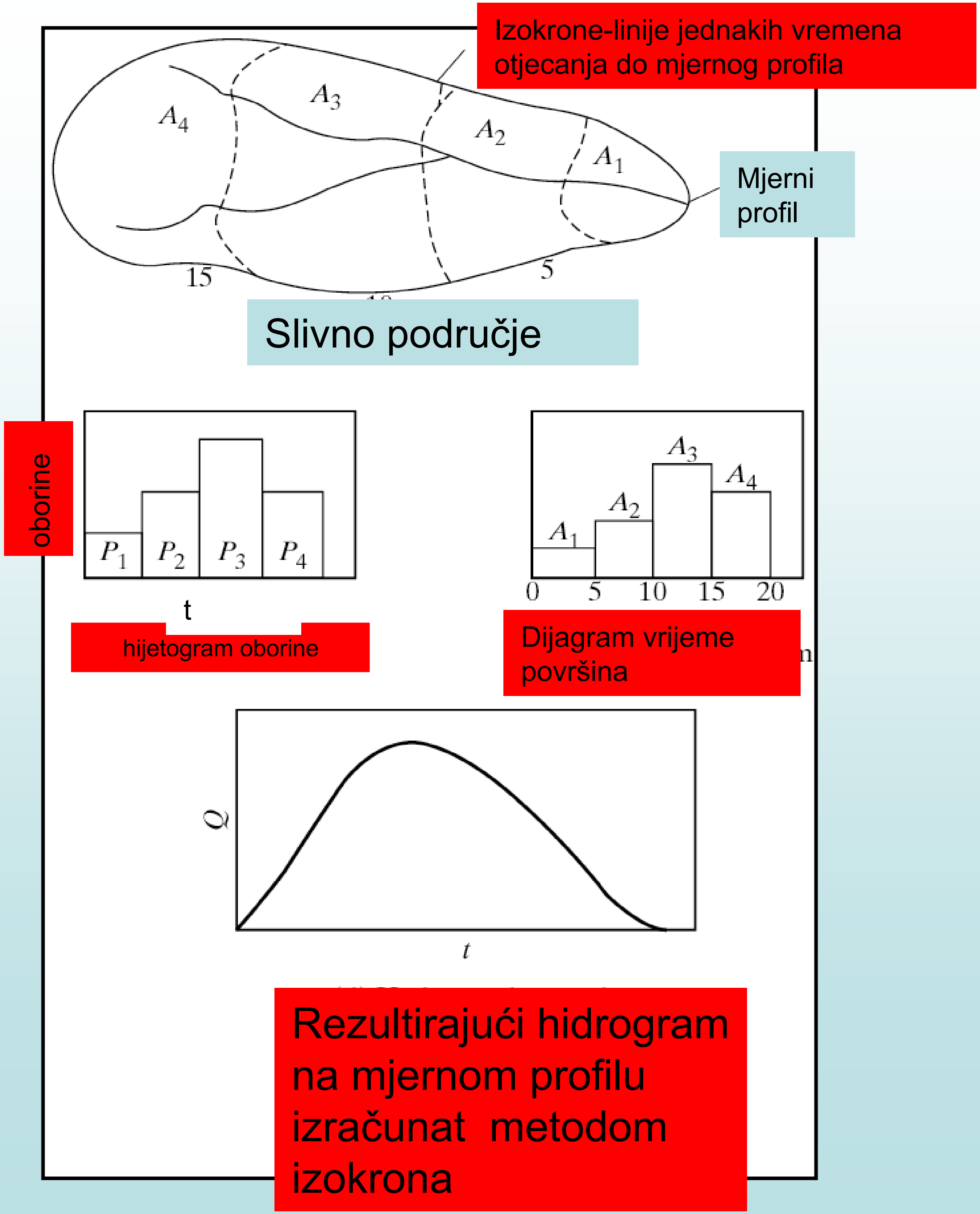
SINTETIČKI HIDROGRAM

Za sliv, za koji se ne raspolaže mjerenim podacima, model (sintetički jedinički hidrogram) se formira na osnovu analize fizičkih i drugih karakteristika sliva.

Ovo se postiže korištenjem empirijskih izraza koji predstavljaju vezu između raznih karakteristika sliva i oblika hidrograma otjecanja.
U praksi se često koristi metoda izokrona. Ona se koristi za proračun sintetičkog hidrograma direktnog otjecanja.

IZOKRONE

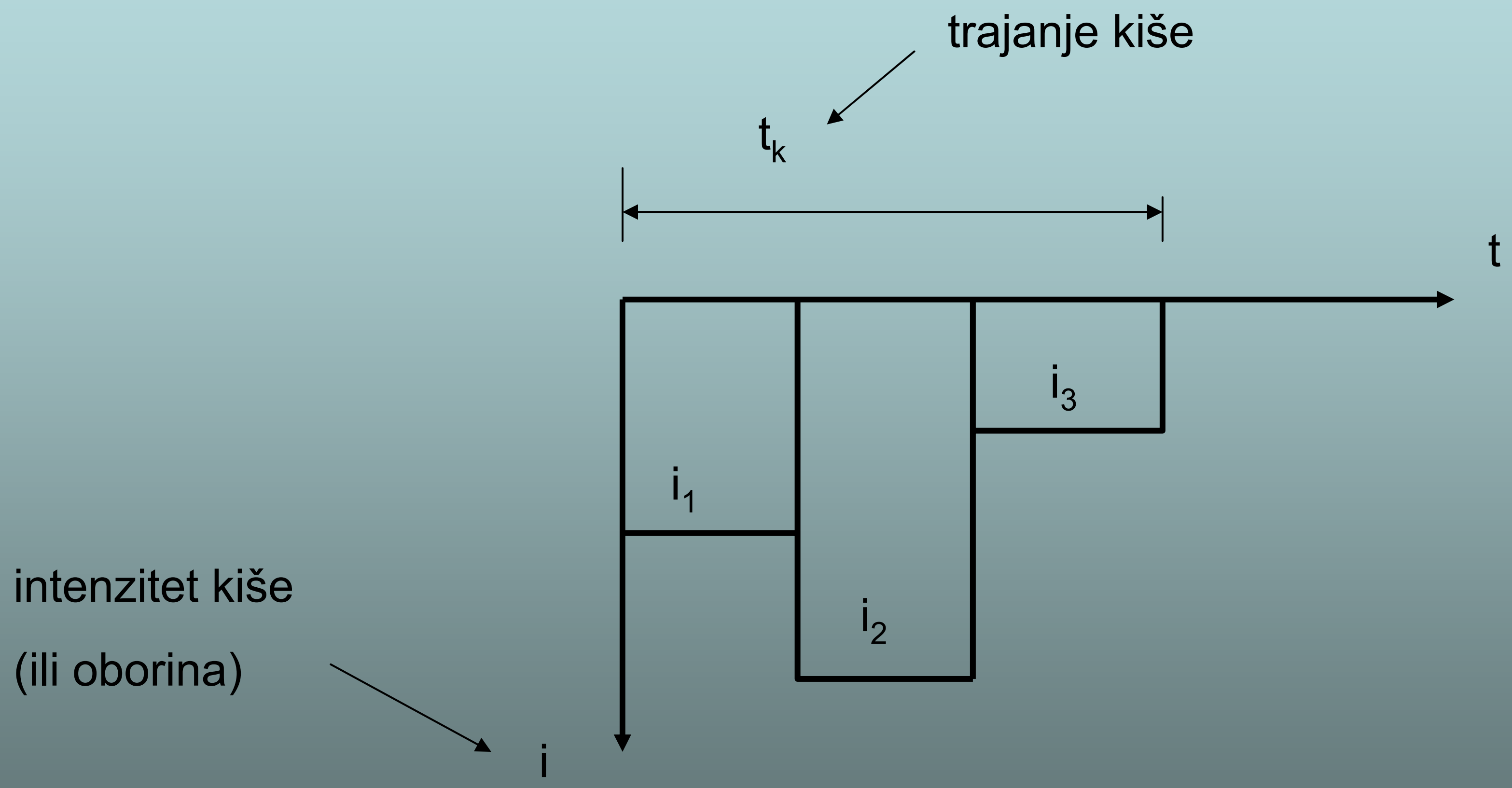
- **Izokrone otjecanja ili izokrone su linije jednakih vremena otjecanja vode sa sliva.**
- **Osnovna je pretpostavka metode izokrona da voda s pojedinih dijelova sliva stiže do izlaznog profila vodotoka u različitim vremenskim intervalima Δt.**
- **Rezultirajući hidrogram otjecanja se određuje na temelju površine sliva s izokronama, hijetograma efektivne oborine i dijagrama vrijeme-površina**
- **Na slijedećoj slici je prikazano određivanje hidrograma otjecanja metodom izokrona.**


