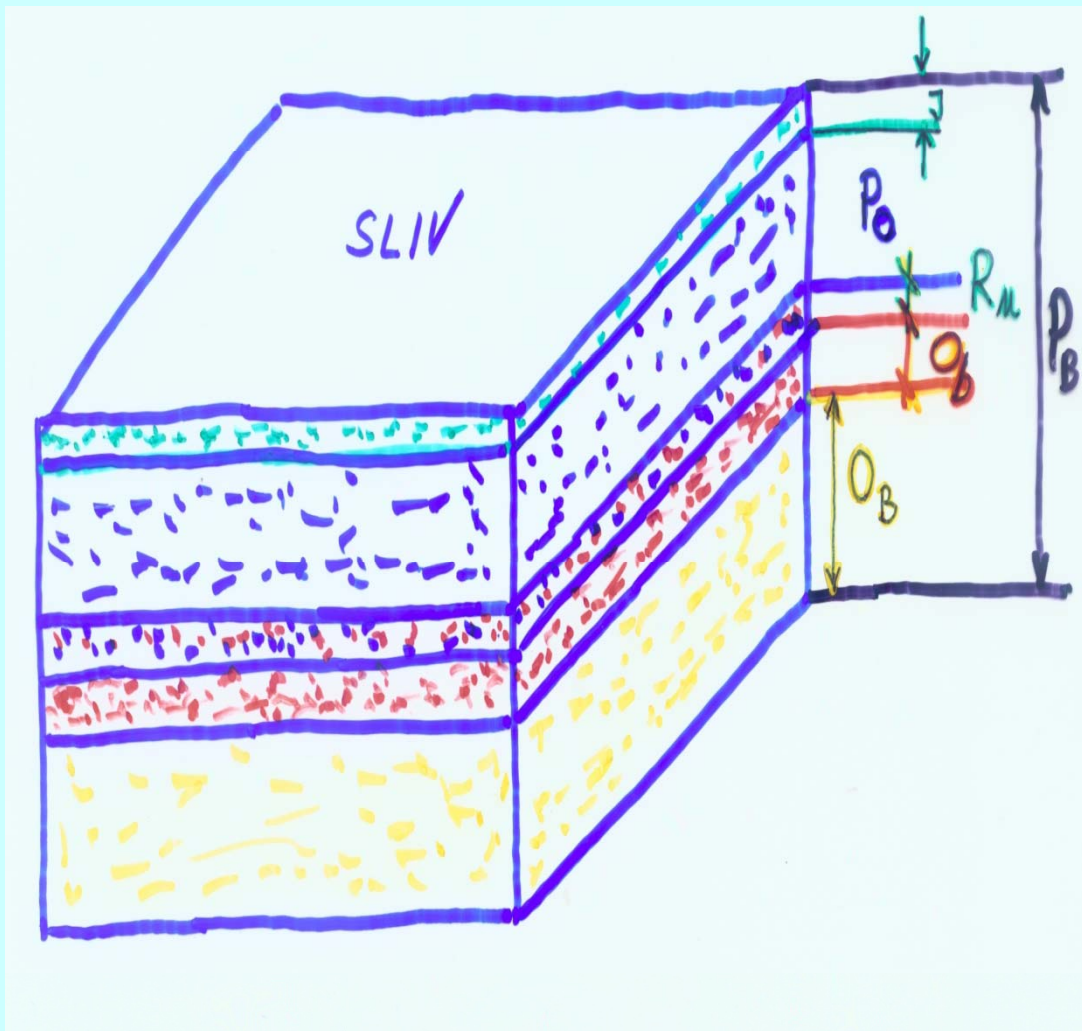




Primjer podjele  
sliva na podslivove



# Shema razdiobe pale oborine na kopnu



**PB** – bruto oborina

**I** – intercepcija

**PO** – površinsko otjecanje

**Ru** – voda u udolinama  
(retenciranje)

**Ob** – podzemno brzo  
otjecanje

**OB** – podzemno bazno  
otjecanje

## Iskazivanje otjecanja

Protok u vodotocima:  $Q = A \cdot v$

$Q$  – protok u [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] ili [ $\text{l/s}$ ]

$A$  – površina protočnog presjeka [ $\text{m}^2$ ]

$v$  – brzina tečenja u [ $\text{m/s}$ ], mjeri se

Specifični dotok:  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ] ili  $q$  [ $\text{l/s/ha}$ ]

*realizirani protok u koritu vodotoka  
podjeljen sa površinom sliva sa kojeg  
se događa otjecanje*

Otjecanje kao dio ukupno pale oborine:

$$O = P_e \quad [\text{mm}] \text{ ili } [\text{l}/\text{m}^2] \text{ ili } [\text{m}^3/\text{ha}] \text{ ili } [\text{m}^3/\text{km}^2]$$

$$(1 [\text{mm}] \text{ oborine} = 1 [\text{l}/\text{m}^2])$$

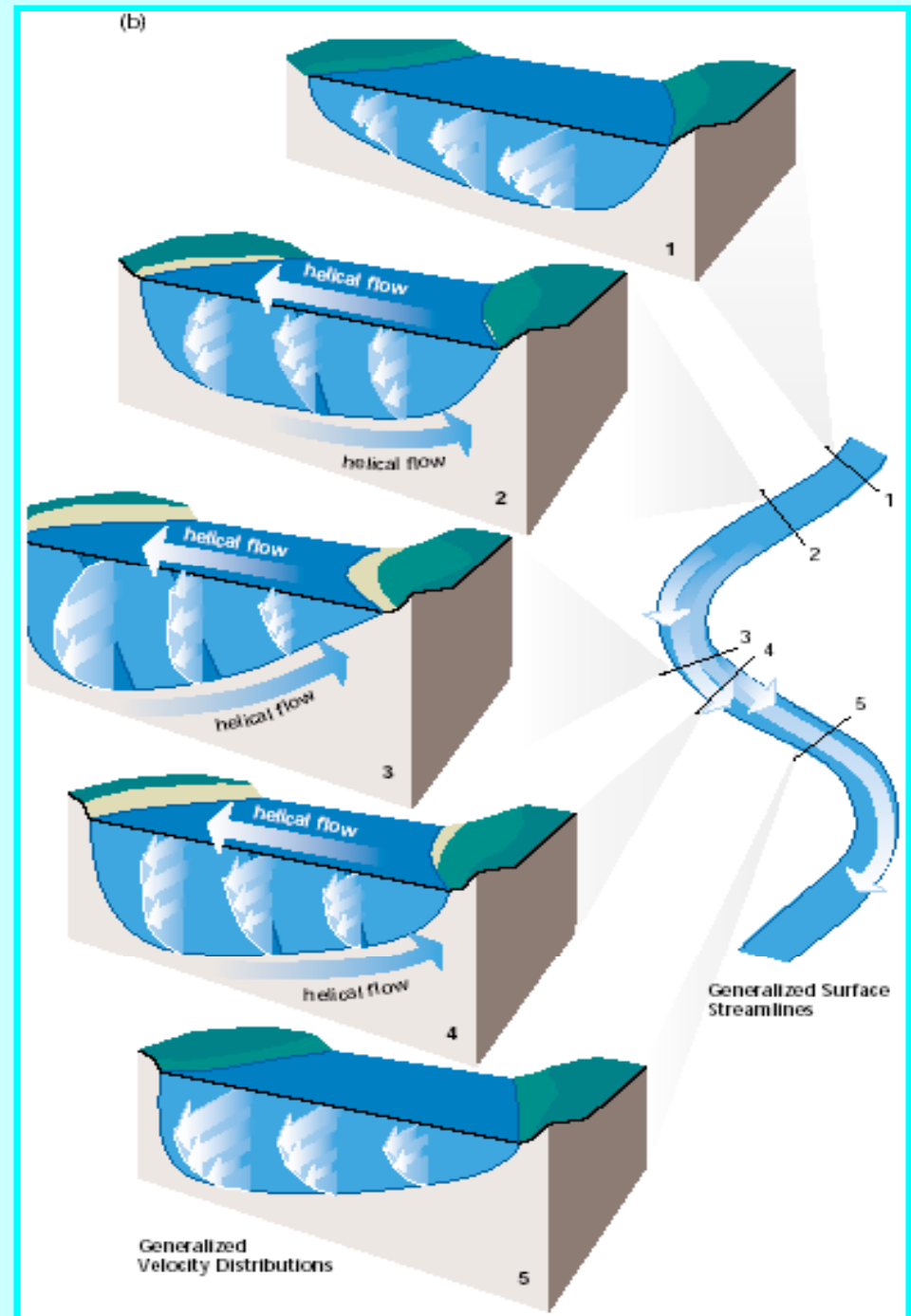
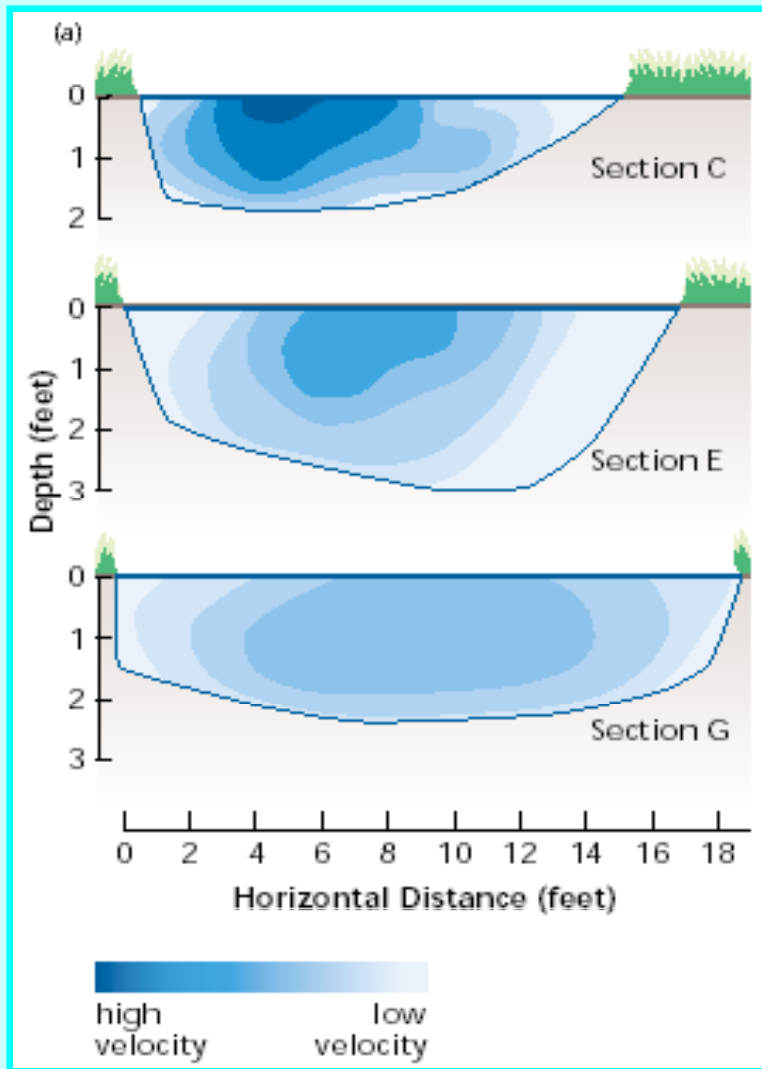
$P_b$  : brutto oborina – *ukupno pala oborina*

