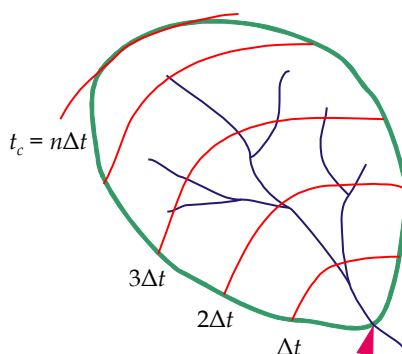


Modeliranje direktnog oticaja

- Transformacija efektivne kiše u oticaj = formiranje hidrograma direktnog oticaja na izlaznom profilu
 - “propagacija” efektivne kiše do izlaznog profila sliva po putevima vode
- Vrste hidrograma oticaja prema načinu određivanja:
 - **Prirodni hidrogram** – dobija se direktno iz podataka osmatranja
 - **Sintetički hidrogram** – dobija se na osnovu karakteristika sliva i kiša
 - **Jedinični hidrogram** – hidrogram oticaja usled 1 mm efektivne kiše zadatog trajanja
 - **Bezdimenzionalni jedinični hidrogram** – hidrogram koji se koristi za predstavljanje više jediničnih hidrograma (crti se bezdimenzionalno u odnosu na vreme porasta hidrograma i u odnosu na maksimalnu ordinatu)

Modeliranje direktnog oticaja

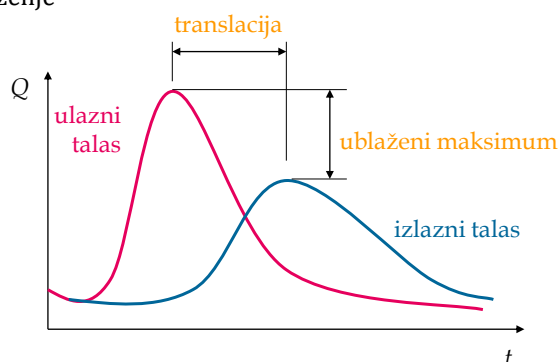
- Vreme putovanja i vreme koncentracije
 - izohrone: linije istog vremena putovanja vode do izlaznog profila sliva



Modeliranje direktnog oticaja

■ Princip transformacije talasa

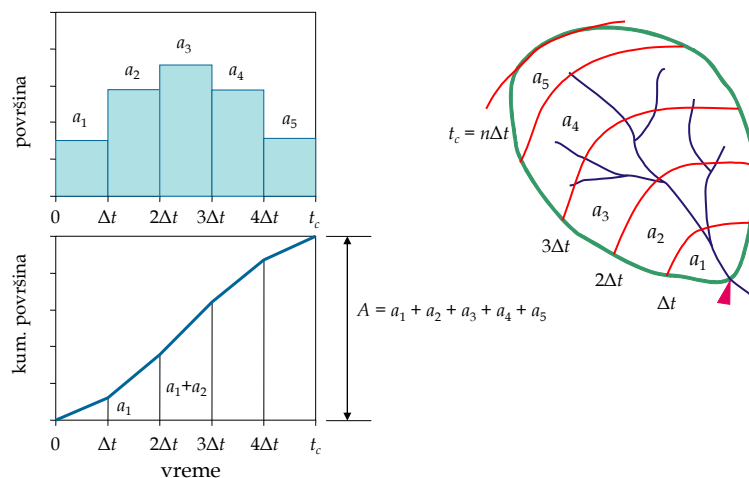
1. translacija
2. ublaženje



Modeliranje direktnog oticaja

■ Dijagram vreme-površina

- može se shvatiti kao dotok u hipotetički rezervoar na izlaznom profilu sliva



Metoda izohrona

Metoda izohrona

- čista translacija efektivne kiše
- kiša pada ravnomerno po površini sliva

$$t = \Delta t: V_{o1} = i_{e1} \cdot \Delta t \cdot a_1 \rightarrow Q_1 = i_{e1} \cdot a_1$$

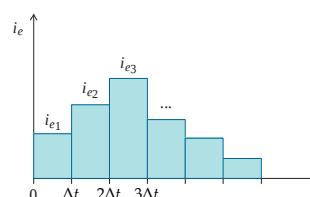
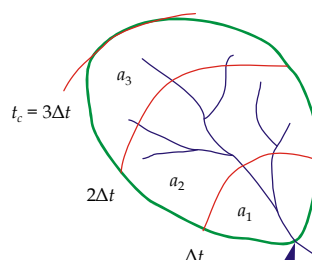
$$t = 2\Delta t: Q_2 = i_{e2} \cdot a_1 + i_{e1} \cdot a_2$$

$$t = 3\Delta t: Q_3 = i_{e3} \cdot a_1 + i_{e2} \cdot a_2 + i_{e1} \cdot a_3$$

$$t = 4\Delta t: Q_4 = i_{e4} \cdot a_1 + i_{e3} \cdot a_2 + i_{e2} \cdot a_3$$

$$t = 5\Delta t: Q_5 = i_{e5} \cdot a_1 + i_{e4} \cdot a_2 + i_{e3} \cdot a_3$$

...



Metoda izohrona

Metoda izohrona – specijalni slučajevi

- kiša pada ravnomerno po površini sliva, $i_e = \text{const}$
- $a_i = a$
- $t_k \rightarrow \infty$

$$t = \Delta t: Q_1 = i_{e1} \cdot a_1 = i_e a = \frac{1}{3} i_e A$$

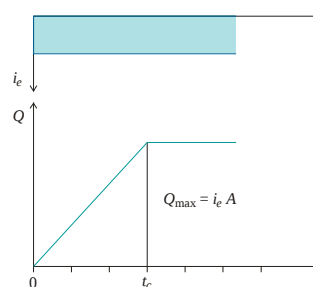
$$t = 2\Delta t: Q_2 = i_{e2} \cdot a_1 + i_{e1} \cdot a_2 = 2i_e a = \frac{2}{3} i_e A$$

$$t = 3\Delta t: Q_3 = i_{e3} \cdot a_1 + i_{e2} \cdot a_2 + i_{e1} \cdot a_3 = 3i_e a = i_e A$$

$$t = 4\Delta t: Q_4 = i_{e4} \cdot a_1 + i_{e3} \cdot a_2 + i_{e2} \cdot a_3 = 3i_e a = i_e A$$

$$t = 5\Delta t: Q_5 = i_{e5} \cdot a_1 + i_{e4} \cdot a_2 + i_{e3} \cdot a_3 = 3i_e a = i_e A$$

...