Izokrone-linije jednakih vremena otjecanja do mjernog profila
A4
A3
A2
A1
Mjerni profil
15
5
Slivno područje
oborine
P1
P2
P3
P4
t
hijetogram oborine
A1
A2
A3
A4
0
5
10
15
20
Dijagram vrijeme površina
Q
t
Rezultirajući hidrogram na mjernom profilu izračunat metodom izokrona

- **Postupak određivanja hidrograma površinskoga otjecanja metodom izokrona provodi se na slijedeći način:**
- **Najprije se na slivu konstruiraju izokrone tj. linije jednakih vremena otjecanja.**
- **Vrijeme otjecanja vode od jedne do druge izokrone je Δt, a ukupno vrijeme otjecanja od najudaljenije izokrone do izlaznog profila jednako je vremenu koncentracije sliva T_c**
- **Izokronama je sliv podjeljen na manje površine.**

- Nakon toga se koristi hijetogram efektivne kiše konstantnih intenziteta u vremenima Δt.
- Temeljna je pretpostavka da je na cijeli sliv pala kiša i da su intenziteti efektivne kiše i_1, i_2, ...i_{tk} u vremenskim razmacima Δt.
- Trajanje efektivne kiše T_k je :
- $T_k = n\Delta t = T_c$
- gdje je: T_c-vrijeme koncentracije sliva
- Δt - vrijeme otjecanja vode od jedne do druge izokrone

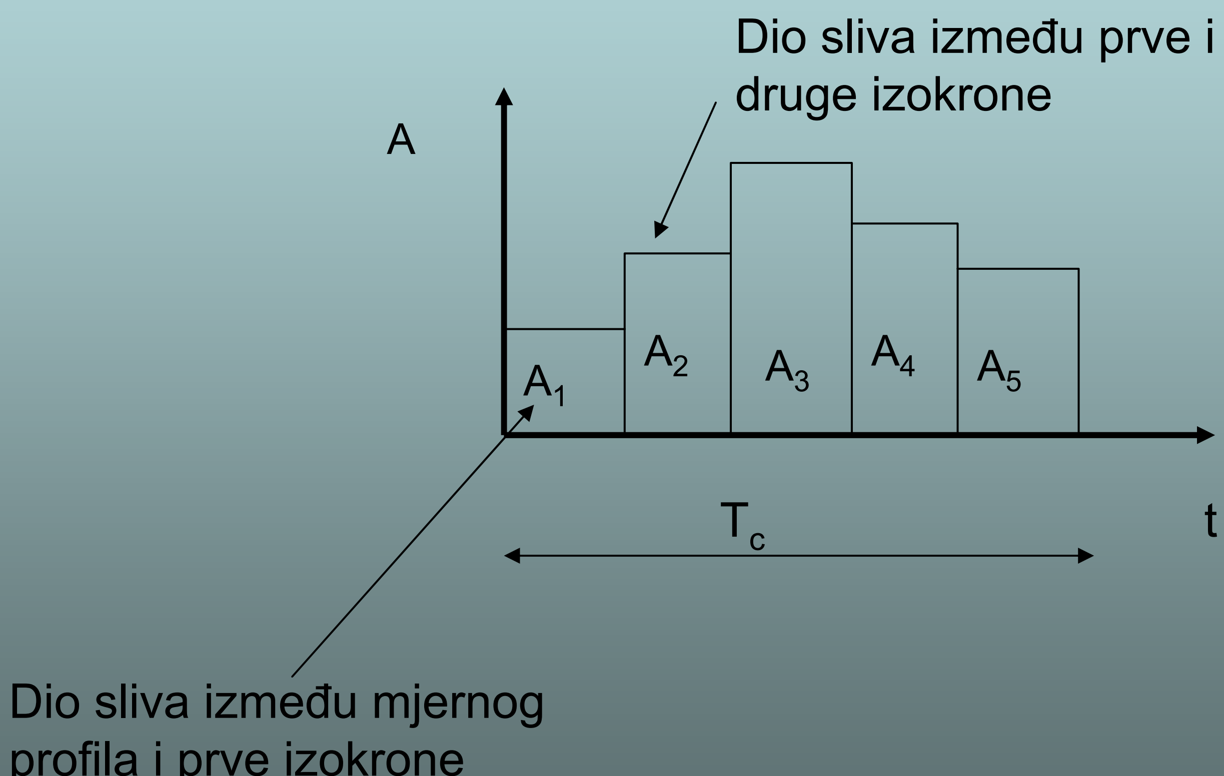
HIJETOGRAM



Ispod hijetograma se u dijagram vrijeme-površina nanesu površine sliva između pojedinih izokrona A_1, A_2, ...

Površine između izokrona se nanose u razmacima Δt, a vrijeme za sve površine od A_1 do A_{Tc} jednako je vremenu koncentracije sliva T_c (slika4).

