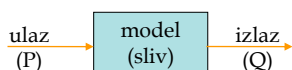


Veza između padavina i oticaja

- Izučen sliv
 - postoje merenja na izlaznom profilu
- Neizučeni sliv
 - ne postoje merenja na izlaznom profilu → modeliranje procesa padavine-oticaaj

Modeli fizičkih sistema

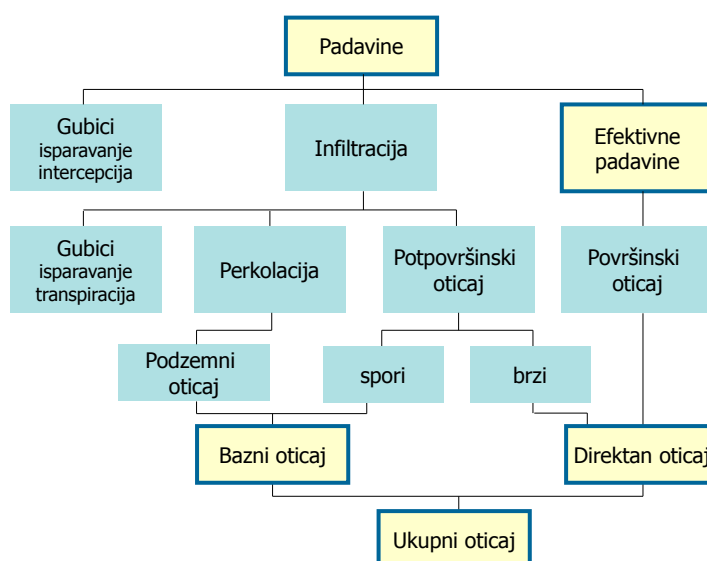
- Uprošćene predstave fizičkih sistema i procesa koje se koriste za analizu i prognozu rada sistema
 - fizički modeli
 - laboratorijski uslovi?
 - matematički modeli
 - jedna ili više jednačina kojima se opisuje ponašanje sistema (sliva)
- “Model padavine-oticaaj” – matematički model procesa transformacije padavina u oticaj
 - na osnovu poznatih padavina određuje se nepoznat oticaj sa razmatranog sliva



Modeli padavine-oticaaj

- Različit stepen uprošćavanja stvarnih procesa – različita shematizacija procesa
 - zavisi od raspoloživih ulaznih podataka i konkretnog zadatka tj. informacija koje treba da pruži, npr.
 - za određivanje poplavnog talasa određene verovatnoće pojave: modelira se direktan oticaaj, dovoljna procena gubitaka na infiltraciju
 - za ocenu ponašanja sliva u budućim uslovima nakon planiranih promena na slivu: modeliranje oticaja u dužem periodu vremena na osnovu dugačkog zapisa kiša, evapotranspiracija i potpovršinski procesi imaju značajnu ulogu u formiranju oticaja, detaljniji model koji može da prati promenu vlažnosti na slivu

Shematizacija procesa oticanja



Vrste modela padavine-oticaaj

Podela	Kategorija	Opis
Prema vrsti ulaza	Model događaja/ epizode	Simulira jednu kišnu epizodu.
	Kontinualni model	Simulira oticaaj u dužem vremenskom periodu, za vreme kišnih epizoda i između njih.
Prema prostornoj promjenljivosti	Prostorno raspodeljeni model	Prostorna promjenljivost karakteristika sliva i procesa eksplicitno se uzima u obzir.
	Prostorno homogen model	Prostorna promjenljivost karakteristika sliva i procesa se zanemaruje ili uprosečuje.
Prema tretiranju varijacija	Deterministički model	Ulaz, parametri i izlaz se posmatraju kao da nemaju slučajne varijacije.
	Stohastički model	Slučajne varijacije ulaza, parametara i izlaza se opisuju u modelu i uključujuju u modeliranje izlaza.
Prema vrsti parametara	Model sa osmotrenim (izmerenim) parametrima	Model u kome se parametri mogu odrediti bilo direktnim merenjem bilo indirektno na osnovu karakteristika sistema.
	Model sa kalibrisanim parametrima	Model čiji se parametri ne mogu izmeriti, već se određuju postupkom kalibracije na osnovu izmerenih vrednosti ulaza i izlaza.