Metoda izohrona

Metoda izohrona – specijalni slučajevi

- kiša pada ravnomerno po površini sliva, $i_e = \text{const}$
- $a_i = a$
- $t_k = t_c$

$$t = \Delta t: Q_1 = i_{e1} \cdot a_1 = i_e a = \frac{1}{3} i_e A$$

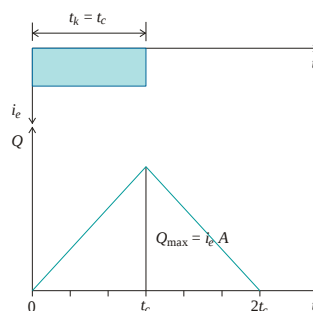
$$t = 2\Delta t: Q_2 = i_{e2} \cdot a_1 + i_{e1} \cdot a_2 = 2i_e a = \frac{2}{3} i_e A$$

$$t = 3\Delta t: Q_3 = i_{e3} \cdot a_1 + i_{e2} \cdot a_2 + i_{e1} \cdot a_3 = 3i_e a = i_e A$$

$$t = 4\Delta t: Q_4 = 0 \cdot a_1 + i_{e3} \cdot a_2 + i_{e2} \cdot a_3 = 2i_e a = \frac{2}{3} i_e A$$

$$t = 5\Delta t: Q_5 = 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + i_{e3} \cdot a_3 = i_e a = \frac{1}{3} i_e A$$

$$t = 6\Delta t: Q_6 = 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + 0 \cdot a_3 = 0$$



Metoda izohrona

Metoda izohrona – specijalni slučajevi

- kiša pada ravnomerno po površini sliva, $i_e = \text{const}$
- $a_i = a$
- $t_k > t_c$

$$t_c = 3\Delta t, \quad t_k = 4\Delta t$$

$$t = \Delta t: Q_1 = i_{e1} \cdot a_1 = i_e a = \frac{1}{3} i_e A$$

$$t = 2\Delta t: Q_2 = i_{e2} \cdot a_1 + i_{e1} \cdot a_2 = 2i_e a = \frac{2}{3} i_e A$$

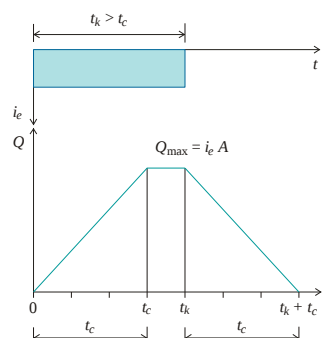
$$t = 3\Delta t: Q_3 = i_{e3} \cdot a_1 + i_{e2} \cdot a_2 + i_{e1} \cdot a_3 = 3i_e a = i_e A$$

$$t = 4\Delta t: Q_4 = i_{e4} \cdot a_1 + i_{e3} \cdot a_2 + i_{e2} \cdot a_3 = 3i_e a = i_e A$$

$$t = 5\Delta t: Q_5 = 0 \cdot a_1 + i_{e4} \cdot a_2 + i_{e3} \cdot a_3 = 2i_e a = \frac{2}{3} i_e A$$

$$t = 6\Delta t: Q_6 = 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + i_{e4} \cdot a_3 = i_e a = \frac{1}{3} i_e A$$

$$t = 7\Delta t: Q_7 = 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + 0 \cdot a_3 = 0$$



Metoda izohrona

Metoda izohrona – specijalni slučajevi

- kiša pada ravnomerno po površini sliva, $i_e = \text{const}$
- $a_i = a$
- $t_k < t_c$

$$t_c = 3\Delta t, \quad t_k = 2\Delta t$$

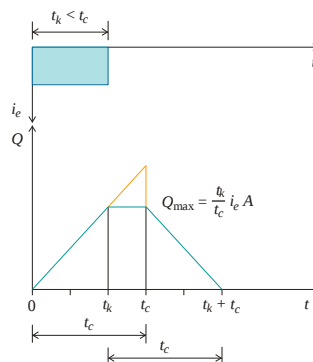
$$t = \Delta t: \quad Q_1 = i_{e1} \cdot a_1 = i_e a = \frac{1}{3} i_e A$$

$$t = 2\Delta t: \quad Q_2 = i_{e2} \cdot a_1 + i_{e1} \cdot a_2 = 2i_e a = \frac{2}{3} i_e A$$

$$t = 3\Delta t: \quad Q_3 = 0 \cdot a_1 + i_{e2} \cdot a_2 + i_{e1} \cdot a_3 = 2i_e a = \frac{2}{3} i_e A$$

$$t = 4\Delta t: \quad Q_4 = 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + i_{e2} \cdot a_3 = i_e a = \frac{1}{3} i_e A$$

$$t = 5\Delta t: \quad Q_5 = 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + 0 \cdot a_3 = 0$$



Racionalna metoda

Racionalna metoda

- Mulvaney, 1850

$$Q = \eta \cdot i \cdot A$$

η – koeficijent oticaja

i – intenzitet kiše trajanja $t_k = t_c$

A – površina sliva

Osnovne pretpostavke:

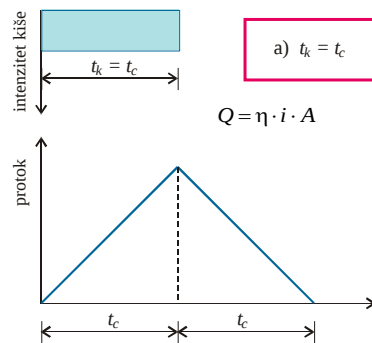
- intenzitet efektivne kiše konstantan tokom trajanja kiše
- kiša ravnomerno raspoređena na slivu

Primena

- za male slivove (preporuke: do 25 km²)
- kao metoda za dimenzionisanje kolektora kišne kanalizacije

