



UNIVERZITET U TUZLI  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKI FAKULTET



# HIDROLOGIJA

Prof. dr. sc. NEDIM SULJIĆ, dipl.ing.građ.

1

## HIDROMETEOROLOGIJA

•Proučava atmosferske procese koji utiču na vodne resurse na Zemlji

•Osnovni hidrometeorološki procesi – parametri:

- 1) Atmosfera
- 2) Zračenje
- 3) Pritisak zraka
- 4) Temperatura
- 5) Vlažnost zraka
- 6) Vjetar
- 7) Isparavanje
- 8) Padavine

•Isparavanje i padavine  $\rightleftharpoons$  fundamentalne baze hidrološkog ciklusa

2

### 1) Atmosfera

•Gasoviti omotač oko Zemlje  $\rightleftharpoons$  debljina cca 100 km

•Na H do 25km: azot (N) 78,09%; kisik (O) 20,95%; argon (Ar) 0,93%; CO<sub>2</sub> 0,03%

•Promjenjivi sastojci atmosfere:

-voda (sva tri agregatna stanja)

-lebeće čvrste čestice (organske i anorganske – prašina, dim)



-Bitna uloga formiranja oblaka i padavina i kondenzacije vodene pare-

•Gustina atmosfere ( $\rho_a$ )  $\rightleftharpoons$  postepeno opada sa H

•Gustina atmosfere ( $\rho_a$ )  $\rightleftharpoons$  opada sa porastom t

3

### 2) Zračenje

•Zračenje (radijacija) = oblik energije koju elektromagnetni talasi ili materijalne čestice nose usmjereno prostorom

•Zračenje u atmosferi:

a) zračenje Sunca (insolacija)

b) zračenje površine Zemlje

c) zračenje atmosfere

#### a) Zračenje Sunca

-Posljedica emitovanja Sunčeve energije u svemir u obliku **elektromagn. talasa**

-**Insolacija** = trajanje sisanja Sunca

-Mjerenje: različitim instrumentima  $\rightleftharpoons$  trajanje zračenja Sunca mjeri se **HELIOGRAF**

-Mjerenje komponenti zračenja mjeri se instrumentima: **piranometar, aktinograf** ...

-Instrumentima mjerimo razliku t između apsorpcijskih tijela (tamna boja) izloženih zračenju i tijela koja imaju t sličnu t zraka (svijetla boja)

4

Insolacija = trajanje sijanja Sunca (mjerjenje)



Campbell-Stokesov heliograf

- 1853 godine ⇒ Campbell
- puna staklena kugla prečnika 10 cm
- sunčeve se zrake fokusiraju i spaljuju crni papir
- mjeri se heliografom
- mjerna jedinica sati



Traka za Campbell-Stokesov heliograf

5

**Heliograf** ⇒ bilježi količinu insolacije Sunca na određenom mjestu  
 rezultati pružaju informacije o vremenu i klimi na geografskom području  
 informacije korisne u meteorologiji, nauci, poljoprivredi, građevinarstvu itd

Stokes ⇒ 1879. unaprijedio Campbellov instrument ⇒ koristi se danas.  
 Stokesov instrument koristi staklenu kuglu (obično D=100 mm)  
 Kugla od visokokvalitetnog stakla  
 Kugla u sredini metalnog ležišta koje se može prilagođavati prema geografskoj širini.

Papirna traka se stavlja iza kugle u smjeru istok - zapad

Sunčevo zračenje koncentrira kroz kuglu

progorijeva traku toplinskim djelovanjem

Na traci označeni sati ⇒ ustanoviti kad i koliko je Sunce sijalo.

6

•Mjerenje Sunčeve radijacije:

**numerički pokazatelji** ⇒ dobijanje karakteristika Sunčeve radijacije

•Numerički pokazatelji ⇒ dobijeni empirijskim putem

Volfov broj ; Indeks Viteljsa ; Indeks Girsaa . . .