Dijagram površina-vrijeme

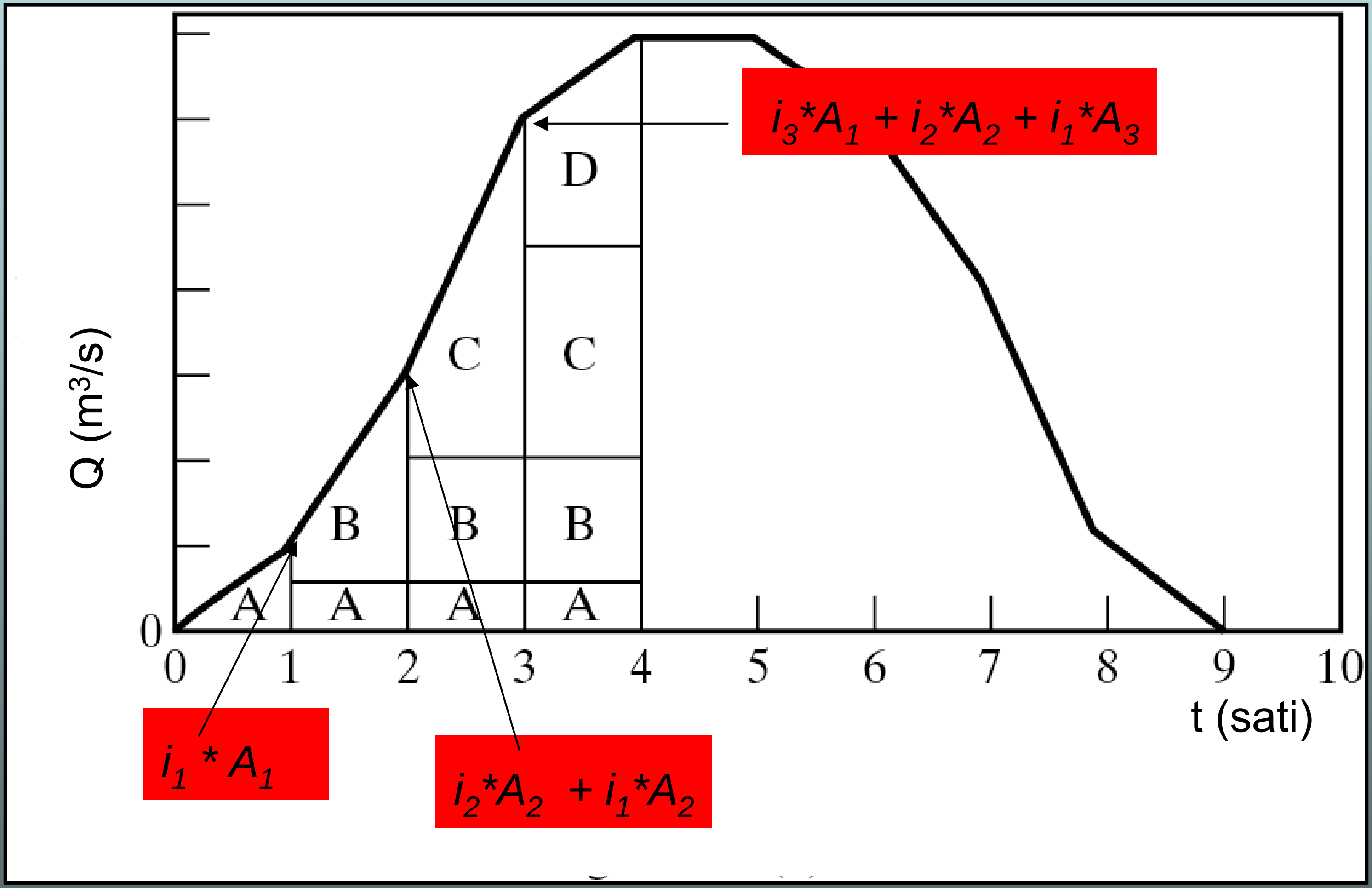


POSTUPAK ODREĐIVANJA HIDROGRAMA OTJECANJA METODOM IZOKRONA

- **u prvoj jedinici vremena Δt do izlaznog profila dolazi voda s površine A_1 uslijed efektivne kiše intenziteta i_1, pa je protok na kraju vremena Δt:**
- **$Q_1 = i_1 A_1$**
- **Na kraju druge vremenske jedinice, nakon $2\Delta t$, do izlaznog profila dolazi voda s površine A_1, na koju je pala kiša intenziteta i_2 (u drugoj vremenskoj jedinici Δt) te voda s površine A_2, na koju je u prvoj vremenskoj jedinici pala kiša intenziteta i_1,pa je protok nakon druge vremenske jedinice:**
- **$Q_2 = i_2 A_1 + i_1 A_2$**

- **Na isti se način dolazi do protoka na kraju treće vremenske jedinice:**
- **$Q_3=i_3A_1+i_2A_2+i_1A_3$**
- **Protok u i-tom trenutku je:**
- **$Q_i=\Sigma\ i_kA_{i-k+1}$**
- **Vremenska baza hidrograma površinskog otjecanja, odnosno ukupno trajanje površinskog otjecanja je:**
- **$T_b=T_c+T_{k-\Delta t}$**

REZULTIRAJUĆI HIDROGRAM



- Sistem jednadžbi može biti prikazan i putem matrica:

$$\begin{bmatrix} i_1 & 0 & 0 & \ldots 0 & 0 \ldots & 0 & 0 \\ i_2 & i_1 & 0 & \ldots 0 & 0 \ldots & 0 & 0 \\ \ldots & & & & & & \\ i_M & i_{M-1} & i_{M-2} & \ldots i_1 & 0 \ldots & 0 & 0 \\ 0 & i_M & i_{M-1} & \ldots i_2 & \ldots i_1 & 0 & 0 \\ \ldots & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \ldots 0 & 0 \ldots & i_M & i_{M-1} \\ 0 & 0 & 0 & \ldots 0 & 0 \ldots & 0 & i_M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \ldots \\ \ldots \\ A_{N-M+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \ldots \\ Q_M \\ Q_{M+1} \\ \ldots \\ Q_{N-1} \\ Q_N \end{bmatrix}$$

Oblici hidrograma prikazanih na prethodnim slikama nisu realni jer metoda izokrona uzima u obzir samo inercijalne osobine sliva (zakašnjenje).

Naime, potrebno je obraditi i utjecaj retencijske sposobnosti sliva, jer sliv akumulira određenu količinu vode.

Hidrogram dobiven metodom izokrona moguće je određenim metodama transformirati (kroz linearni ili nelinearni rezervoar).

Prema tome, osnovni su problemi u vezi s primjenom metode izokrona:

- određivanje položaja izokrona na slivu

- veličine površina sliva između pojedinih izokrona

- vremena koncentracije sliva

U vremenu koncentracije sadržano je vrijeme otjecanja vode po terenu i vrijeme otjecanja u korito vodotoka.

Vrijeme koncentracije ovisi o obliku, veličini i padu sliva, intenzitetu, trajanju i raspodjeli kiše. Ono predstavlja glavnu veličinu za konstrukciju izokrona.