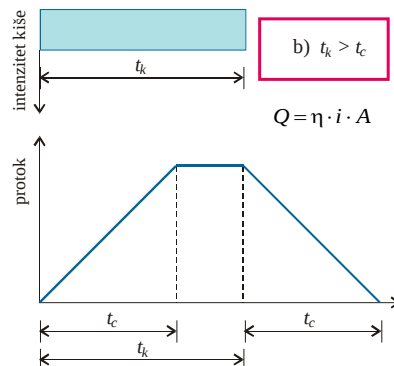
Racionalna metoda

■ Tri osnovna slučaja



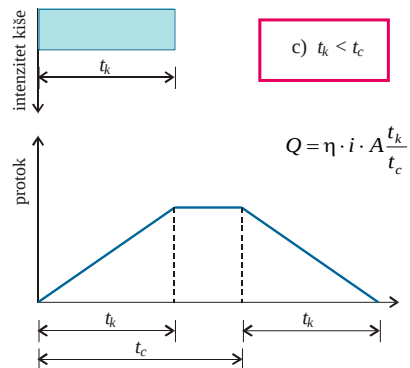
Racionalna metoda

■ Tri osnovna slučaja



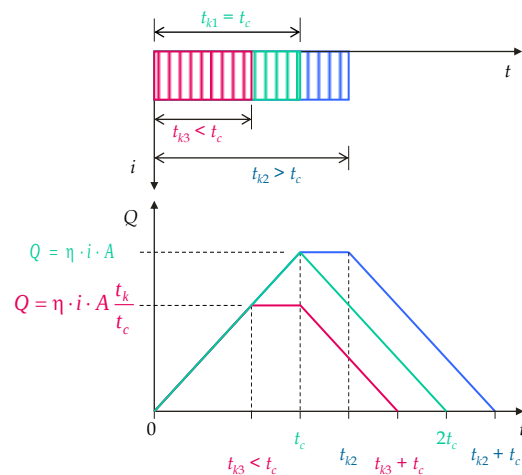
Racionalna metoda

■ Tri osnovna slučaja



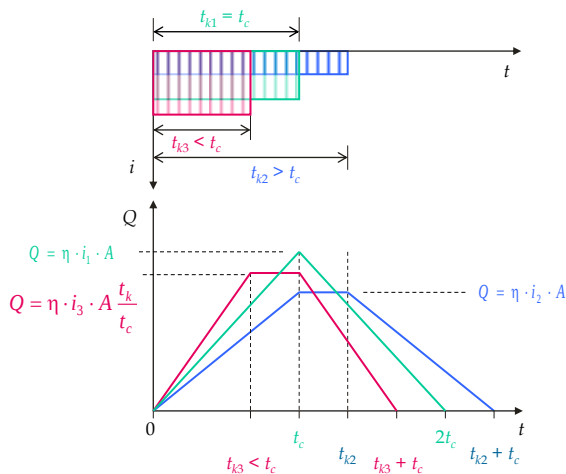
Racionalna metoda

■ Poređenje tri osnovna slučaja



Racionalna metoda

- Poređenje tri osnovna slučaja sa odgovarajućim računskim kišama iste verovatnoće pojave



Racionalna metoda

- Primer 1 – određivanje merodavnog protoka za dimenzionisanje kolektora kišne kanalizacije
 - sliv površine $A = 8 \text{ km}^2$, vremena koncentracije $t_c = 60 \text{ min}$, koeficijent oticaja $\eta = 0.4$
 - poznata zavisnost ITP za obližnju kišomernu stanicu
- odrediti merodavni protok povratnog perioda $T = 10$ godina

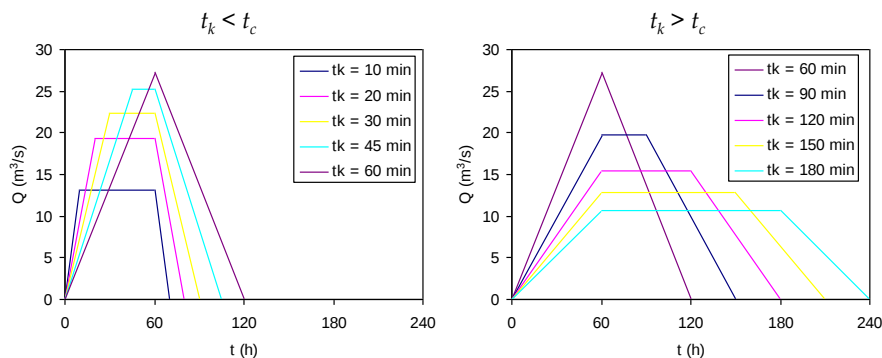
iz ITP za $T = 10$ god.	t_k (min)	10	20	30	45	60	90	120	150	180
	i_{10} (mm/min)	1.48	1.09	0.84	0.63	0.51	0.37	0.29	0.24	0.20
		$t_k < t_c$	$t_k < t_c$	$t_k < t_c$	$t_k < t_c$	$t_k = t_c$	$t_k > t_c$	$t_k > t_c$	$t_k > t_c$	$t_k > t_c$
	$\eta \cdot i \cdot A$	78.9	58.1	44.8	33.6	27.2	19.7	15.5	12.8	10.7
	$Q_{\max}$ (m ³ /s)	13.2	19.4	22.4	25.2	27.2	19.7	15.5	12.8	10.7

$Q_{\max} = \eta \cdot i \cdot A \cdot t_k / t_c$

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

Racionalna metoda

■ Primer 1 – određivanje merodavnog protoka za dimenzionisanje kolektora kišne kanalizacije

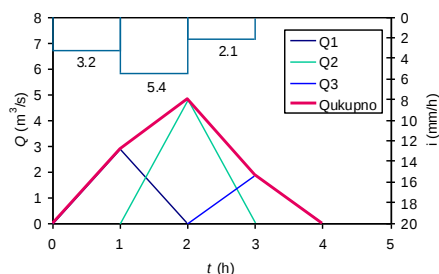


Racionalna metoda

■ Primer 2 – hidrogram oticaja od neravnomerne kiše

- sliv površine $A = 8 \text{ km}^2$, vremena koncentracije $t_c = 60 \text{ min}$, koeficijent oticaja $\eta = 0.4$
- na obližnjoj kišomernoj stanici osmotrena kišna epizoda trajanja $t_k = 180 \text{ min}$, sa časovnim visinama kiše od 3.2, 5.4 i 2.1 mm
- odrediti hidrogram oticaja od osmotrene kišne epizode

t (h)	0 – 1	1 – 2	2 – 3
ΔP (mm)	3.2	5.4	2.1
i (mm/h)	3.2	5.4	2.1
i_e (mm/h)	1.28	2.16	0.84
$Q_{\max}$ (m^3/s)	2.84	4.80	1.87



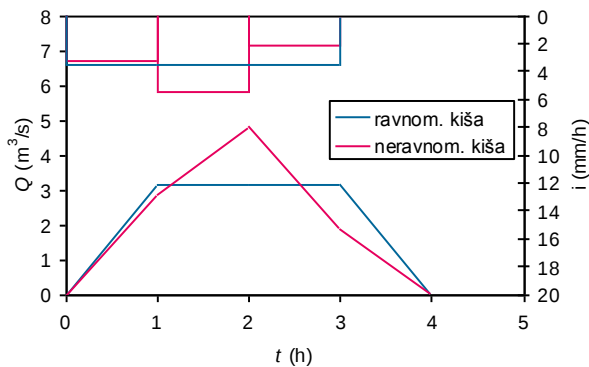
Racionalna metoda

■ Primer 2 – hidrogram oticaja od neravnomerne kiše

- poređenje sa ravnomernom kišom

$$i_{sr} = \frac{(3.2 + 5.4 + 2.1) \text{ mm}}{3 \text{ h}} = 3.57 \text{ mm/h}$$

$$Q_m = \eta \cdot i_{sr} \cdot A = 0.4 \cdot 3.57 \cdot \frac{10^{-3}}{60} \cdot 8 \cdot 10^6 = 3.17 \text{ m}^3/\text{s}$$

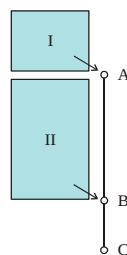


Racionalna metoda

■ Primer 3 – dimenzionisanje kolektora u nizu

- kolektor drenira dve slivne površine
- poznata zavisnost ITP za obližnju kišomernu stanicu, koja se može prikazati u obliku:

$$i(t_k, T) = \frac{35.3 \cdot T^{0.175}}{t_k + 27} \quad [\text{mm/min}], \quad t_k [\text{min}]$$



sliv	I	II
A (ha)	2	4
t _c (min)	10	15
η	0.7	0.6

kolektor	AB	BC
L (m)	150	100
J (%)	2.3	1.6
n	0.013	0.013

- odrediti merodavne protoke povratnog perioda 5 godina za dimenzionisanje deonice AB i BC