•Volfov broj ⇒ pokazuje aktivnost Sunca u obrazovanju sunčevih pjega

$$W_0 = K * (10g + f)$$

$W_0$  – Volfov broj

$K$  – koeficijent ⇒ f-ja uslova osmatranja i vrste instrumenta

$g$  – ukupan broj grupe sunčevih pjega (grupa sastavljena od 1, 2 ili nekoliko pjega)

$f$  – ukupan broj sunčevih pjega (trajanja pjega od nekoliko h do nekoliko mjeseci)

•Serije godišnjih suma  $W_0$  postoje od 1700 godine

•Postoji niz bitnih korelacija između  $W_0$  i mnogih geofizičkih pojava

7

#### b) Zračenje površine Zemlje

-Posljedica zagrijavanja Zemlje Sunčevim zračenjem

-Srednja t Zemlje niska (**cca 14°C**) ⇒ njeno zračenje dugotalasno i tamno

-Jačina zračenja f-ja fizičko hemijskih osobina tla

-Jačina zračenja izražena pri vedrom nebu i niskoj sadržini vodene pare u zraku

#### c) Zračenje atmosfere

-Posljedica njenog zagrijavanja tamnim dugovalnim zrakama koje otpušta površina Zemlje

-Bitan izvor topline za Zemlju ⇒ ima klimatološko i biološko značenje

8

### 3) Pritisak zraka

- Pritisak zraka = **atmosferski pritisak ( $p_a$ )**
- $p_a$  = pritisak stupca zraka (atmosfera) na horizontalnu površinu od  $1\text{cm}^2$
- Jedinica:  $\text{Pa} = \text{N} / \text{m}^2$
- Jedinica: bar  $\Leftrightarrow 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- U inženjerskim proračunima:  $p_a = 1 \text{ bar} \Leftrightarrow$  **NORMALNI ATMOSF. PRITISAK**
- Normalni atm. pritisak = pritisaku vodenog stupca  $h=10\text{m}$
- Mjerenje pritiska zraka **pojedinačnim očitavanjima:**
  - a) **živin barometar** (staklena cijev  $l=90\text{cm}$  u kojoj je pun potpritisak-apsolutni vakuum. Cijev uronjena u posudu sa živom. Određuje se **h** stupca Hg.
  - b) **aneroid** (hermetički zatvorena kutija od valovitog lima iz koje je potpuno ili djelimično odstranjen zrak. Kako se mijenja  $p_a \Rightarrow$  pomiču se stijenke kutije. Pomicanje se prenosi na pokazivač  $\Leftrightarrow$  očitavanje<sup>9</sup>

**Barometar**  $\Leftrightarrow$  uređaj za mjerenje vazdušnog pritiska.

Galileo Galilei  $\Leftrightarrow$  1640. dokazao da vazduh ima težinu.

Evangelista Torricelli  $\Leftrightarrow$  odredio 1644. težinu atmosf. vazduha ili vazdušni pritisak.

utvrdio da promjena  $p$  vazduha mijenja visinu živinog stuba  
time su date osnove barometra

Po načinu rada postoje dvije vrste:

**metalni**  $\Leftrightarrow$  **aneroidi**  
**barometri sa tekućinom**  $\Leftrightarrow$  **živin barometar**



Metalni barometar

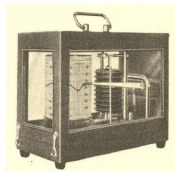


Živin barometar

10

•Mjerenje pritiska zraka **neprekidnim bilježenjem:**

- zapisom na papirnu traku ili elektronskim memorisanjem (u f-ji t)
- instrument **BAROGRAF** (radi na principu aneroida)



Barograf



**BAROGRAF:** -kontinualno mjeri pritisak zraka  
-sastoji se od skupa Vidieovih kutija međusobno spojenih

11

### 4) Temperatura

Temperatura = toplinsko stanje tijela izraženo u stepenima

**U hidrometeorologiji bitni:**

- a) temperatura zraka
- b) temperatura tla
- c) temperatura vode

**a) Temperatura zraka**

- Bitan uticaj Sunčevog zračenja
- Mjerenje  $t$  zraka **pojedinačnim očitavanjima:**
  - termometrom (tačnost do  $1/10 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

•Na meteorološkim stanicama koristi se:

- obični živin termometar
- maksimalni živin termometar
- minimalni alkoholni termometar
- Assmanov psihrometar