$P_e$  : efektivna oborina – *dio pale oborine koji direktno otjeće*

koeficijent otjecanja:  $c = \frac{P_e}{P_b}$

Otjecanje:  $O = P_e = c \cdot P_b$

# razdioba brzina u koritu vodotoka

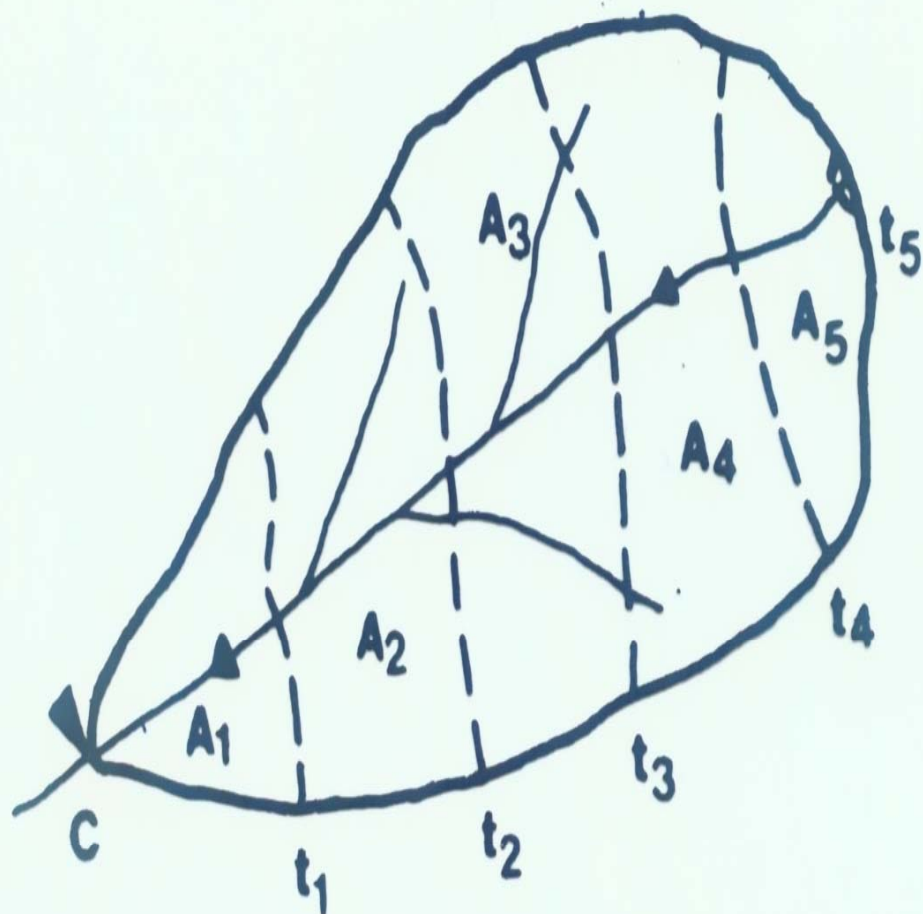


# Vrijeme koncentracije površinskog otjecanja

- **Vrijeme koncentracije** (sabiranja):  $t_c$  [h] je vrijeme koje je potrebno da čestica vode s najudaljenije točke sliva dospije do mjesta opažanja protoka u vodotoku;
- u hidrološkim analizama ukupno  $t_c$  se obično dijeli na dva dijela:
- 1) vrijeme tečenja po površini sliva:  $t_s$  [h] (*vrijeme površinskog sabiranja*);
- 2) vrijeme tečenja u vodotocima nižeg i **višeg** reda:  $t_v$  [h],
- prema tome:  $t_c = t_s + t_v$
- za određivanje  $t_s$ : metode su poluempirijske i nepouzdana, s hidrauličkom osnovom
- za određivanje  $t_v$ : imamo pouzdanije hidrauličke metode;
- utjecajni čimbenici: koeficijent hrapavosti, srednji pad, duljina. puta, visina oborina, i dr.
- odnos  $t_s/t_v$  uzima se kod kategorizacije veličine slivova:
- kod malih je slivova  $t_s > t_v$ ; kod velikih slivova je  $t_v > t_s$ ,



**Izokrone:** crte koje spajaju točke jednakog trajanja putovanja čestica vode do izlaznog profila



$t_1, t_2, \dots, t_i$  : izokronalna vremena

$\dot{i}_1, \dot{i}_2, \dots, \dot{i}_i$  : intenziteti oborine

$f_1, f_2, \dots, f_i$  : gubici (*infiltracija*)

otjecane u trenutku  $t_1$  nakon početka kiše :

$$Q_1 = (\dot{i}_1 - f_1)A_1$$

otjecane u trenutku  $t_2$  nakon početka kiše :