Racionalna metoda

- Promatra se otjecanje vode s jednog malog pravokutnog sliva, jednolikog pada.
- Dijelovi površine sliva između pojedinih izokrona neka su jednake veličine tj.
- $A_1=A_2=..A_N$
- Ukoliko je intenzitet oborine jednolik i iznosi $i=1/\Delta t$ s trajanjem $t_k=n\Delta t$ $\longrightarrow$

$$Q_k = i \cdot \sum_{j=1}^{k} A_j$$

- Ako je trajanje kiše jednako vremenu koncentracije, po isteku vremena koncentracije u formiranju hidrograma otjecanja sudjeluje cijeli sliv, odnosno formirat će se maksimalni protok:

$$Q_{\max} = Q_N = i \sum_{j=1}^{N} A_j = i \cdot A$$

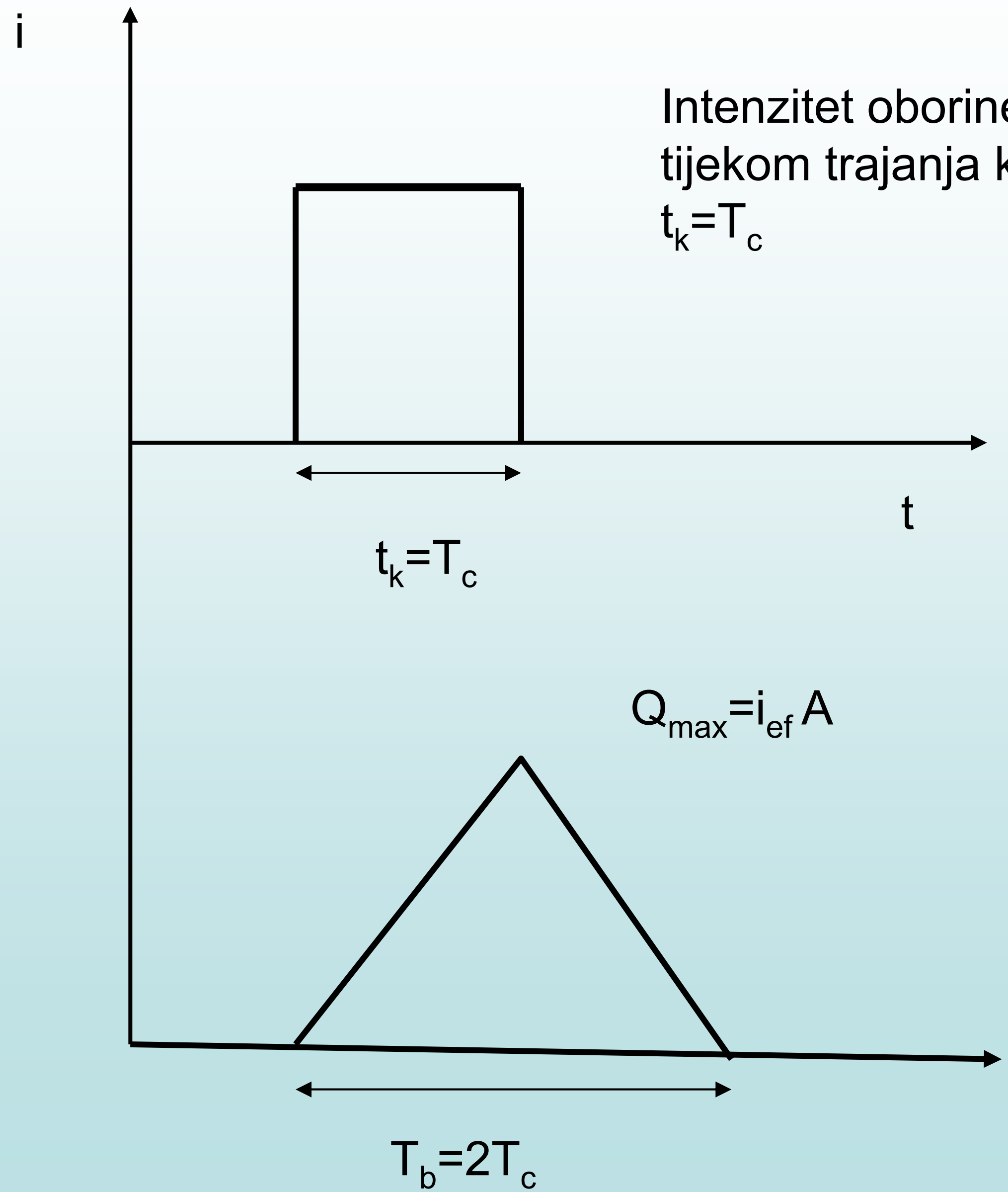
Ako je efektivna kiša prestala po isteku vremena koncentracije, protok na opadajućoj grani hidrograma iznosi:

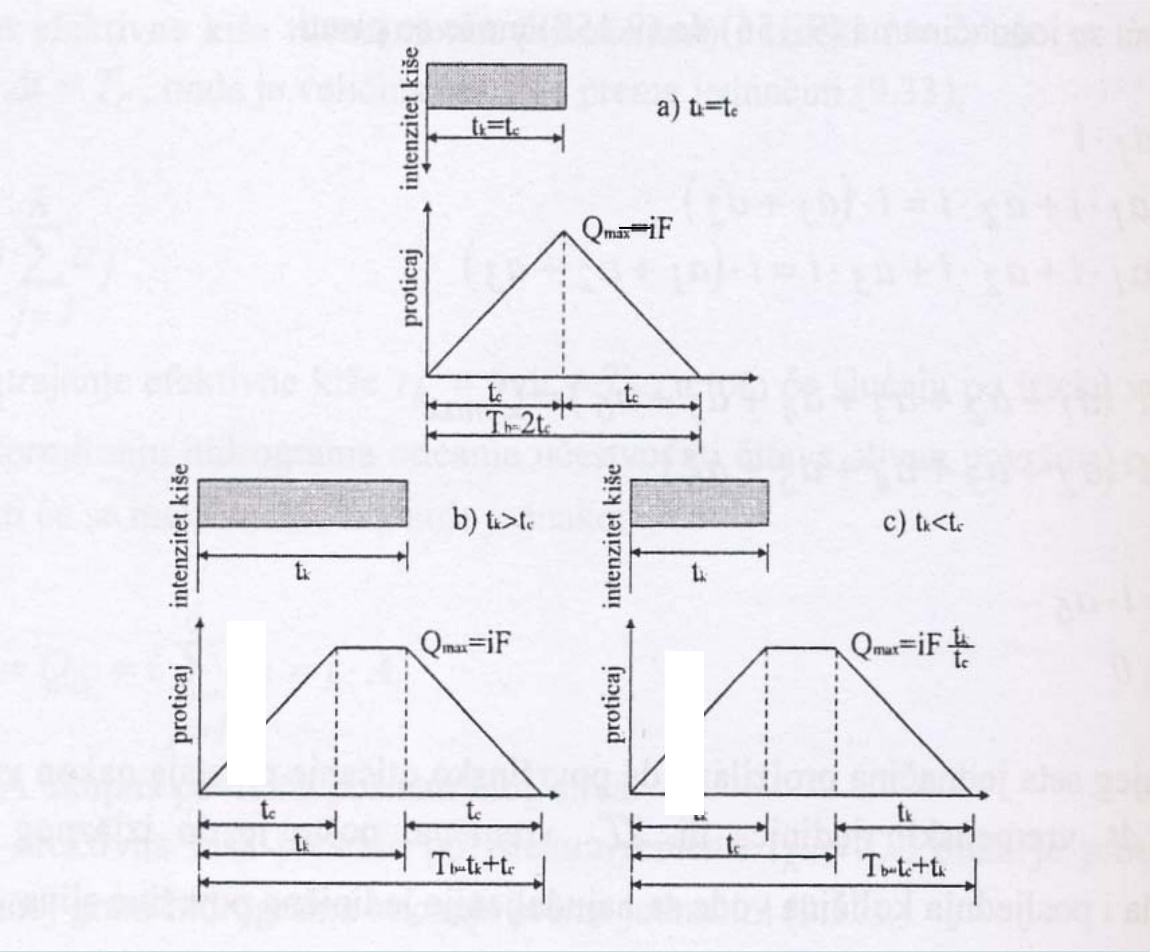
$$Q_k = i \cdot \sum_{j=k+1-n}^{n} A_j$$