Racionalna metoda

Primer 3

- deonica AB

$$i(10,5) = \frac{35.3 \cdot 5^{0.175}}{10 + 27} = 1.264 \text{ mm/min}$$

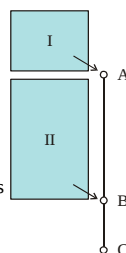
$$Q_{AB} = \eta_1 \cdot i(10,5) \cdot A_1 = 0.7 \cdot 1.264 \cdot \frac{10^{-3}}{60} \cdot 2 \cdot 10^4 = 2951 \text{ l/s}$$

$$Q_{AB} = \frac{1}{n} \frac{D^2 \pi}{4} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \sqrt{J_d} \rightarrow D = \left(\frac{n Q_{AB} \cdot 4^{5/3}}{\pi \sqrt{J_d}} \right)^{3/8} =$$

$$= \left(\frac{0.013 \cdot 0.295 \cdot 4^{5/3}}{\pi \sqrt{0.023}} \right)^{3/8} = 0.390 \text{ m}, \quad D_{AB} = 400 \text{ mm}$$

$$v_{AB} = \frac{Q_{AB}}{(D_{AB}^2 \pi / 4)} = \frac{0.295}{(0.4^2 \pi / 4)} = 2.35 \text{ m/s}$$

$$t_{AB} = \frac{L_{AB}}{v_{AB}} = \frac{150}{2.35} = 63.9 \text{ s} = 1.06 \text{ min}$$



sliv	I	II
A (ha)	2	4
t_c (min)	10	15
η	0.7	0.6

kolektor	AB	BC
L (m)	150	100
J (%)	2.3	1.6
n	0.013	0.013

$$t_{c,B} = \max \begin{Bmatrix} t_{c1} + t_{AB} \\ t_{c2} \end{Bmatrix} =$$

$$= \max \begin{Bmatrix} 10 + 1.06 \\ 15 \end{Bmatrix} = 15 \text{ min}$$

Racionalna metoda

Primer 3

- deonica BC

$$i(15,5) = \frac{35.3 \cdot 5^{0.175}}{15 + 27} = 1.114 \text{ mm/min}$$

$$\eta = \frac{\eta_1 A_1 + \eta_2 A_2}{A} = \frac{0.7 \cdot 2 + 0.6 \cdot 4}{6} = 0.633$$

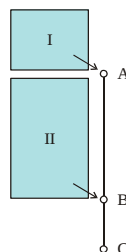
$$Q_{BC} = i(15,5) \cdot \eta \cdot A =$$

$$= 1.114 \cdot \frac{10^{-3}}{60} \cdot 0.633 \cdot 6 \cdot 10^4 = 7061 \text{ l/s}$$

$$Q_{BC} = \frac{1}{n} \frac{D^2 \pi}{4} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \sqrt{J_d} \rightarrow D = \left(\frac{0.013 \cdot 0.706 \cdot 4^{5/3}}{\pi \sqrt{0.016}} \right)^{3/8} = 0.579 \text{ m}, \quad D_{BC} = 600 \text{ mm}$$

$$v_{BC} = \frac{Q_{BC}}{(D_{BC}^2 \pi / 4)} = \frac{0.706}{(0.6^2 \pi / 4)} = 2.50 \text{ m/s}$$

$$t_{BC} = \frac{L_{BC}}{v_{BC}} = \frac{100}{2.50} = 40 \text{ s} = 0.67 \text{ min}$$



sliv	I	II
A (ha)	2	4
t_c (min)	10	15
η	0.7	0.6

kolektor	AB	BC
L (m)	150	100
J (%)	2.3	1.6
n	0.013	0.013

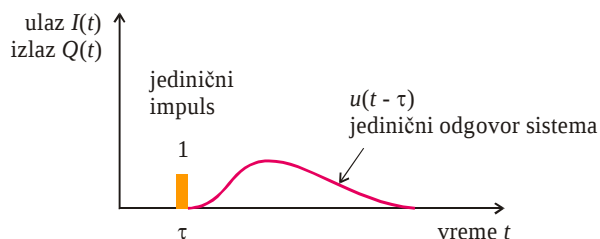
$$t_{c,C} = t_{c,B} + t_{BC} = 15 + 0.67 = 15.67 \text{ min}$$

Jedinični hidrogram

- Definicija: jedinični hidrogram = hidrogram direktnog oticaja usled jedinične efektivne kiše (1 mm) konstantnog intenziteta koja je ravnomerno raspoređena po površini sliva
- Osnovne pretpostavke:
 - intenzitet efektivne kiše konstantan tokom trajanja kiše
 - efektivna kiša ravnomerno raspoređena na slivu
 - za efektivnu kišu zadatog trajanja baza hidrograma oticaja je uvek ista, a ordinate su proporcionalne ukupnom sloju oticaja (ukupnoj efektivnoj kiši)
 - jedinični hidrogram je jedinstven za dati sliv i nepromenljiv u vremenu

Jedinični hidrogram

- Primena teorije linearnih sistema - sliv se tretira kao linearni sistem
- Definiše odgovor sistema (izlaz) na jedinični impuls (ulaz)

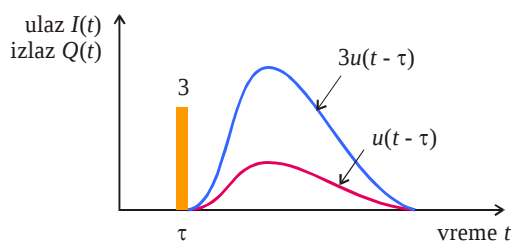


- jedinični impuls = efekt. kiša kratkog trajanja $\Delta t \rightarrow 0$, takva da je $i \cdot \Delta t = 1 \text{ mm}$
- interval Δt treba da bude dovoljno mali tako da se može uzeti da je $i \approx \text{const.}$

Jedinični hidrogram

■ Teorija linearnih sistema:

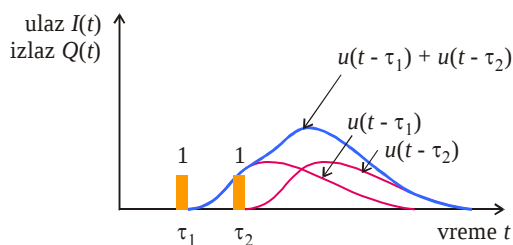
- princip proporcionalnosti: odgovor sistema na impuls veličine c jednak je odgovoru sistema na jedinični impuls pomnoženom sa c



Jedinični hidrogram

■ Teorija linearnih sistema:

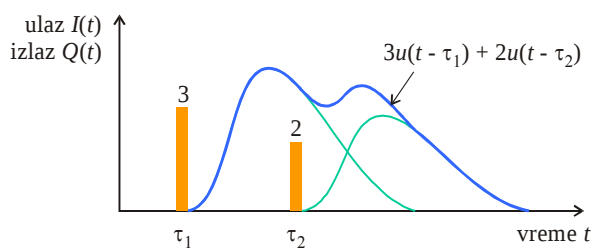
- princip superpozicije: odgovor sistema na dva jedinična impulsa jednak je zbiru odgovora na svaki od dva impulsa



Jedinični hidrogram

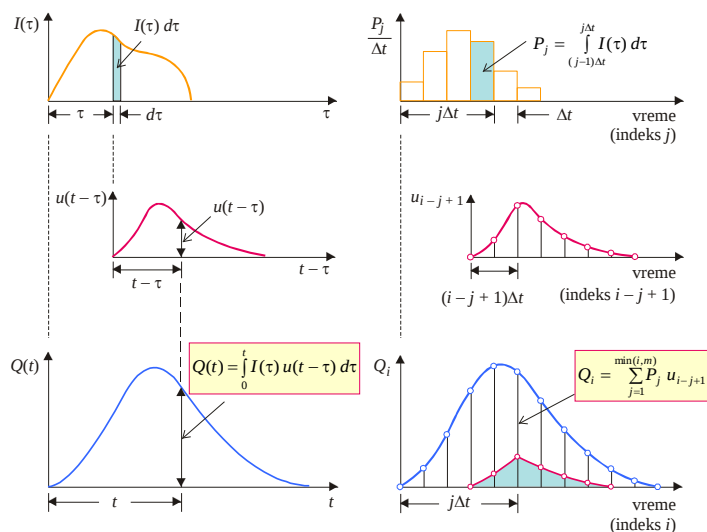
Teorija linearnih sistema:

- princip superpozicije i princip proporcionalnosti zajedno



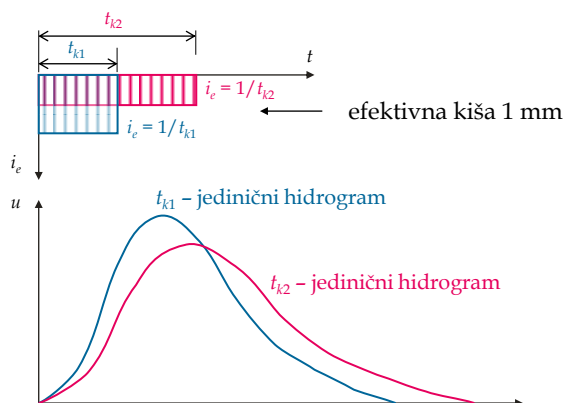
Jedinični hidrogram

- Odgovor (izlaz) linearnog sistema $Q(t)$ na ulaz $I(t)$ opisuje se integralom ili zbirom **konvolucije**



Jedinični hidrogram

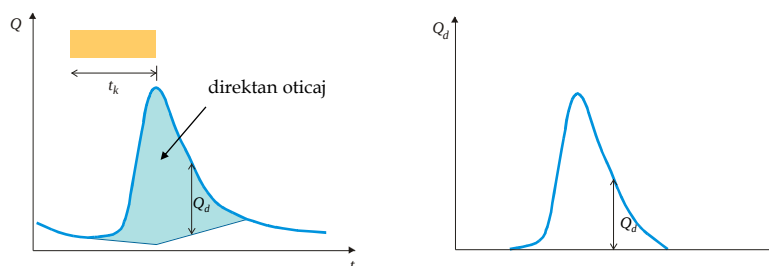
- JH važi za jedno trajanje kiše



Jedinični hidrogram

- Određivanje na osnovu osmotrenih podataka (identifikacija)

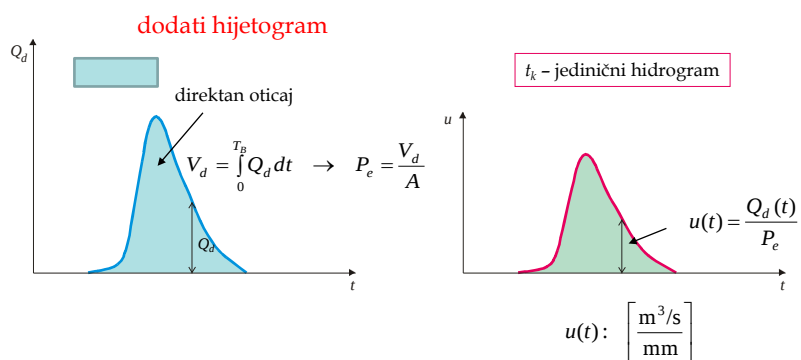
1. odvajanje direktnog i baznog oticaja



Jedinični hidrogram

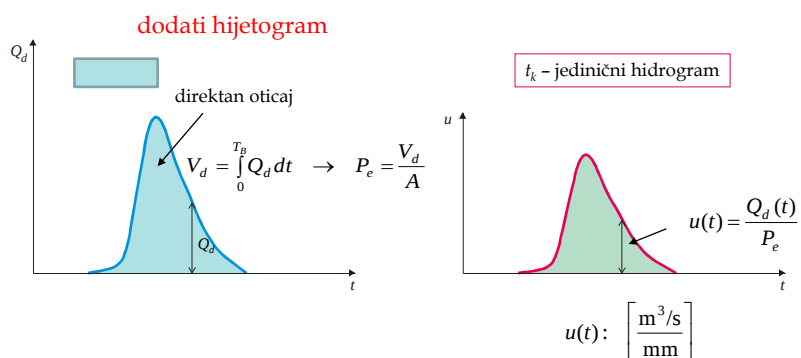
■ Određivanje na osnovu osmotrenih podataka (identifikacija)

2. određivanje efektivne kiše i proračun JH



Jedinični hidrogram

■ Određivanje na osnovu osmotrenih podataka (identifikacija) – trajanje efektivne kise



Jedinični hidrogram

■ Određivanje na osnovu osmotrenih podataka (identifikacija)

- 3. osrednjavanje JH iz više epizoda

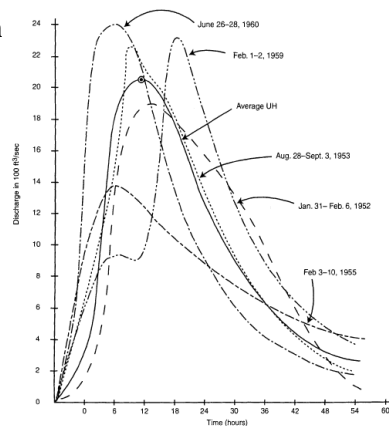
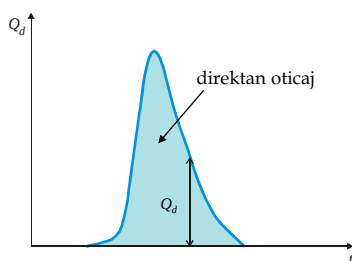