$$Q_2 = (\dot{i}_2 - f_2)A_1 + (\dot{i}_1 - f_1)A_2$$

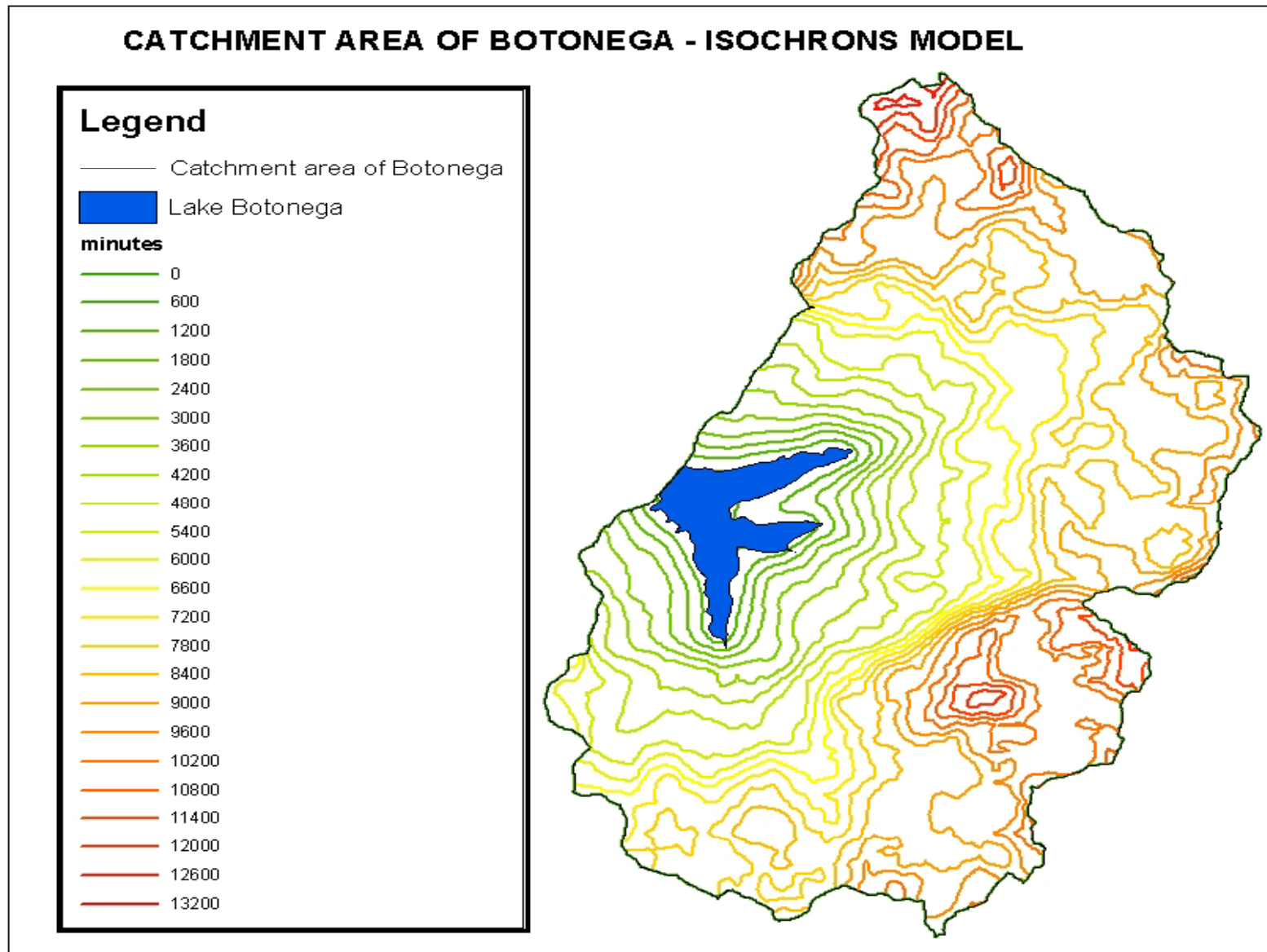
otjecane u trenutku  $t_3$  nakon početka kiše :

$$Q_3 = (\dot{i}_3 - f_3)A_1 + (\dot{i}_2 - f_2)A_2 + (\dot{i}_1 - f_1)A_3$$

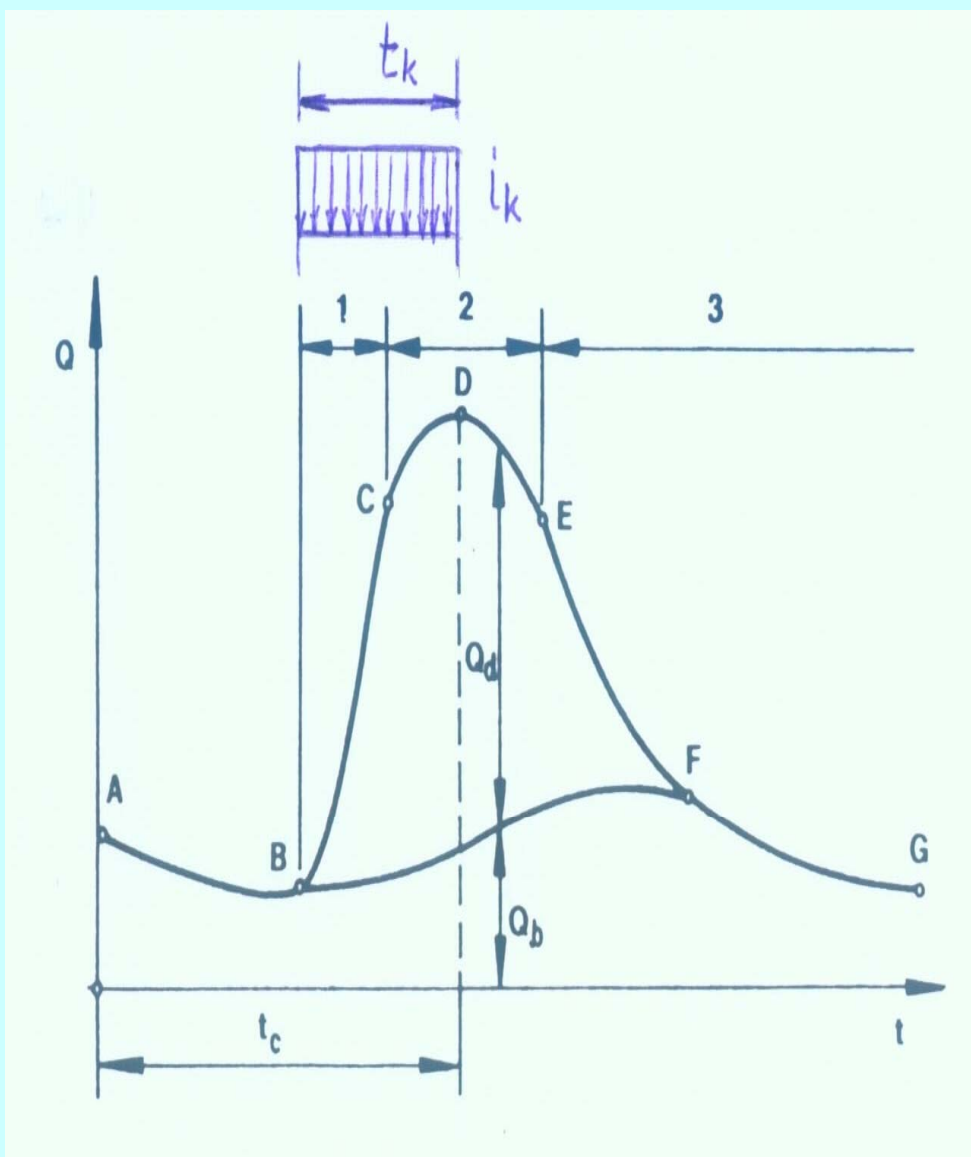
$$Q_i = (\dot{i}_i - f_i)A_1 + (\dot{i}_{i-1} - f_{i-1})A_2 +$$

$$+ (\dot{i}_{i-2} - f_{i-2})A_3 + \dots + (\dot{i}_1 - f_1)A_i$$

# primjer karte izokrona



# grafički prikaz otjecanja - hidrogram



Osnovna hidrološka veličina:

$$Q = F \cdot v \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$F$  ... površina protočnog presijeka

$v$  ... brzina tečenja

**Hidrogram:  $Q = f(t)$**

1 - razdoblje porasta ili razdoblje povećanja protoka

2 - razdoblje vršnog dijela (kulminacijski period)