- Iz navedenog slijedi da površinsko otjecanje prestaje nakon $2T_c$ vremena nakon što je do izlaznog profila došla i zadnja količina vode s najudaljenije površine A_n.
- Također vrijedi da hidrogram otjecanja s pravokutne površine za ***efektivnu kišu*** jednolikog intenziteta i trajanja $t_k=T_c$ ima oblik jednakokračnog trokuta s maksimalnim protokom i vremenskom bazom:

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

$$T_b = 2 \cdot T_c = 2 \cdot T_k$$


i
Intenzitet oborine
tijekom trajanja kiše
$t_k=T_c$
t
$t_k=T_c$
$Q_{max}=i_{ef}\,A$
$T_b=2T_c$



intenzitet kiše
a) $t_k=t_c$
$t_k=t_c$
proticaj
$Q_{max}=iF$
t_c
t_c
$T_b=2t_c$
b) $t_k>t_c$
t_k
$Q_{max}=iF$
t_c
t_k
t_c
$T_b=t_k+t_c$
c) $t_k<t_c$
t_k
$Q_{max}=iF\frac{t_k}{t_c}$
t_k
t_c
$T_b=t_c+t_k$

- Opisana metoda je poznata pod imenom racionalna metoda.
- Koristi se za proračun hidrograma otjecanja s malih slivnih površina pravilnog oblika i kad su gubici približno konstantni u vremenu (aerodromske piste, gradski trgovi i ulice, urbanizirana područja).

- Može se također zaključiti da za svako trajanje kiše koje je dulje od vremena koncentracije ne dolazi do povećanja veličine maksimalnog protoka, a formira se izgled hidrograma kao na slici b.
- Za kraća trajanja kiše, maksimalne ordinate su proporcionalno manje.
- Nakon prestanka kiše otjecanje postepeno opada da bi dostiglo vrijednost nula u vremenu koje je za T_c udaljeno od vremena pojavljivanja maksimuma.

Vrijednost maksimalnog protoka jediničnog hidrograma prema racionalnoj teoriji se može izraziti primjenom slijedećeg izraza:

$$u_{\max} = \frac{1}{T_c} \cdot A \quad \left(mm \cdot km^2 / sati\right)$$

$$u_{\max} = 0.278 \cdot \frac{A}{T_c} \quad (\mathrm{m}^3 / s)$$

Efektivna oborina

$$Q_{\max} = u_{\max} \cdot P_e$$

α-koeficijent otjecanja

$$Q_{\max} = u_{\max} \cdot \alpha \cdot P_b$$

Bruto oborina

$$Q_{\max} = 0.278 \cdot \frac{A}{T_c} \cdot \alpha \cdot P_b$$

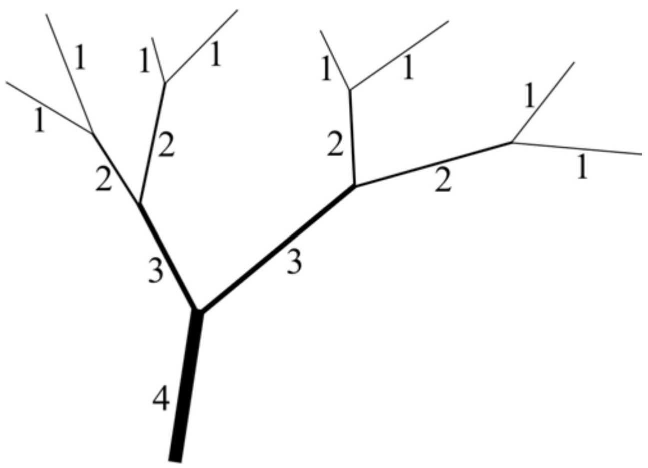
- Vrijednost koeficijenta otjecanja α je varijabilna i kreće se najčešće od 0,05 do 0,95.
- Vrijednost koeficijenta odražava uvjete otjecanja na slivu, a čimbenici koji utječu na njegovu vrijednost su početni gubici, zadržavanje (akumuliranje vode u depresijama), karakteristike zemljišta, padovi sliva, stupanj zasićenosti tla vodom, intenzitet oborine, geološke i hidrogeološke karakteristike područja.

- Racionalna formula je primjenjiva za male slivove do 50 km^2.
- Trajanje kiše bi trebalo biti jednako ili veće od vremena koncentracije sliva
- Formula daje maksimalnu vršnu vrijednost protoka, ali ne daje i sam hidrogram
- Vrijednost maksimalnog protoka je u linearnoj vezi s intenzitetom, pri čemu prirodne pojave ne slijede baš takav zakon
- Pretpostavka je konstantan intenzitet kiše na cijelom slivu
- Pretpostavka je ista vrijednost koeficijenta otjecanja za cijeli sliv

- Primjena racionalne formule podrazumijeva odabir intenziteta kiše. Mjerodavni intenzitet kiše je prosječna veličina oborine za vrijeme trajanja T_c određenog povratnog perioda T.
- $i=i(T_c, T)$
- Drugim riječima za određivanje mjerodavnog intenziteta potrebno je imati definiranu ITP krivulju.

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

Struktura hidrografske mreže



Hortonov morfometrijski faktor	Opis
Zakon broja tokova (bifurkacijski faktor) $R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}}$	N_i i N_{i+1} su brojevi tokova reda (i) i (i+1). Ω - predstavlja najveći red toka u slivu, $i = 1,2,\ldots,\Omega$
Zakon dužine tokova $R_L = \frac{\overline{L}_{i+1}}{\overline{L}_i}$	$\overline{L}_i$ je srednja dužina toka reda (i): $\overline{L}_i = \frac{1}{N_i}\sum_{j=1}^{N_i} L_{j,i}$
Zakon površine tokova $R_A = \frac{\overline{A}_{i+1}}{\overline{A}_i}$	$\overline{A}_i$ je srednja vrijednost podpovršine koja pripada toku reda (i) $\overline{A}_i = \frac{1}{N_i}\sum_{j=1}^{N_i} A_{j,i}$ gdje $A_{j,i}$ predstavlja ukupnu površinu koja se drenira u j-ti vodotok rok reda (i)

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

Gustoća hidrografske mreže

$$D = \frac{L_T}{A_\Omega} = \sum_{\omega=1}^{\Omega} \sum_{i=1}^{N_\omega} \frac{L_{\omega i}}{A_\Omega} = \sum_{\omega=1}^{\Omega} \frac{N_\omega \overline{L}_\omega}{A_\Omega}$$

gdje je L_T ukupna dužina tokova reda Ω na slivu čija je površina A_Ω

Učestalost riječnih tokova

$$F = \frac{\sum_{\omega=1}^{\Omega} N_\omega}{A_\Omega}$$

gdje je N_ω broj tokova reda ω, a A_Ω je ukupna površina sliva tokova reda Ω.