Komponente modela padavine-oticaaj

- Modeli efektivne kiše = proračun gubitaka
 - transformacija ukupne (bruto) kiše u efektivnu (neto) kišu
 - zapremina oticaja
- Modeli hidrograma direktnog oticaja
 - transformacija efektivne kiše u direktan oticaaj
 - prostorno-vremenska preraspodela efektivne kiše u oticaaj
- Modeli baznog oticaja
 - simulacija sporog potpovršinskog i podzemnog oticaja
- Modeli tečenja u vodotocima
 - simulacija tečenja u koritima vodotoka
 - transformacija (propagacija) poplavnog talasa
- Drugi modeli
 - simulacija rada objekata (obilazni kanali, akumulacije, retenzije, ...)

Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ Gubici:

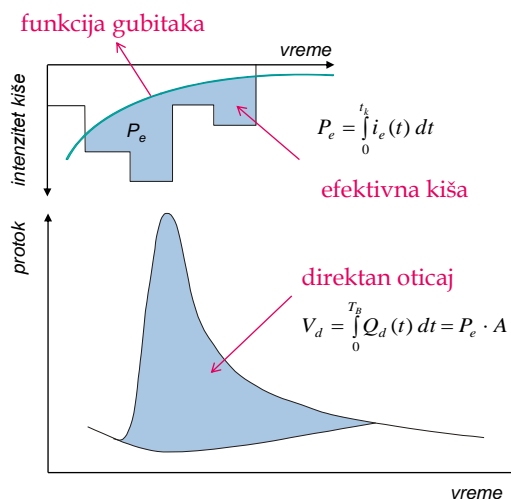
- isparavanje, ET → uči se u Drenažnim sistemima/Navodnjavanju
- intercepcija
- zadržavanje u depresijama
- infiltracija
 - metoda Green-Ampt → uči se u Drenažnim sistemima/Navodnjavanju

■ Modeli:

- konstantan gubitak, početni + konstantan gubitak
- proporcionalni gubitak
- Hortonova jednačina infiltracije
- SCS CN

Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ Modeli efektivne kiše / gubitaka u modelima epizoda

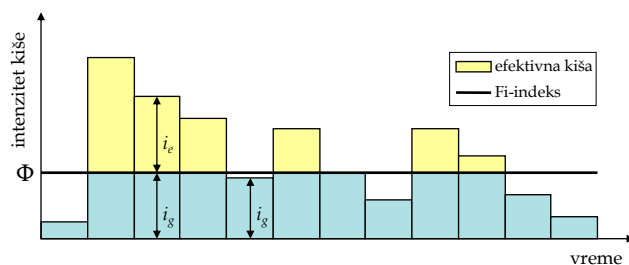


Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

Metoda konstantnih gubitaka

- Φ -indeks

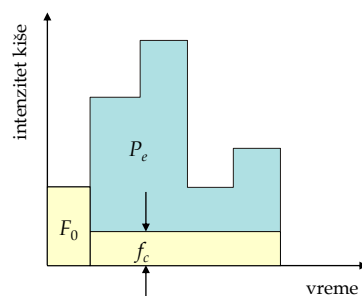
$$i_g = \begin{cases} \Phi, & i > \Phi \\ i, & i < \Phi \end{cases} \quad i_e = i - i_g = \begin{cases} i - \Phi, & i > \Phi \\ 0, & i < \Phi \end{cases}$$



Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

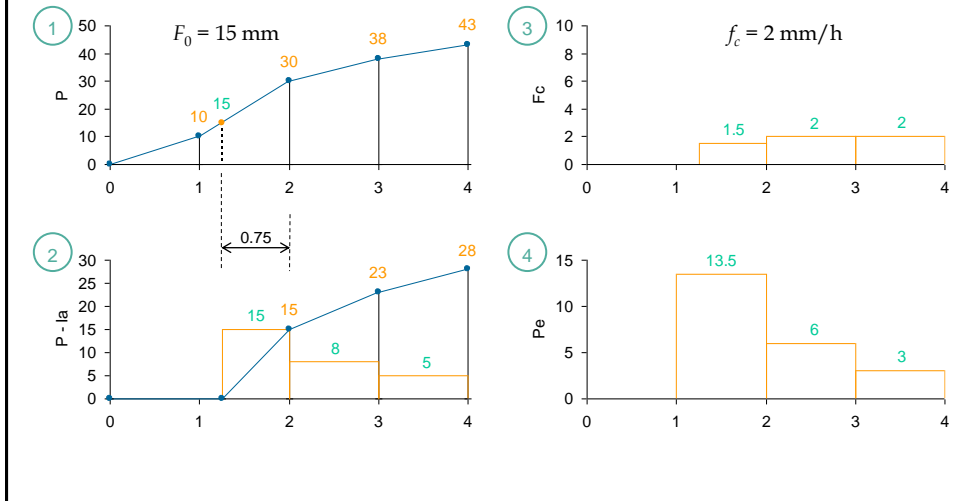
Metoda konstantnih gubitaka sa početnim gubitkom