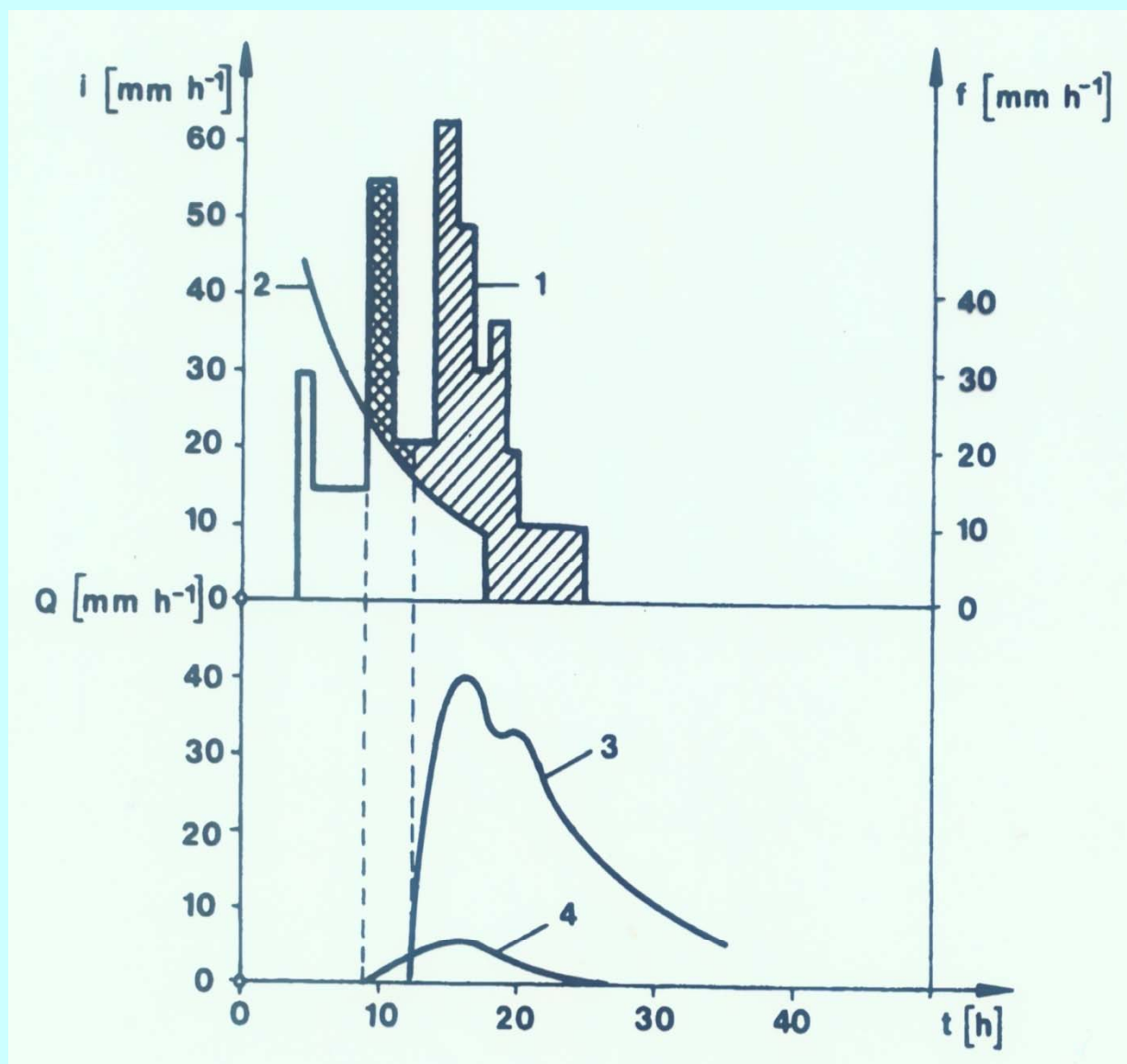
3 - razdoblje opadanja (period recesije)

D - vršni protok (u formiranju protoka sudjeluje cijeli sliv ako je  $t_k = t_c$ ;  $t_k$  - trajanje kiše,  $t_c$  - vrijeme koncentracije otjecanja)