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

Geomorfološki slučajni model sliva i njegov hidrološki odgovor temelje se na dva postulata koje je dao Shreve i modificirao Gupta:

1. Prirodna hidrološka mreža odnosno struktura sliva je topološki slučajna tj. izvori i veze (vodotoci) su neovisne pojave.

2. U prirodnom slivu, dužine unutarnjih i vanjskih veza (vodotoka) i odgovarajuće slivne površine su neovisne slučajne varijable i neovisne su o lokaciji u slivu s zasebnom funkcijom gustoće vjerojatnosti.

Upravo ova dva postulata omogućuju razvoj konzistentnih i fascinantnih teorija o riječnim slivovima (Bras).

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

Pravila formiranja mogućih puteva otjecanja kišne kapi

Pravilo 1: Kada je kišna kap još na padini slivne površine, stanje a_ω je reda vodnog toka ka kome se ta padina direktno drenira.

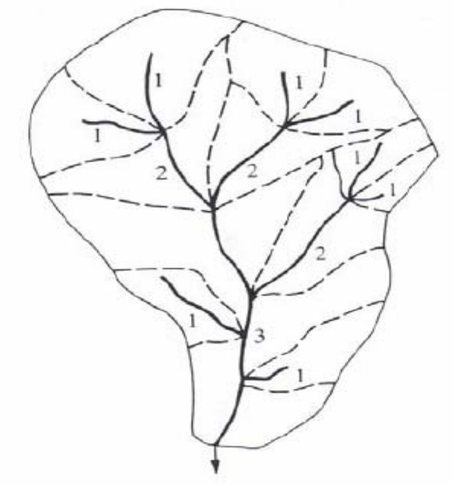
Pravilo 2: Jedini mogući prijelaz iz stanja a_ω je u odgovarajući r_ω. Iz vodnog toka r_ω prijelazi tipa $\omega \to j$ za $j > \omega$ $(j = \omega + 1, \ldots, \Omega)$ su mogući, gdje je Ω najveći red odnosno red sliva

Pravilo 3: Definirajući izlaz sa sliva kao krajnje stanje $\Omega + 1$ konačno stanje kišne kapi je $\Omega + 1$ iz koga nije moguć daljnji prijelaz.

$\Omega=3$

$S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$

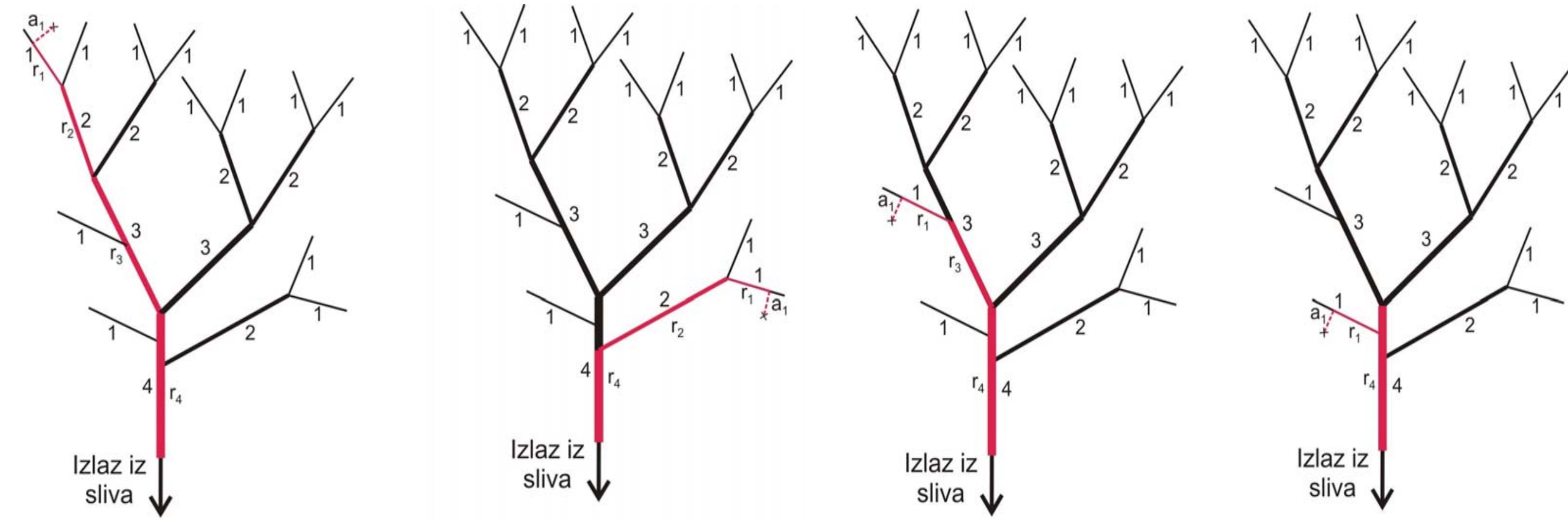
- $s_1 : a_1 \to r_1 \to r_2 \to r_3 \to$ izlaz
- $s_2 : a_1 \to r_1 \to r_3 \to$ izlaz
- $s_3 : a_2 \to r_2 \to r_3 \to$ izlaz
- $s_4 : a_3 \to r_3 \to$ izlaz



$n = 2^{\Omega-1}$

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

$\Omega = 4$ $\quad$ $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_{6,} s_{7,} s_8\}$



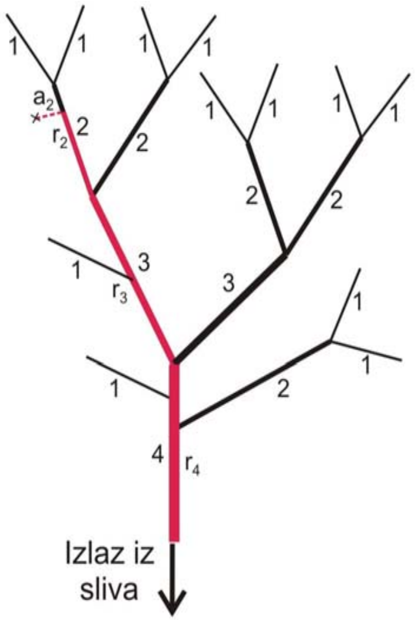
s_1: $a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow izlaz$

s_2: $a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_4 \rightarrow izlaz$