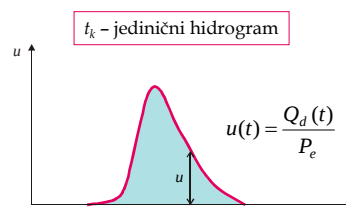
FIGURE 9-16 Fitted unit hydrographs from five storm events on White Oak Bayou, TX. (Hare, 1970)

Jedinični hidrogram

■ Važna karakteristika JH



$$\int_0^{T_B} Q_d(t) dt = V_d = P_e \cdot A$$

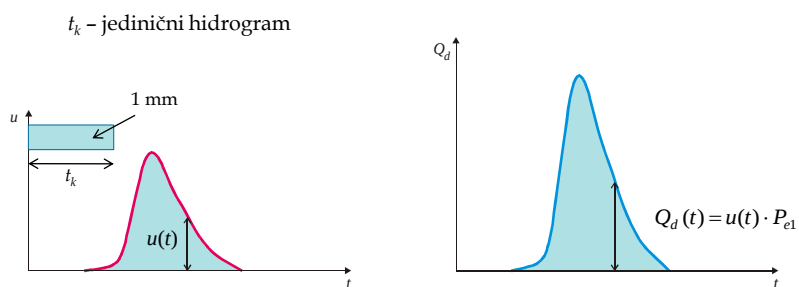


$$\int_0^{T_B} u(t) dt = \int_0^{T_B} \frac{Q_d(t)}{P_e} dt = \frac{1}{P_e} \int_0^{T_B} Q_d(t) dt = \frac{1}{P_e} \cdot V_d = A$$

Jedinični hidrogram

■ Primena

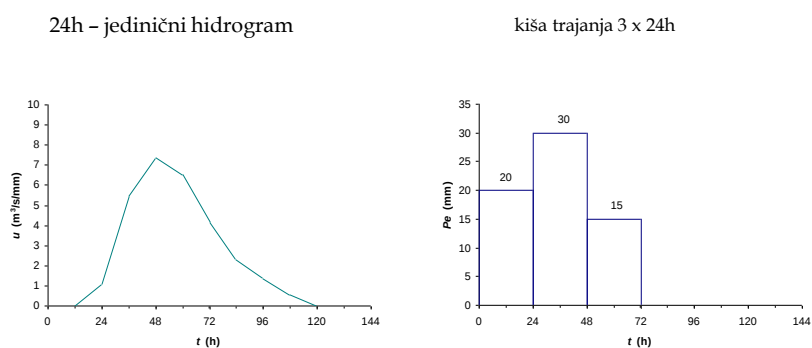
- za kišu trajanja t_k sa efektivnom visinom P_{e1} :



Jedinični hidrogram

■ Primena

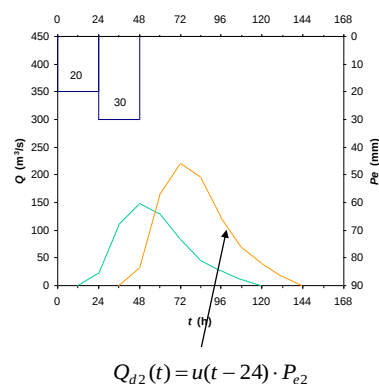
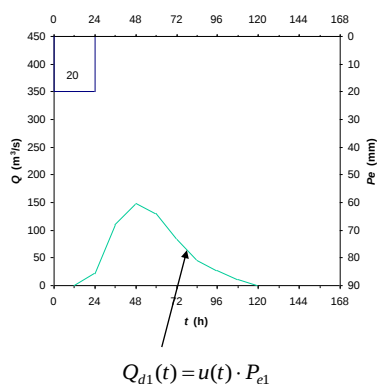
- za složenu kišu trajanja nt_k : superpozicija n elementarnih hidrograma



Jedinični hidrogram

■ Primena

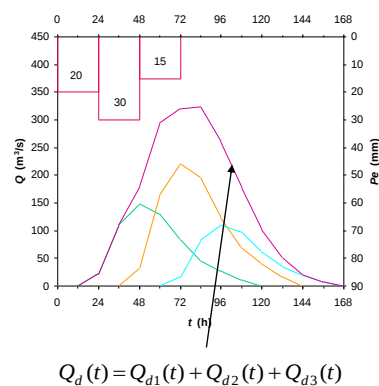
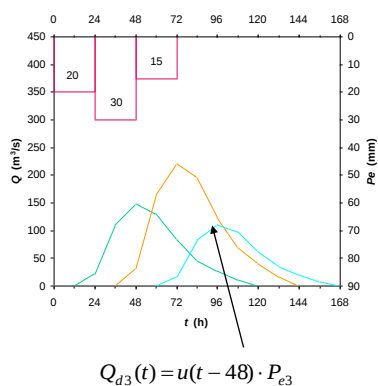
- za složenu kišu trajanja nt_k : superpozicija n elementarnih hidrograma



Jedinični hidrogram

■ Primena

- za složenu kišu trajanja nt_k : superpozicija n elementarnih hidrograma

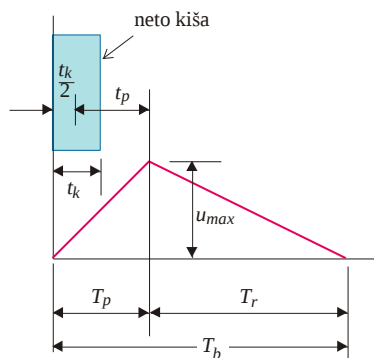


Sintetički jedinični hidrogrami

- Za neizučene slivove
- Konstruišu se na osnovu karakteristika:

- vreme podizanja T_p
- vreme opadanja T_r
- maksimalna ordinata u_{max}
- vreme kašnjenja t_p :
rastojanje između težišta
hijetograma efektivne kiše i
maksimalne ordinate
jediničnog hidrograma

$$T_p = t_p + \frac{t_k}{2}$$



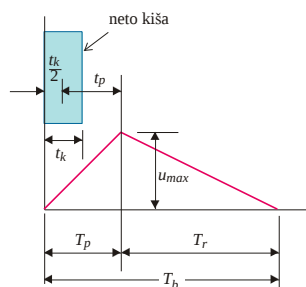
Sintetički jedinični hidrogrami

- regionalne veze između karakteristika sliva i karakteristika jediničnog hidrograma
 - npr. $t_p(L, L_c, I_{sl}), u_m(A)$
- karakteristike nisu nezavisne, jer je potrebno ispuniti uslov:

$$\int_0^{T_B} u(t) dt = A$$

Sintetički jedinični hidrogrami

■ Sintetički jedinični hidrogram po SCS



$$T_r = 1.67T_p \rightarrow T_B = 2.67T_p$$

$$T_p = t_p + \frac{t_k}{2}$$

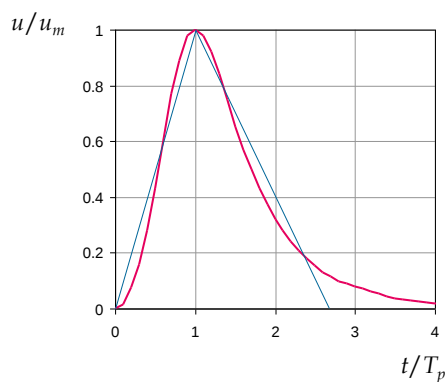
$$t_p \approx 0.6t_c$$

$$\int_0^{T_B} u(t) dt = \frac{u_m \cdot T_B}{2} = A \rightarrow u_m = 0.75 \frac{A}{T_p}$$