- početni gubitak F_0
- konstantan gubitak f_c
 - zavise od prethodnih padavina, vrste zemljišta, namene površina



Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

Metoda konstantnih gubitaka sa početnim gubitkom



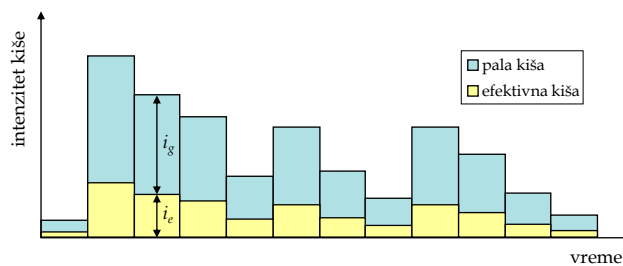
Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

Metoda proporcionalnih gubitaka

- koeficijent oticaja η kao koeficijent proporcionalnosti

$$i_e = \eta \cdot i$$

$$i_g = (1 - \eta) \cdot i$$



Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

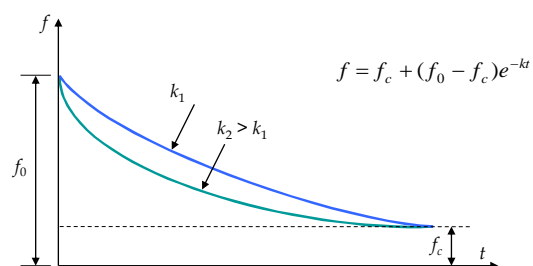
■ Hortonova jednačina

- parametri:

f_0 – početna infiltracija, zavisi od prethodne vlažnosti tla

f_c – krajnja infiltracija (koef. filtracije u zasićenom tlu)

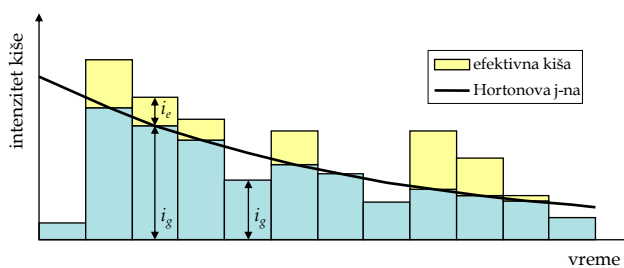
k – brzina upijanja, zavisi od vrste tla



Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ Hortonova jednačina

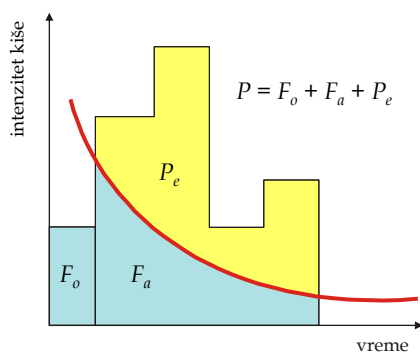
$$i_g = \begin{cases} f, & i > f \\ i, & i < f \end{cases} \quad i_e = i - i_g = \begin{cases} i - f, & i > f \\ 0, & i < f \end{cases}$$



Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ SCS metoda

- Soil Conservation Service, US Dept. of Agriculture



$$\frac{P_e}{P - F_0} = \frac{F_a}{d} \rightarrow \frac{P_e}{P - F_0} = \frac{P - F_0 - P_e}{d}$$

d - kapacitet tla za upijanje

$$P_e = \frac{(P - F_0)^2}{P - F_0 + d}$$

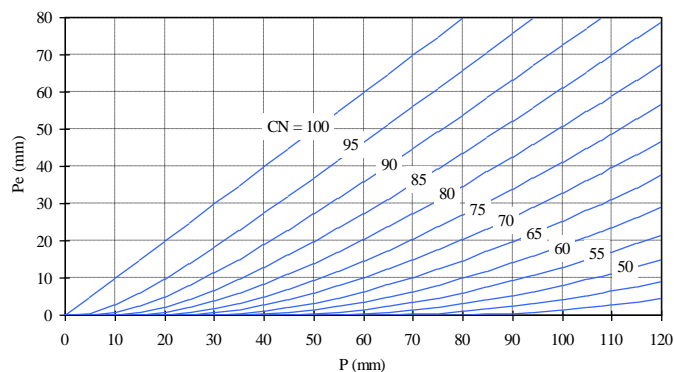
$$F_0 = 0.2d \rightarrow P_e = \frac{(P - 0.2d)^2}{P + 0.8d}$$