$Q_d$  - direktno otjecanje

$Q_b$  - bazno otjecanje

# Grafički prikaz pluviograma i hidrograma otjecanja



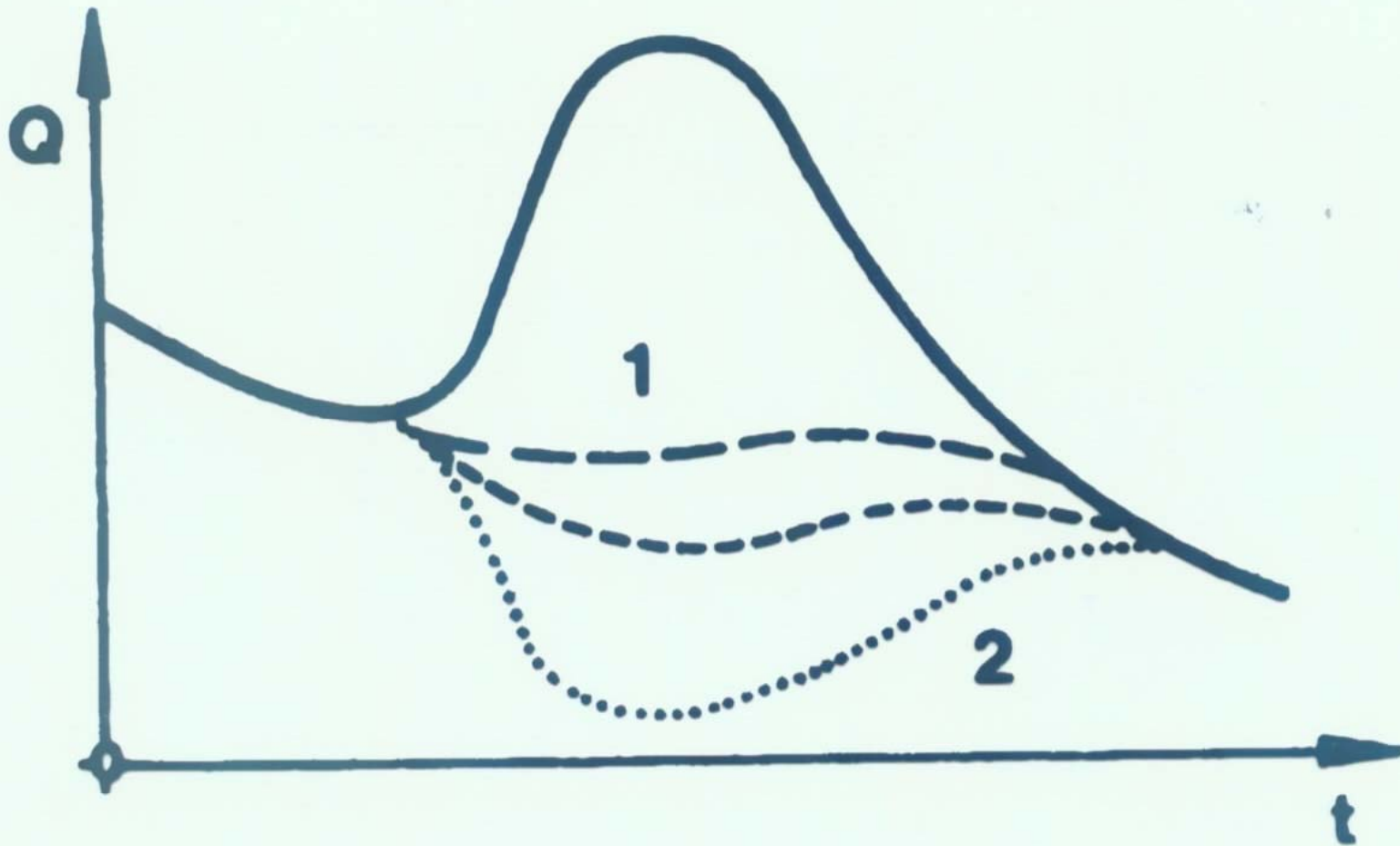
**1- oborine**

**2 - upijanje**

**3 - otjecanje**

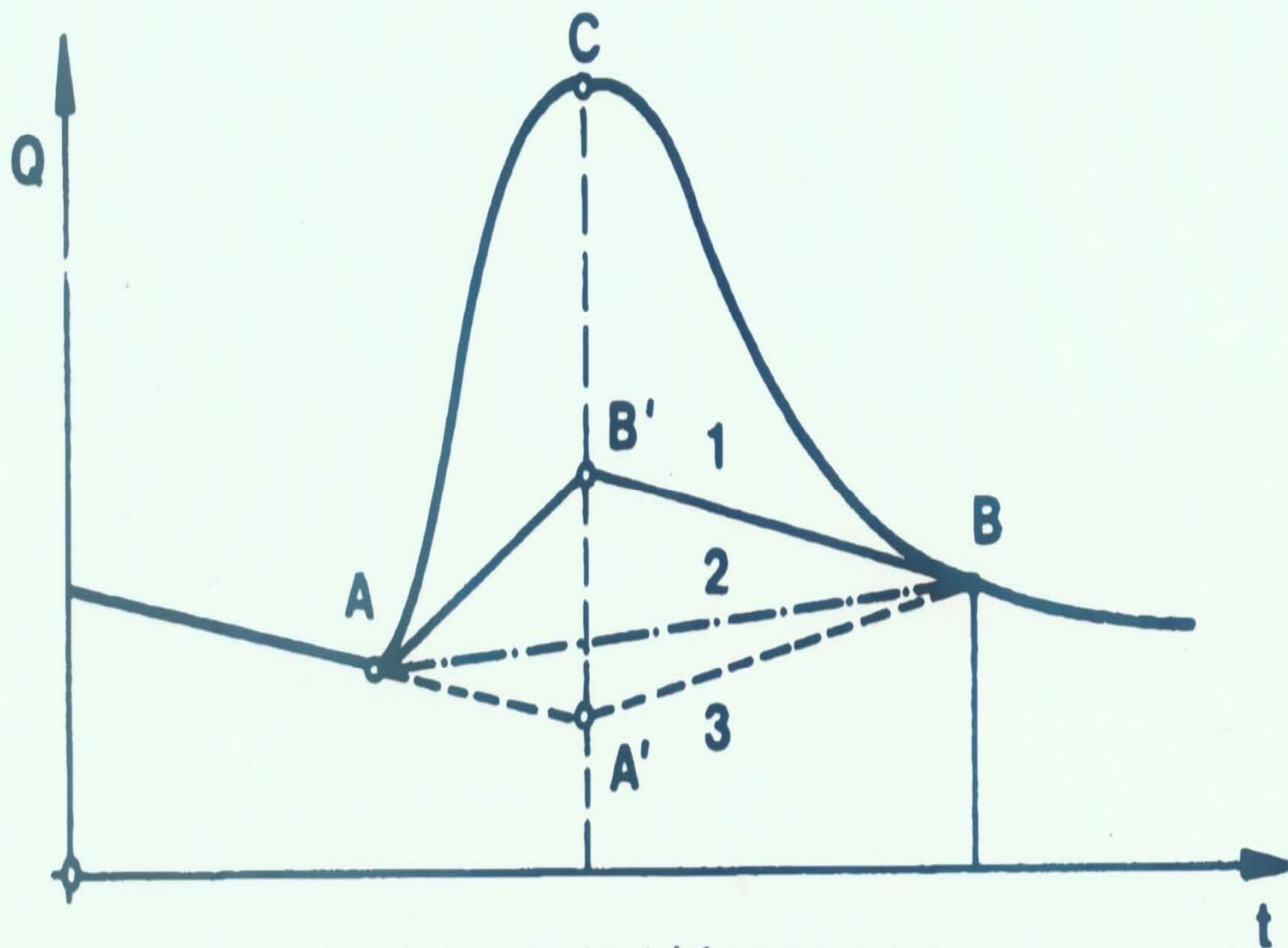
**4 - zadržavanje  
u udolinama**

## Mogući oblici hidrograma direktnog i baznog otjecanja

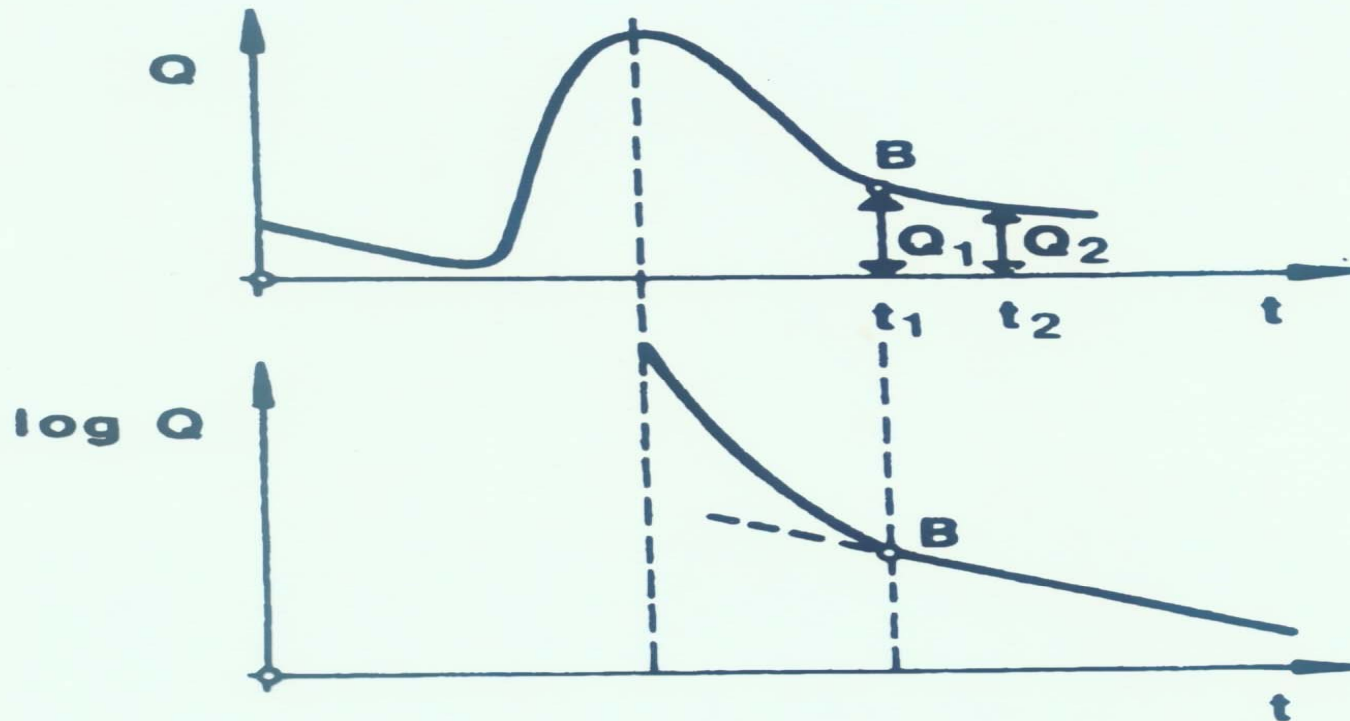




## Uobičajeni postupci razdvajanja hidrograma



## Određivanje točke B – prestanak direktnog otjecanja



Aproksimacija padajućeg kraka hidrograma:

$$Q_2 = Q_1 \cdot e^{-\alpha(t_2 - t_1)}$$

$\alpha$  – koeficijent ( $\alpha = 0,003$  do  $0,03$ )

crtanjem  $Q$  u logartamskom i  $t$  u normalnom mjerilu bazno otjecanje pokazuje linearnost opadanja

# Hidrogrami s pravilnih, glatkih i nepropusnih površina

1)  $t_{o1} < t_c$

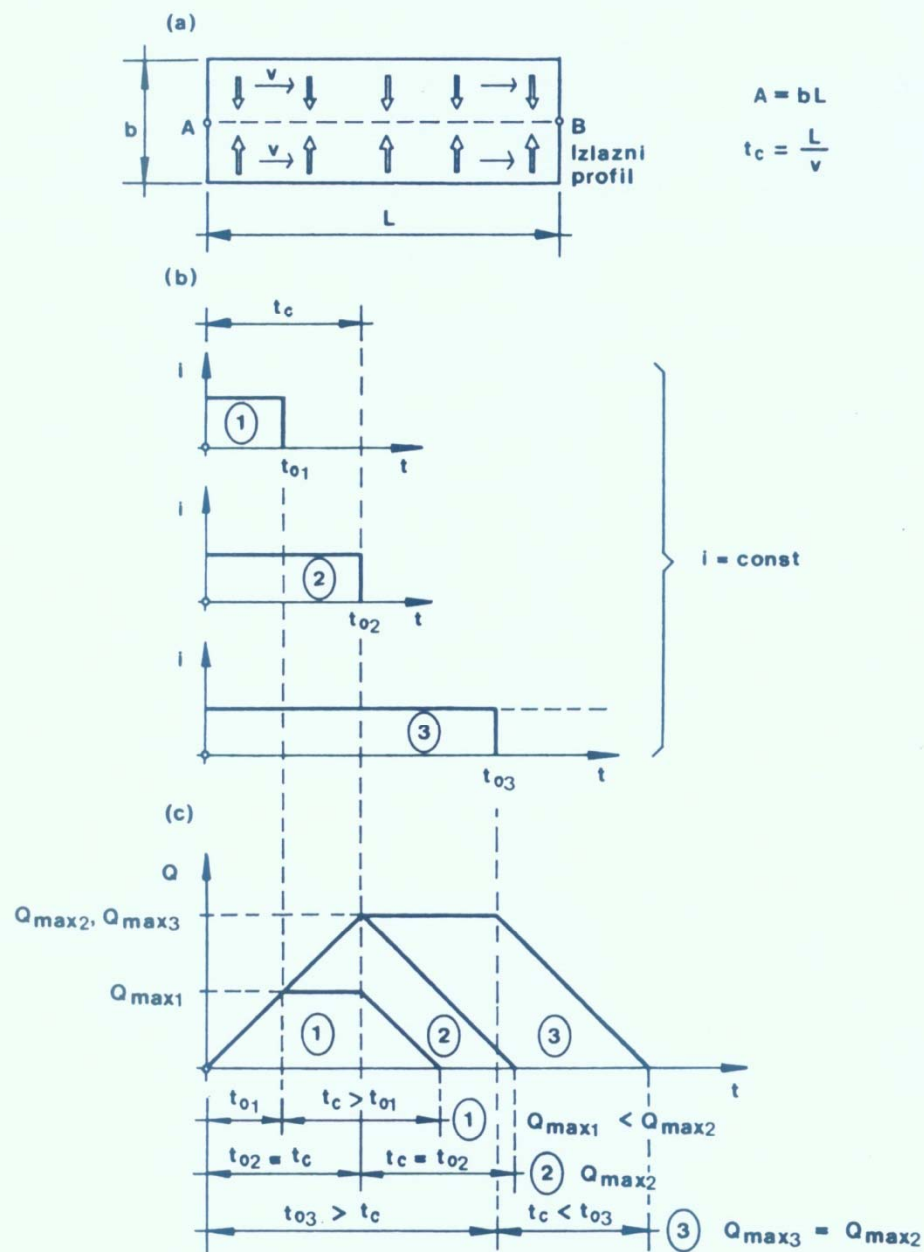
$$Q_{\max} = i \cdot A \cdot t_{o1}/t_c$$