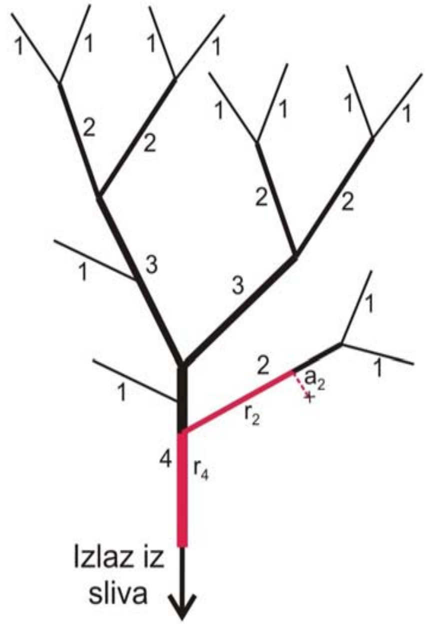
s_3: $a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow izlaz$

s_4: $a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_4 \rightarrow izlaz$

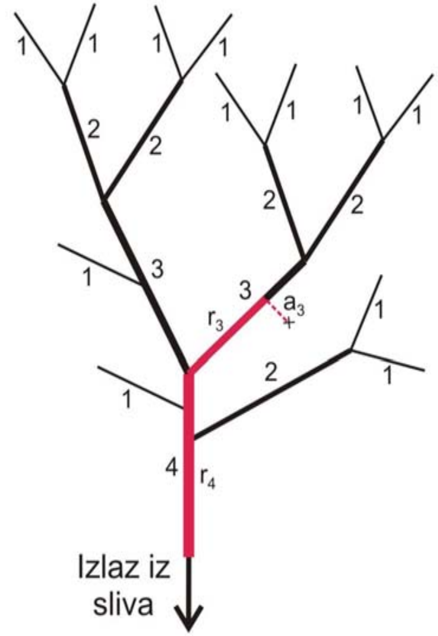
METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA



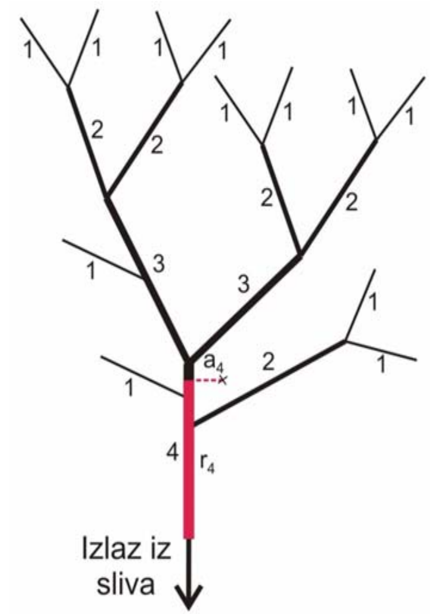
s_5: $a_2 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz



s_6: $a_2 \rightarrow r_2 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz



s_7: $a_3 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz



s_8: $a_4 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

$$P(T_B \leq t) = \sum_{s_n \in S} P(T_{s_n} \leq t) P(s_n)$$

$P(.)$ - označava vjerojatnost za niz u zagradi;

T_B - vrijeme putovanja kišnih kapi do izlaza s slivnog područja;

T_{s_n} - vrijeme putovanja kišnih kapi po pojedinom putu s_n;

$P(s_n)$ - vjerojatnost da će kišne kapi otjecati (putovati) putem s_n;

$S = \{s_n\},\ n = 1,2,3,...$ - skup svih mogućih putova kojim kišne kapi mogu otjecati nakon pada na sliv.

$$a_i \to r_i \to r_j \to r_k \ldots \to r_\Omega, \quad i < j < k < \ldots < \Omega$$

$$T_{s_n} = T_{a_i} + T_{r_i} + T_{r_j} + T_{r_k} \ldots + T_{r_\Omega}$$

$$f_{T_{s_n}}(t) = f_{Ta_i}(t) * f_{Tr_i}(t) * f_{Tr_j}(t) * f_{Tr_k}(t) * \ldots * f_{Tr_\Omega}(t)$$

$$P(s_n) = \theta_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot p_{m\Omega}$$

$$\theta_i = \frac{(\text{ukupna površina koja se drenira direktno u vodotok reda i})}{(\text{ukupna slivna površina})}$$

$$p_{ij} = \frac{(\text{broj tokova reda i koji se dreniraju u tokove reda j})}{(\text{ukupan broj tokova reda i})}$$

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

$\Omega=3$

Početna vjerojatnost (θ_ω)	Prijelazna vjerojatnost ($p_{i,j}$)
$\theta_1 = \dfrac{R_B^2}{R_A^2}$	$p_{12} = \dfrac{R_B^2 + 2R_B^2 - 2}{2R_B^2 - R_B}$
$\theta_2 = \dfrac{R_B}{R_A} - \dfrac{R_B^3 + 2R_B^2 - 2R_B}{R_A^2(2R_B - 1)}$	$p_{13} = \dfrac{R_B^2 - 3R_B + 2}{2R_B^2 - R_B}$
$\theta_3 = 1 - \dfrac{R_B}{R_A} - \dfrac{R_B^3 - 3R_B^2 + 2R_B}{R_A^2(2R_B - 1)}$	$p_{23} = 1$

$\Omega=4$

Početna vjerojatnost (θ_ω)	Prijelazna vjerojatnost ($p_{i,j}$)
$\theta_1 = \dfrac{R_B^3}{R_A^3}$	$p_{12} = \dfrac{2}{R_B} + \dfrac{(2R_B - 1)(R_B^2 - 2R_B)}{R_B^2(2R_B - 1) + R_B(R_B^2 - 1) + (R_B^2 - 1)(R_B - 1)}$
$\theta_2 = \dfrac{R_B^2}{R_A^2}\left(1 - \dfrac{R_B}{R_A} \times p_{12}\right)$	$p_{13} = \dfrac{(R_B^2 - 1)(R_B - 1)}{R_B^2(2R_B - 1) + R_B(R_B^2 - 1) + (R_B^2 - 1)(R_B - 1)}$
$\theta_3 = \dfrac{R_B}{R_A}\left(1 - \dfrac{R_B^2}{R_A^2} \times p_{13} - \dfrac{R_B}{R_A} \times p_{23}\right)$	$p_{14} = \dfrac{(R_B^2 - 1)(R_B - 1)(R_B - 2)}{R_B^3(2R_B - 1) + R_B^2(R_B^2 - 1) + (R_B^2 - 1)(R_B - 1)}$
$\theta_4 = 1 - \left(\dfrac{R_B}{R_A}\right)^3 \times p_{14} - \left(\dfrac{R_B}{R_A}\right)^2 \times p_{24} - \left(\dfrac{R_B}{R_A}\right) \times p_{34}$	$p_{23} = \dfrac{R_B - 2}{2R_B - 1} + \dfrac{2}{R_B}$
	$p_{24} = \dfrac{R_B - 1}{R_B(2R_B - 1)} \times (R_B - 2)$
	$p_{34} = 1{,}0$