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

Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ SCS metoda

$$P_e = \frac{(P - 0.2d)^2}{P + 0.8d} \quad d = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \text{ [mm]}$$



Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ SCS metoda

- Broj krive CN zavisi od
 - hidrološke grupe tla (A – peskovi, B, C, D – gline)
 - vrste površine (namene i stanja)
 - važi za prosečne uslove vlažnosti na slivu ($F_0 = 0.2d$)

- Uslovi prethodne vlažnosti zemljišta I, II i III – korekcija broja CN
 - uslovi I – suvi prethodni uslovi
 - uslovi II – prosečna prethodna vlažnost ($F_0 = 0.2d$)
 - uslovi III – velika prethodna vlažnost

$$CN_I = \frac{4.2 CN_{II}}{10 - 0.058 CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{23 CN_{II}}{10 + 0.13 CN_{II}}$$

Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ SCS metoda

- broj krive CN

Namena zemljišta	Hidrološka grupa tla			
	A	B	C	D
Obrađeno zemljište: u smeru pada terena	72	81	88	91
po izohipsama ili terasama	62	71	78	81
Pašnjak ili prirodna livada:				
sa slabim uslovima za upijanje	68	79	86	89
sa dobrim prilikama za upijanje	39	61	74	80
Livada stalna (kultivirana)				
sa dobrim prilikama za upijanje	30	58	71	78
Šuma: sa slabim uslovima za upijanje	45	66	77	83
sa dobrim prilikama za upijanje	25	55	70	77
Otvoren prostor, travnjaci, travnati sportski tereni, groblja i sl.				
dobri uslovi: trava na 75% ili više površine	39	61	74	80
srednji uslovi: trava na 50% do 75% površine	49	69	79	84

Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

- SCS metoda
 - broj krive CN

Namena zemljišta	Hidrološka grupa tla			
	A	B	C	D
Gradska jezgra, površine sa poslovnom i komercijalnom namenom (85% nepropusnih površina)	89	92	94	95
Industrijske zone (72% nepropusnih površina)	81	88	91	93
Stambene zone				
sa 65% nepropusnih površina	77	85	90	92
sa 38% nepropusnih površina	61	75	83	87
sa 30% nepropusnih površina	57	72	81	86
sa 25% nepropusnih površina	54	70	80	85
sa 20% nepropusnih površina	51	68	79	84
Asfaltirani parkinzi, krovovi, prilazni putevi	98	98	98	98
Putevi i ulice				
asfaltirani sa ivičnjacima i slivnicima	98	98	98	98
nasuti šljunkom	76	85	89	91
zemljani	72	82	87	89

Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

- SCS metoda
 - Prosečan broj krive CN za sliv:

$$CN_{\text{sliv}} = \sum CN_i \cdot \frac{A_i}{A}$$

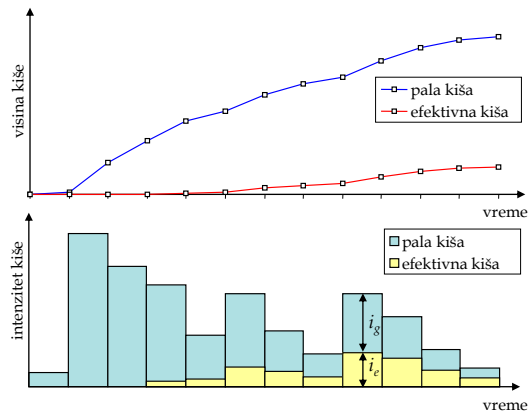
- Primer:

Sastav tla (hidrološka grupa B)	Hidrološki broj CN	Procenat površina	
(1)	(2)	(3)	(4) = (2) · (3)
Oranica, obrada u smeru pada, dobar plodored	78	56.2	4384
Mahunjače, obrada po izohipsama, dobar plodored	69	37.5	2588
Livada, stalna	58	6.3	365
Ukupno:		100.0	7337
Prosečan hidrološki broj CN = 7337 / 100 = 73.37			

Modeliranje efektivne kiše (gubitaka)

■ SCS metoda

- Proračun efektivne kiše preko sumarne linije kiše



$$P_e(t) = \begin{cases} \frac{[P(t) - F_0]^2}{P(t) - F_0 + d}, & P(t) > F_0 \\ 0, & P(t) < F_0 \end{cases}$$