Sintetički jedinični hidrogrami

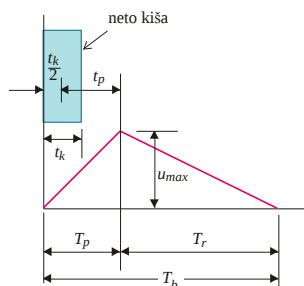
■ Sintetički jedinični hidrogram po SCS

- bezdimenzionalni krivolinijski JH



Sintetički jedinični hidrogrami

- Sintetički jedinični hidrogram po Jovanoviću i Brajkoviću
 - modifikovani sintetički JH po SCS



$$T_r = rT_p \rightarrow T_b = (1+r)T_p$$

$$T_p = t_p + \frac{t_k}{2}, \quad t_p = at_k + t_0$$

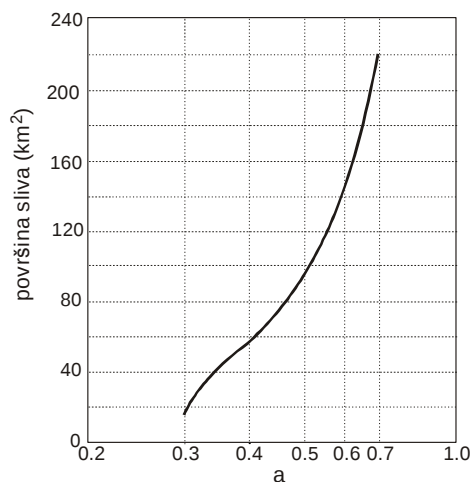
$$t_0 = 0.4L^{0.67} \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{J_u}} \right)^{0.086}$$

$$L, L_c \text{ [km]}, \quad J_u \text{ [%]}, \quad t_0 \text{ [h]}$$

$$a = f(A) = 0.3 \div 0.7$$

Sintetički jedinični hidrogrami

- Preporuke za koeficijent a



Sintetički jedinični hidrogrami

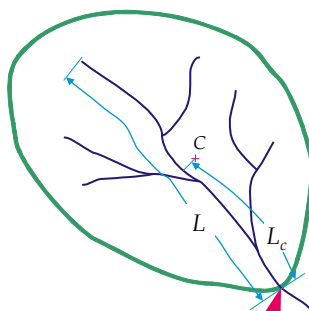
■ Preporuke za koeficijent r

Vrsta površine / metoda	Koeficijent r
racionalna metoda	1
urbano, veliki nagib	1.25
SCS	1.67
urbano/ruralno	2.25
ruralno, brdovito	3.33
ruralno, blagi nagib	5.5
ruralno, ravno	12.0

Sintetički jedinični hidrogrami

■ Neke fizičke karakteristike sliva

- L – dužina glavnog toka, meri se od izlaznog profila sliva po glavnom toku do izvora
- L_c – dužina glavnog toka do težišta sliva, meri se od izlaznog profila sliva do tačke na glavnom toku koja je najbliža težištu sliva

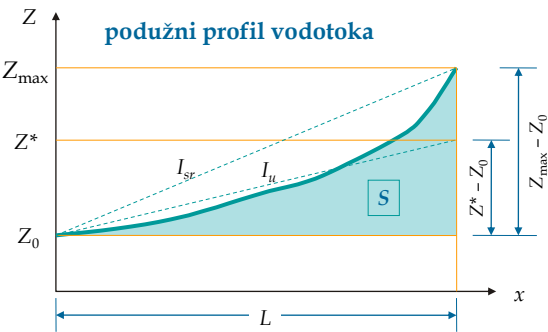


Sintetički jedinični hidrogrami

■ Neke fizičke karakteristike sliva

- I_{sr} – srednji nagib glavnog toka
- I_u – uravnati nagib glavnog toka, računa se pomoću uravnate kote Z^* koja se određuje iz uslova

$$S = \int (Z - Z_0) dx = \frac{1}{2} (Z^* - Z_0) L$$



$$I_{sr} = \frac{Z_{max} - Z_0}{L}$$

$$I_u = \frac{Z^* - Z_0}{L}$$

Sintetički jedinični hidrogrami

■ Procena vremena koncentracije – formule iz prakse

Metod/autor	Formula za t_c (min)	Napomena
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0195 L^{0.77} S^{-0.385}$ L = dužina toka od izvora do izlaza (m) S = prosečan nagib sliva (m/m)	za ruralne slivove sa jasno izraženim rečnim tokovima i strimim nagibima; za asfaltirane površine ili betonske kanale preporučuje se da se t_c pomnoži sa 0.4
FAA (1970)	$t_c = 0.7 (1.1 - c) L^{0.5} S^{-0.333}$ c = koeficijent oticaja u racionalnoj metodi L = dužina površinskog tečenja (m) S = nagib površine (m/m)	formula razvijena za odvodnjavanje aerodroma, a može se koristiti za urbane slivove
Kinematski talas	$t_c = 1.36 L^{0.6} n^{0.6} i^{-0.4} S^{-0.3}$ L = dužina površinskog tečenja (m) n = Manningov koeficijent hrapavosti i = intenzitet ef. kiše (mm/min) S = prosečan nagib površine (m/m)	za površinsko tečenje na razvijenim površinama; formula se rešava iterativno pošto sadrži intenzitet efektivne kiše koji zavisi od vremena koncentracije (uz korišćenje zavisnosti intenzitet kiše – trajanje – povratni period)
SCS metoda kašnjenja	$t_c = 0.0136 L^{0.8} S^{-0.5} (1000/CN - 9)^{0.7}$ L = najduži put tečenja na slivu (m) CN = SCS broj krive S = prosečan nagib sliva (m/m)	za male ruralne slivove; smatra se dobrom za potpuno pokrivene površine, dok za mešovite površine daje preценjeno t_c ; nastala od pretpostavke da je $t_c = 1.67 t_p$
SCS metoda brzina	$t_c = 1/60 \sum (L_i / v_i)$ L_i = dužina putanja tečenja (m) v_i = prosečna brzina tečenja (m/s)	podrazumeva određivanje brzina površinskog tečenja

Sintetički jedinični hidrogrami

- Približne prosečne brzine površinskog tečenja za proračun vremena koncentracije po SCS metodi brzina