2)  $t_{o2} = t_c$

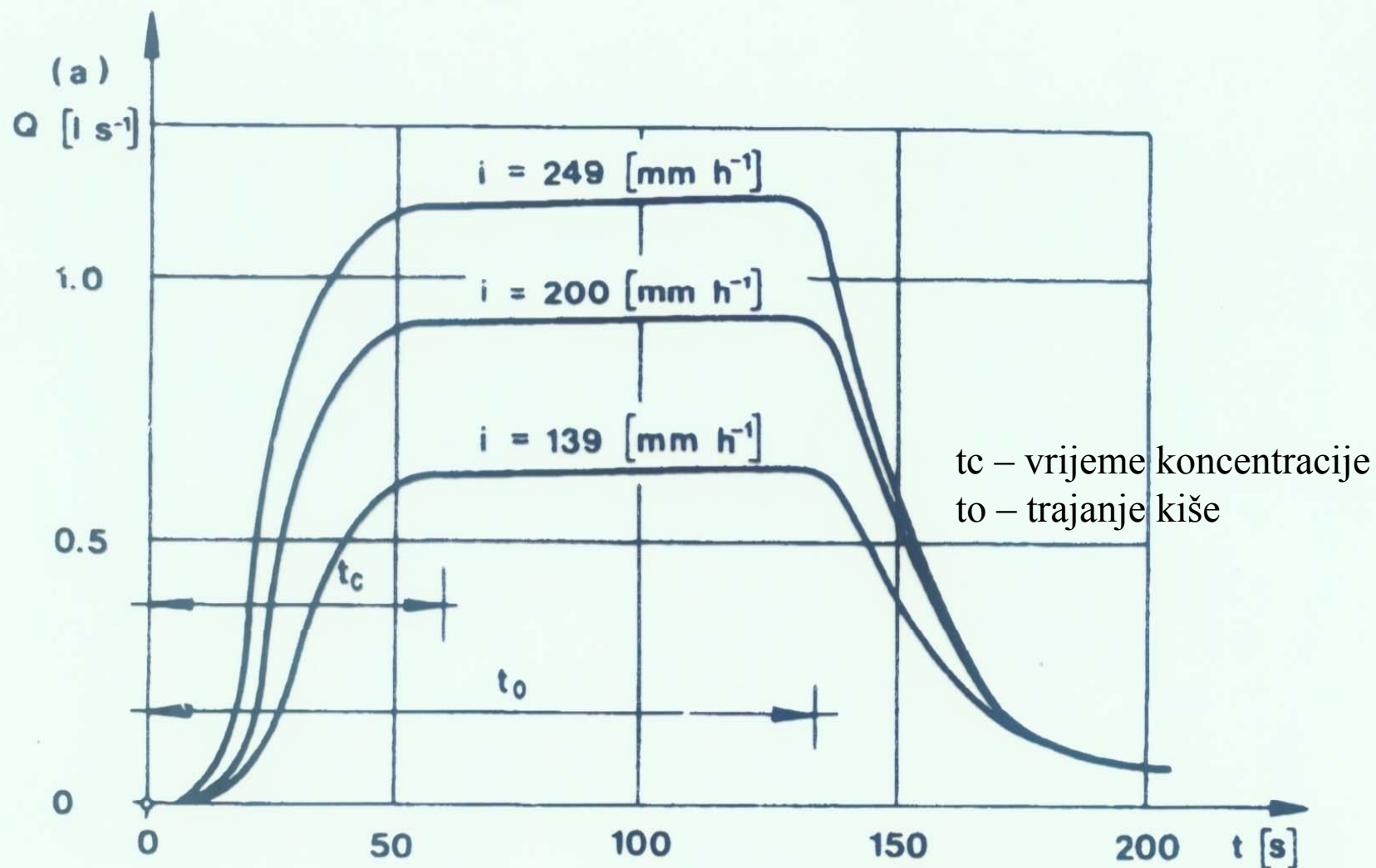
$$Q_{\max} = i \cdot A$$

3)  $t_{o3} > t_c$

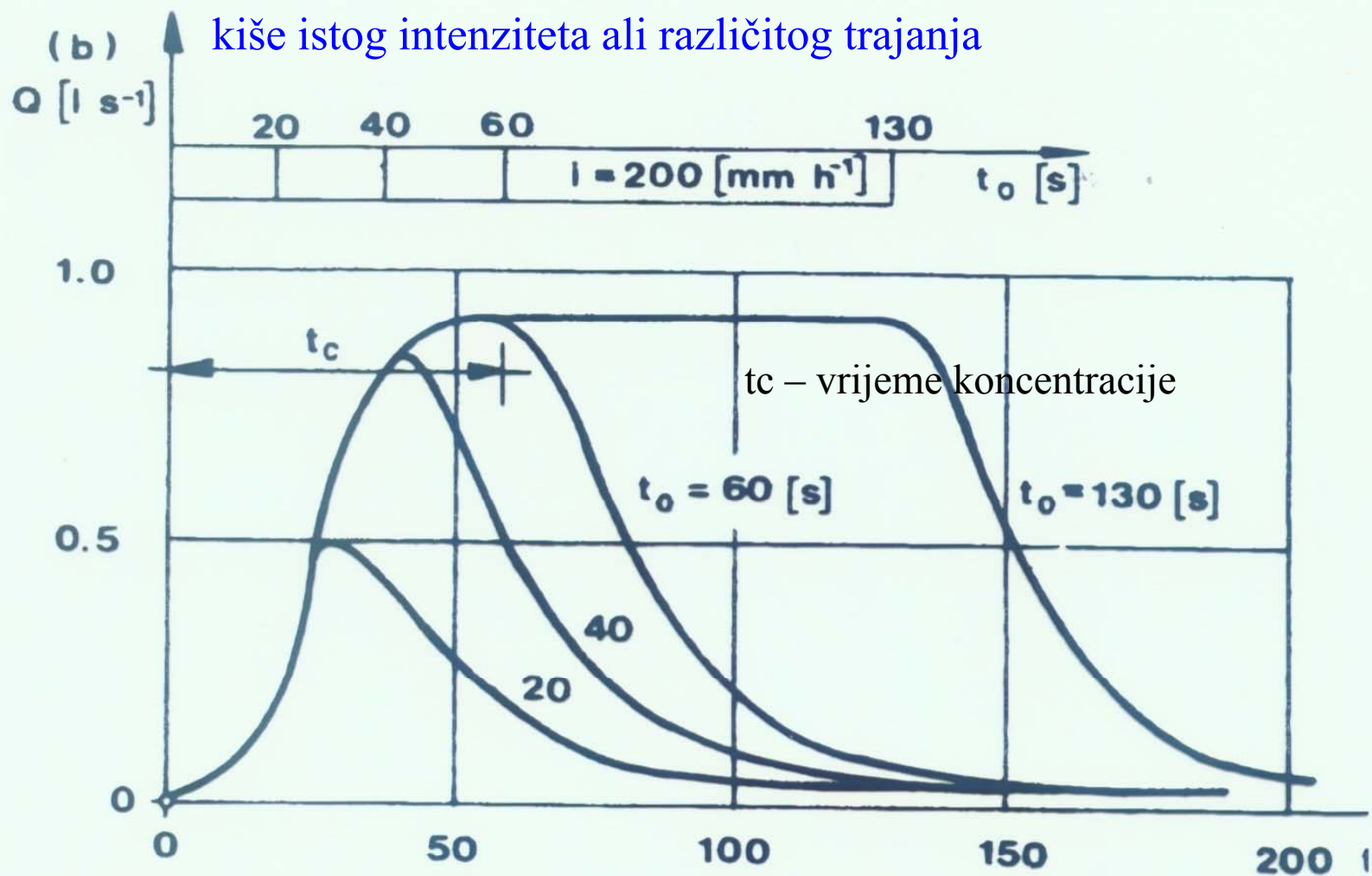
$$Q_{\max} = i \cdot A$$



# Utjecaj intenziteta oborine na oblik hidrograma

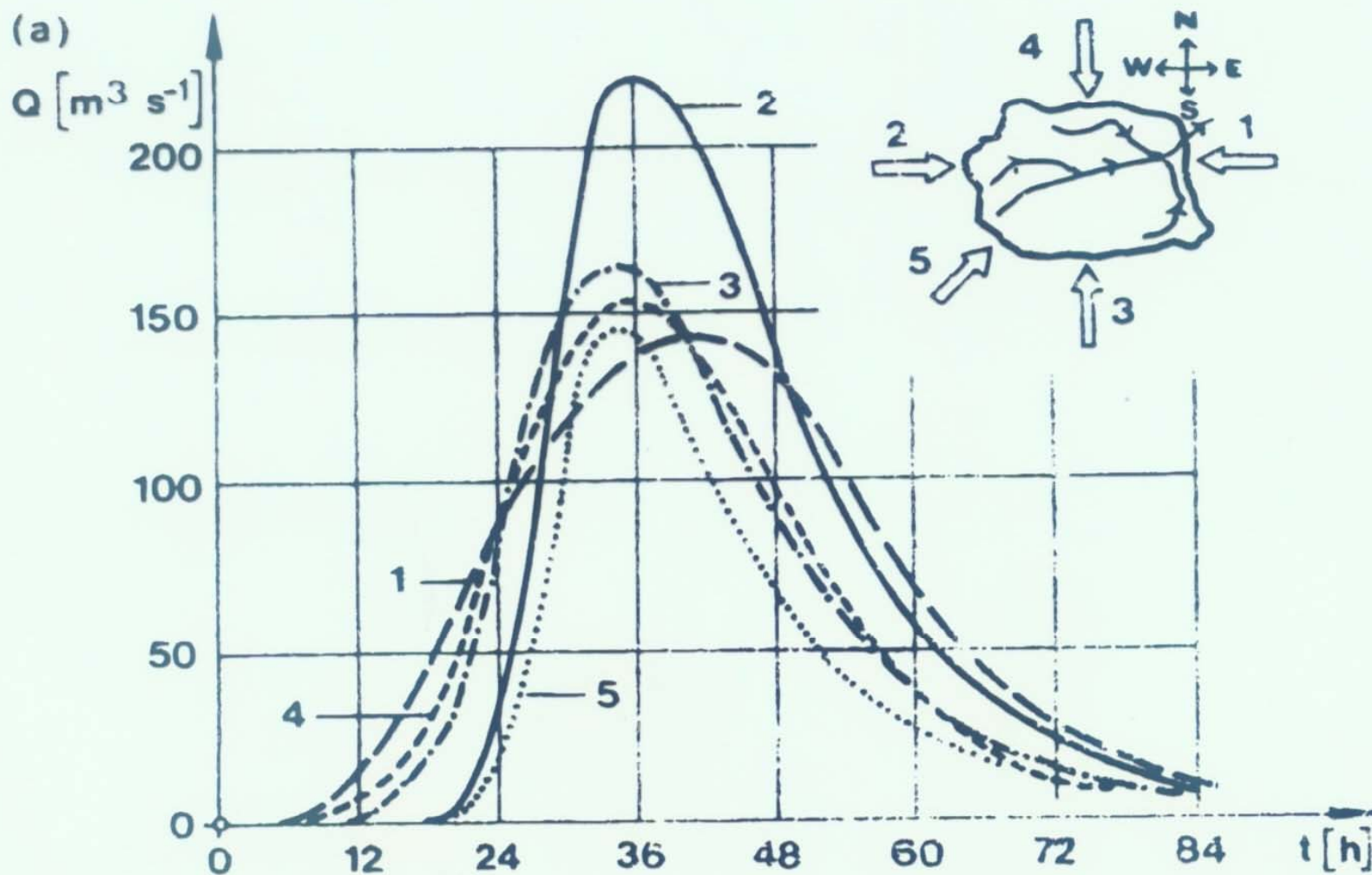


# Utjecaj trajanja oborine na oblik hidrograma

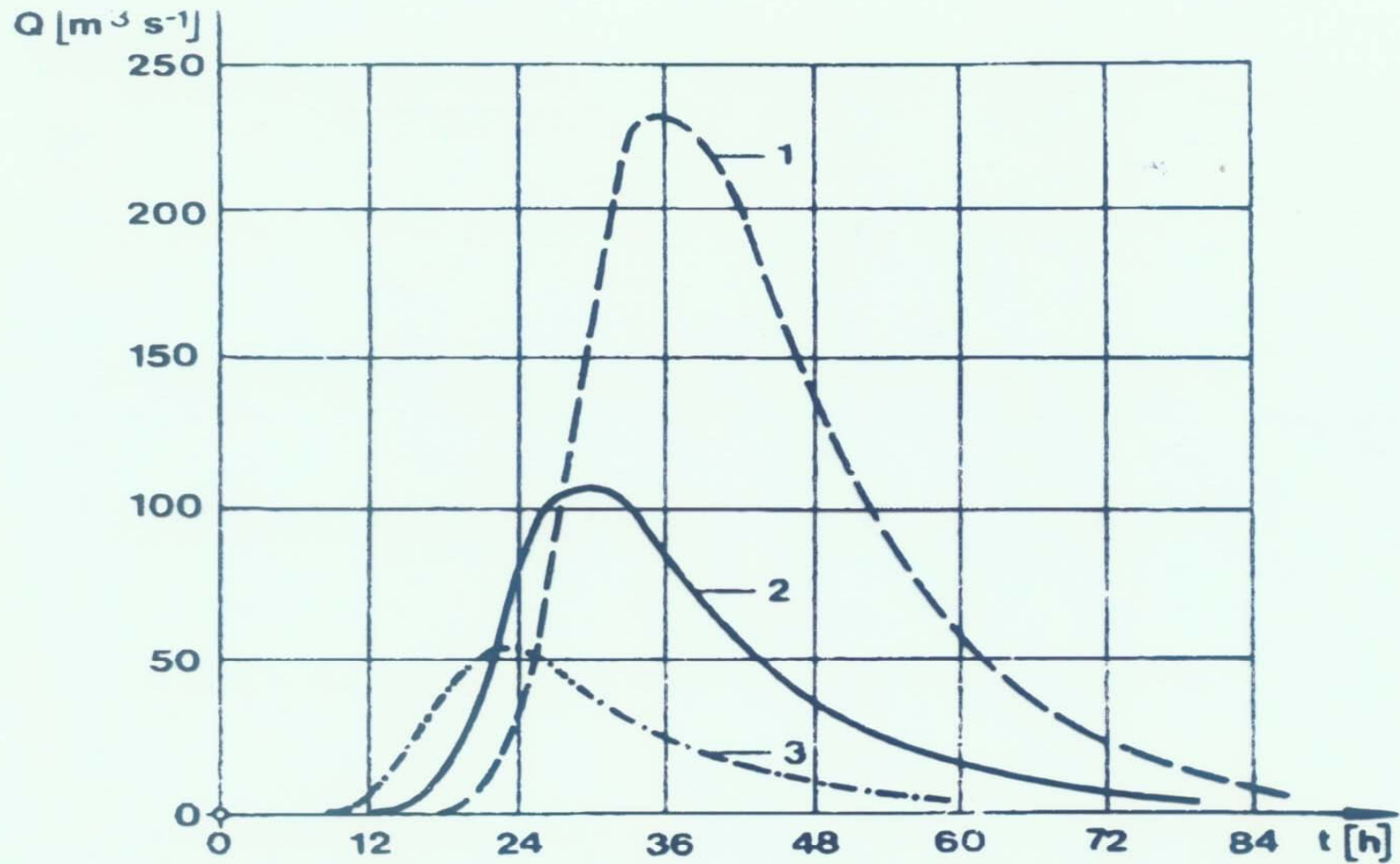




# Utjecaj smjera kretanja pojave kiše na hidrogram

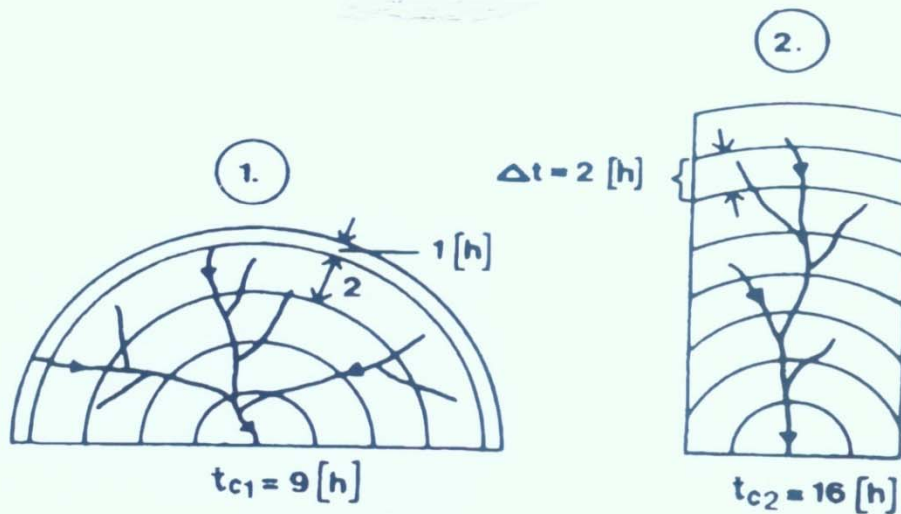


## Utjecaj brzine kretanja nepogode na hidrogram

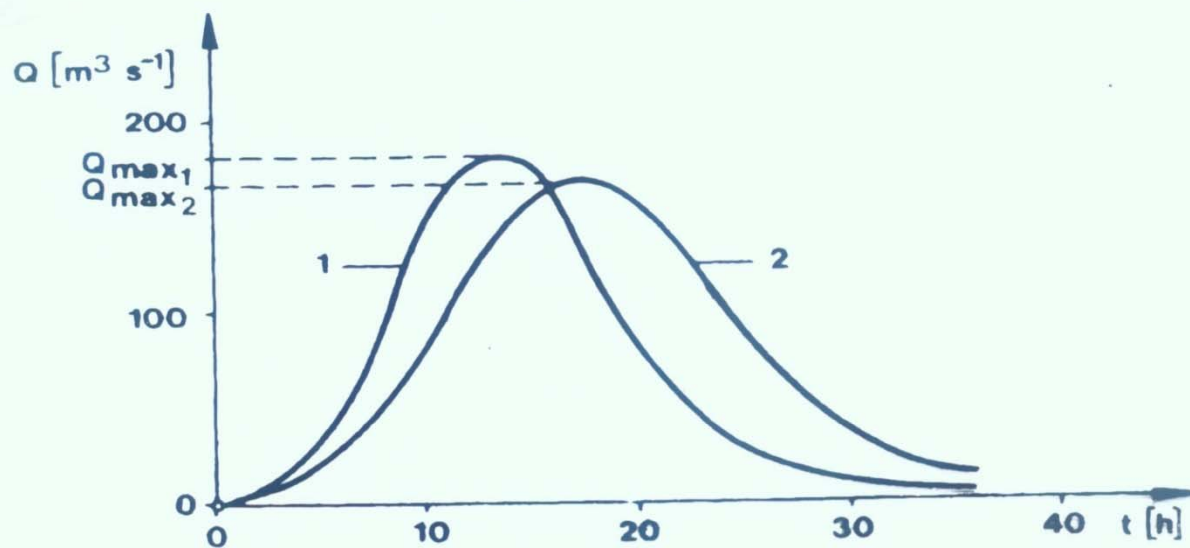


$$V_1 < V_2 < V_3$$

# Utjecaj topografskih činilaca na hidrogram



Topografski  
činioči:  
- *pad i*  
- *oblik sliva*