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

$$u(0,t) = dP(T_B \leq t)/dt = \sum_{s_n \in S} f_{T_{a_i}}(t) * f_{T_{r_i}}(t) * f_{T_{r_j}}(t) * f_{T_{r_k}}(t) * \ldots * f_{T_{r_\Omega}}(t) \cdot P(s_n)$$

$$f_{Ta_i}(t) = \alpha_i \, e^{(-\alpha_i t)} \qquad f_{Tr_i}(t) = \beta_i \, e^{(-\beta_i t)}$$

$$\alpha_i = \frac{v_0}{L_0} \quad L_0 = \frac{1}{2D} \qquad \beta_i = \frac{v_s}{\overline{L}_i}$$

α_i - prosječno vrijeme putovanja kišne kapi po slivnoj površini

β_i - **prosječno vrijeme putovanja kišne kapi duž vodotoka**

v_0 - **karakteristična brzina tečenja vode po slivnoj površini**

v_s - **karakteristična brzina tečenja vode duž vodotoka**

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

$$\Omega=4$$

$$S=\{s_1,s_2,s_3,s_4,s_5,s_6,s_7,s_8\}$$

- $s_1 : a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_1}=\alpha_1\beta_1\beta_2\beta_3\beta_4\left(\begin{array}{l}\dfrac{e^{(-\alpha_1 t)}}{(\beta_1-\alpha_1)(\beta_2-\alpha_1)(\beta_3-\alpha_1)(\beta_4-\alpha_1)}+\dfrac{e^{(-\beta_1 t)}}{(\alpha_1-\beta_1)(\beta_2-\beta_1)(\beta_3-\beta_1)(\beta_4-\beta_1)}+\\ +\dfrac{e^{(-\beta_2 t)}}{(\alpha_1-\beta_2)(\beta_1-\beta_2)(\beta_3-\beta_2)(\beta_4-\beta_2)}+\dfrac{e^{(-\beta_3 t)}}{(\alpha_1-\beta_3)(\beta_1-\beta_3)(\beta_2-\beta_3)(\beta_4-\beta_3)}+\\ +\dfrac{e^{(-\beta_4 t)}}{(\alpha_1-\beta_4)(\beta_1-\beta_4)(\beta_2-\beta_4)(\beta_3-\beta_4)}\end{array}\right)$$

- $s_2 : a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_2}=\alpha_1\beta_1\beta_2\beta_4\left(\begin{array}{l}\dfrac{e^{(-\alpha_1 t)}}{(\beta_1-\alpha_1)(\beta_2-\alpha_1)(\beta_4-\alpha_1)}+\dfrac{e^{(-\beta_1 t)}}{(\alpha_1-\beta_1)(\beta_2-\beta_1)(\beta_4-\beta_1)}+\\ +\dfrac{e^{(-\beta_2 t)}}{(\alpha_1-\beta_2)(\beta_1-\beta_2)(\beta_4-\beta_2)}+\dfrac{e^{(-\beta_4 t)}}{(\alpha_1-\beta_4)(\beta_1-\beta_4)(\beta_2-\beta_4)}\end{array}\right)$$

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

- $s_3 : a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_3} = \alpha_1\beta_1\beta_3\beta_4 \left(\frac{e^{(-\alpha_1 t)}}{(\beta_1-\alpha_1)(\beta_3-\alpha_1)(\beta_4-\alpha_1)} + \frac{e^{(-\beta_1 t)}}{(\alpha_1-\beta_1)(\beta_3-\beta_1)(\beta_4-\beta_1)} + \frac{e^{(-\beta_3 t)}}{(\alpha_1-\beta_3)(\beta_1-\beta_3)(\beta_4-\beta_3)} + \frac{e^{(-\beta_4 t)}}{(\alpha_1-\beta_4)(\beta_1-\beta_4)(\beta_3-\beta_4)} \right)$$

- $s_4 : a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_4} = \alpha_1\beta_1\beta_4 \left(\frac{e^{(-\alpha_1 t)}}{(\beta_1-\alpha_1)(\beta_4-\alpha_1)} + \frac{e^{(-\beta_1 t)}}{(\alpha_1-\beta_1)(\beta_4-\beta_1)} + \frac{e^{(-\beta_4 t)}}{(\alpha_1-\beta_4)(\beta_1-\beta_4)} \right)$$

- $s_5 : a_2 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_5} = \alpha_2\beta_2\beta_3\beta_4 \left(\frac{e^{(-\alpha_2 t)}}{(\beta_2-\alpha_2)(\beta_3-\alpha_2)(\beta_4-\alpha_2)} + \frac{e^{(-\beta_2 t)}}{(\alpha_2-\beta_2)(\beta_3-\beta_2)(\beta_4-\beta_2)} + \frac{e^{(-\beta_3 t)}}{(\alpha_2-\beta_3)(\beta_2-\beta_3)(\beta_4-\beta_3)} + \frac{e^{(-\beta_4 t)}}{(\alpha_2-\beta_4)(\beta_2-\beta_4)(\beta_3-\beta_4)} \right)$$

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

- $s_6 : a_2 \rightarrow r_2 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_6} = \alpha_2\beta_2\beta_4\left(\frac{e^{(-\alpha_2 t)}}{(\beta_2-\alpha_2)(\beta_4-\alpha_2)} + \frac{e^{(-\beta_2 t)}}{(\alpha_2-\beta_2)(\beta_4-\beta_2)} + \frac{e^{(-\beta_4 t)}}{(\alpha_2-\beta_4)(\beta_2-\beta_4)}\right)$$

- $s_7 : a_3 \rightarrow r_3 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_7} = \alpha_3\beta_3\beta_4\left(\frac{e^{(-\alpha_3 t)}}{(\beta_3-\alpha_3)(\beta_4-\alpha_3)} + \frac{e^{(-\beta_3 t)}}{(\alpha_3-\beta_3)(\beta_4-\beta_3)} + \frac{e^{(-\beta_4 t)}}{(\alpha_3-\beta_4)(\beta_3-\beta_4)} + \right)$$

- $s_8 : a_4 \rightarrow r_4 \rightarrow$ izlaz

$$f_{s_8} = \frac{\alpha_4\beta_4(e^{(-\beta_4 t)} - e^{(-\alpha_4 t)})}{\alpha_4 - \beta_4}$$

$$u(0,t) = f_{s_1}\cdot\theta_1\cdot p_{12}\cdot p_{23}\cdot p_{34} + f_{s_2}\cdot\theta_1\cdot p_{12}\cdot p_{24} + f_{s_3}\cdot\theta_1\cdot p_{13}\cdot p_{34} + f_{s_4}\cdot\theta_1\cdot p_{14} +$$
$$+ f_{s_5}\cdot\theta_2\cdot p_{23}\cdot p_{34} + f_{s_6}\cdot\theta_2\cdot p_{24} + f_{s_7}\cdot\theta_3\cdot p_{34} + f_{s_8}\cdot\theta_5$$

METODA GEOMORFOLOŠKOG TRENUTNOG JEDINIČNOG HIDROGRAMA

- Definiranje karakterističnih brzina tečenja;
- Izbor teorijske funkcije i promjenljive veličine koju ona opisuje;
- Opis hidrografske strukture riječne mreže.

Definiranje karakterističnih brzina tečenja