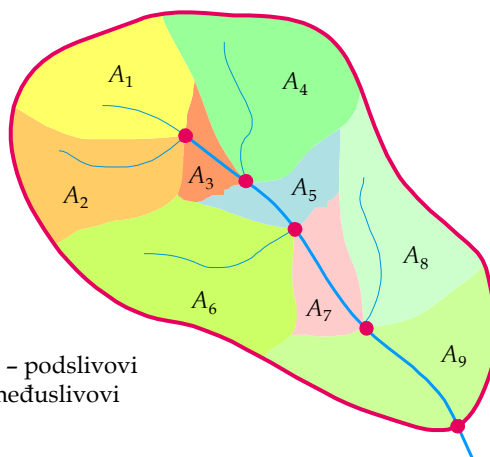
Vrsta površine	Nagib sliva (%)			
	0 – 3	4 – 7	8 – 11	12 –
šume	0 – 0.46	0.46 – 0.76	0.76 – 0.99	0.99 –
pašnjaci	0 – 0.76	0.76 – 1.07	1.07 – 1.30	1.30 –
obrađene	0 – 0.91	0.91 – 1.37	1.37 – 1.68	1.68 –
asfaltirane	0 – 2.59	2.59 – 4.11	4.11 – 5.18	5.18 –

Primena modela padavine-otica

- Urbana hidrologija
 - cilj: odvođenje voda sa gradskih površina – projektovanje i analiza rada sistema kišne kanalizacije
 - metode: racionalna metoda, sintetički jedinični hidrogrami, hidrodinamički modeli
- Manji neizučeni slivovi
 - cilj: uređenje sliva (regulacioni radovi), zahvatanje vode za industriju, hidroenergetiku, navodnjavanje
 - metode: sintetički jedinični hidrogrami
- Veći neizučeni slivovi
 - metode: obavezna dekompozicija sliva na manje slivove

Primena modela padavine-oticaaj

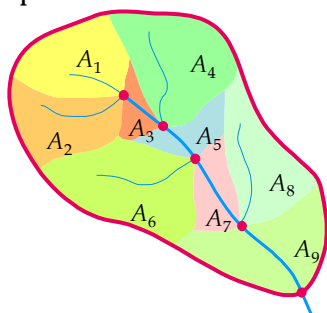
■ Dekompozicija sliva na podslivove



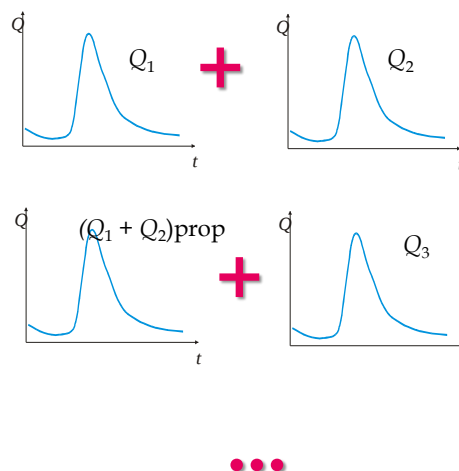
A_1, A_2, A_4, A_6, A_8 – podslivovi
 A_3, A_5, A_7, A_9 – međuslivovi

Primena modela padavine-oticaaj

■ Dekompozicija sliva na podslivove



A_1, A_2, A_4, A_6, A_8 – podslivovi
 A_3, A_5, A_7, A_9 – međuslivovi



Sintetički jedinični hidrogram

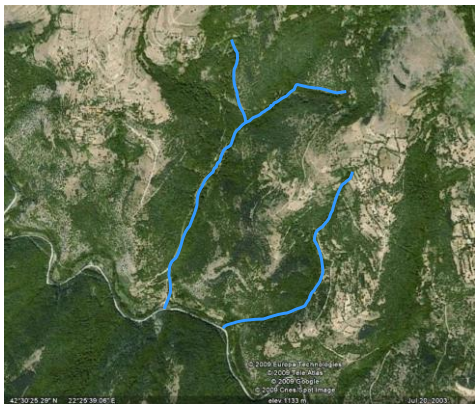
■ Primer 1 – Određivanje velikih voda na malim neizučnim slivovima

- Za potrebe projektovanja jalovišta za rudnik, razmatrana su dva profila potencijalnih brana
- Radi se o malim, izuzetno strmim slivovima na kojima je prevashodno zastupljena šuma kao vegetacioni pokrivač



Sintetički jedinični hidrogram

- Primer 1
- Slivovi do profila brana

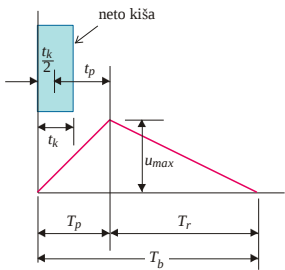


	Sliv 1	Sliv 2
površina sliva A (km ²)	1.164	2.56
dužina glavnog toka L (km)	2.37	2.717
dužina toka do težišta sliva L_c (km)	1.020	0.900
nadmorska visina izlaznog profila Z_0 (mnm)	860	848
najveća nadmorska visina Z_{max} (mnm)	1403	1412
visinska razlika H (m)	543	564
uravnata visinska razlika H_u (m)	500.7	549.8
uravnati nagib sliva J_u (%)	21.1%	20.2%

Sintetički jedinični hidrogrami

■ Primer 1

- SJH po Jovanoviću i Brajkoviću – sliv 2



$$t_0 = 0.4L^{0.67} \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{J_u}} \right)^{0.086} = 0.74 \text{ h}$$
$$t_p = at_k + t_0 = 0.3t_k + 0.74$$
$$T_p = t_p + \frac{t_k}{2} = 0.3t_k + 0.74 + \frac{t_k}{2} = 0.8t_k + 0.74$$
$$T_r = rT_p = 1.67T_p, \quad T_B = 2.67T_p$$

- Proračun efektivne kiše: SCS metoda

■ CN = 73

$$d = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) = 93.95 \text{ mm}$$

$$P_e = \frac{(P - 0.2d)^2}{P + 0.8d}$$

Sintetički jedinični hidrogrami

■ Primer 1

- Sliv 2:

merodavno trajanje kiše

t_k (h)	0.5 h	0.75 h	1 h	1.5 h	2 h
t_p (h)	0.89	0.97	1.04	1.19	1.34
T_p (h)	1.14	1.34	1.54	1.94	2.34
T_r (h)	1.91	2.24	2.57	3.24	3.91
T_B (h)	3.05	3.58	4.12	5.18	6.25
u_m (m ³ /s/mm)	0.467	0.397	0.346	0.274	0.227
P_{100} (mm)	66.0	75.8	81.1	82.5	83.3
$P_{e,100}$ (mm)	15.8	21.5	24.9	25.7	26.2
Q_{max} (m ³ /s)	7.36	8.55	8.59	7.06	5.97

merodavni protok (100-god. velika voda)

Sintetički jedinični hidrogrami

■ Primer 1

- Sliv 2:
- SJH za trajanja kiše 0.5 – 2 h
- 100-godišnji računski hidrogrami oticaja