## Jedinični hidrogram

**Pojam jediničnog hidrograma: Sherman (1932.)**

**Jedinični hidrogram** je hidrogram direktnog otjecanja nastao od **jediničnog stupca efektivne oborine  $H_e$**  [(1 mm), (5 mm), (10 mm) ili drugo], koja je ravnomjerno pala na cijeloj slivnoj površini, konstantnom jačinom "i" tokom vremenskog intervala **T**. Taj se vremenski interval ili trajanje jedinične oborine odabire po želji, ovisno o veličini promatranog sliva.

Obično se T uzima u granicama  $5 \text{ min} < T < 24 \text{ h}$

## Temeljna pretpostavka teorije jediničnog hidrograma: *linearnost i ustaljenost sustava otjecanja*

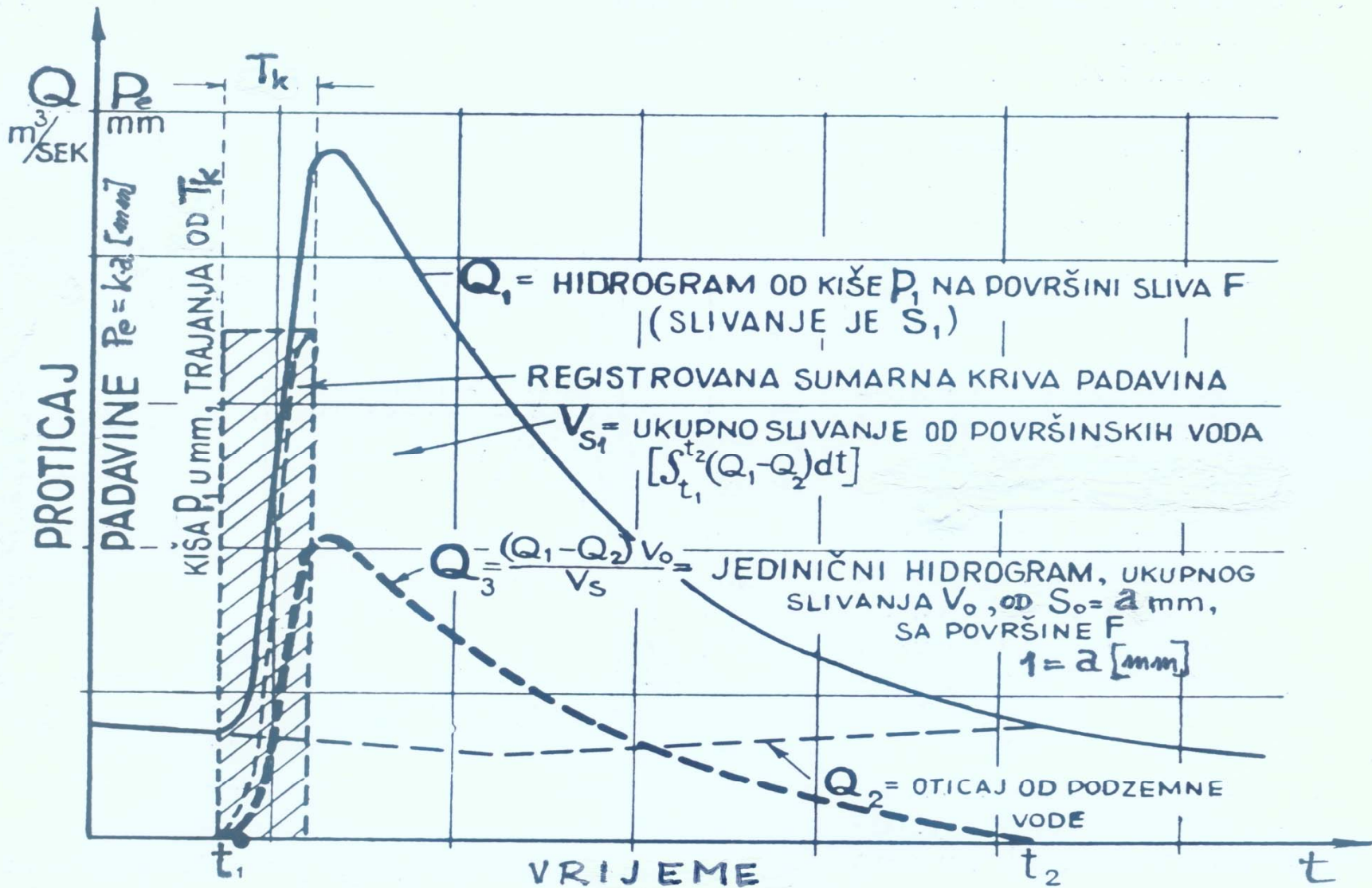
### vrijede pretpostavke proporcionalnosti i superpozicije:

- a) pljuskovi istog trajanja daju hidrogram s istom vremenskom bazom  $T_b$  neovisno od kišnog intenziteta;
- b) ordinate kiše (*pluviograma*)  $H_e$  za pljuskove čije je trajanje jednako trajanju jedinične kiše proporcionalne su s ordinatama jedinične kiše, a ordinate ukupnog hidrograma od takovih pljuskova proporcionalne su s ordinatama jediničnog hidrograma u istoj mjeri u kojoj su ordinate kiše proporcionalne s ordinatama jedinične kiše;
- c) oblik hidrograma je neovisan od prethodnih ili budućih kiša

Pragmatična svrha JH: dobiti operator (*funkciju*) preslikavanja hijetograma u hidrogram otjecanja



# Konstrukcija jediničnog hidrograma na osnovu izmjerenog



# Princip korištenja jediničnog hidrograma