12

- T zraka  $\Rightarrow$  **veoma bitan klimatski element**
  - T zraka  $\Rightarrow$  f-ja insolacije tj. toplotnog bilansa
  - Toplotni bilans  $\Rightarrow$  razlika primljene i izgubljene toplote
  - T zraka  $\Rightarrow$  **promjenjiva po vremenu i prostoru**
  - T zraka  $\Rightarrow$  **direktan uticaj na isparavanje, riječni oticaj i t d**
- T zraka  $\Rightarrow$  mjerena u termometarskom zaklonu na 2m visine iznad tla (°C)



13

- Pojedinačno očitavanje t zraka (prosjeck ili srednja vrijednost) prema izrazu:

$$T = 0,25(T_7 + T_{14} + 2T_{21})$$

Indeksi označavaju termine očitavanja t (7, 14 i 21 sat)

- Mjerenje t zraka **neprekidnim bilježenjem**  $\Rightarrow$  uređaj **TERMOGRAF**
- instrument za mjerenje t zraka  $\Rightarrow$  u meteorološkom zaklonu



2m iznad tla  $\Rightarrow$   
time eliminisan vjetar i P

Meteorološki zaklon

14



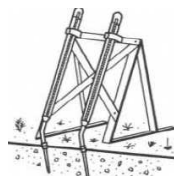
Meteorološki zaklon kod hidrotehničkog objekta

- Prosječna mjesečna t zraka = aritmet. sredina prosj. dnevnih t zraka u mjesecu
- Prosječna godišnja t zraka = aritmet. sredina prosj. mjesečnih t zraka u godini
- Višegodišnji prosjek (dnevne, mjesečne, godišnje) t zraka = aritmetička sredina prosječnih (dnevnih, mjesečnih, godišnjih) t zraka za promatrani period

15

#### b) Temperatura tla

- Bitan element toplotnog bilansa tla  $\Rightarrow$  površinski slojevi tla  $\Rightarrow$  Sunčeva energija
- Mjeri se **pojedinačnim očitavanjem**:  
geotermometar (sa dubinama 0, 2, 5, 10, 20, 30, 50 i 100cm ispod terena)
- Kolebanje t smanjuje se sa h slojeva tla  $\Rightarrow$  naglašen uticaj vegetacije



Geotermometar (koljenasti)

- Vegetacija** troši količine toplote na transpirac.
- Štiti tlo od direktne Sunčeve radijacije
- Noću vegetacija zadržava zračenje toplote u atmosferi  $\Rightarrow$  sprječava smanjenje t tla

-Mjerna jedinica °C.

16

### c) Temperatura vode

-t vode u rijeci

-mjeri se pojedinačnim očitavanjem (1xdnevno)  $\Rightarrow$  **obični termometar**

-mjerenje u sredini toka rijeke  $\Rightarrow$  **termometar u vodi 3 do 5 minuta**

Temperatura °C	Gustoća (g/cm³)	Specifična toplota (J/kg K)	Termalna provodnost (mW/K m)
0	0,99984	4,2176	561,0
10	0,99970	4,1921	580,0
20	0,99821	4,1818	598,4
30	0,99565	4,1784	615,4
40	0,99222	4,1785	630,5
50	0,98803	4,1806	643,5
60	0,98320	4,1843	654,3
70	0,97778	4,1895	663,1
80	0,97182	4,1963	670,0
90	0,96535	4,2050	675,3
100	0,95840	4,2159	679,1

**Specifična toplota**  $\Rightarrow$  količina **topline** koju **gram** neke tvari primi da bi mu se **temperatura** podigla za **1° C**

(za vodu iznosi 1.0 cal/g)

17

### 5) Vlažnost zraka

•Sadržaj vodene pare u zraku

•Značaj vodene pare u zraku: formiranje oblaka i **P** i apsorbira dio radijacije Zemlje

•Sadržaj vlage u zraku f-ja  $\Rightarrow$  **t** i **p** zraka

•**Zasićen zrak vodenom parom** = sadrži max. količinu vodene pare koju može primiti pri datoj **t** i **p**

•Vlažnost zraka  $\Rightarrow$  kondenzacija vodene pare  $\Rightarrow$  stvaranje magle, oblaka, kiše

•Značaj vlažnosti zraka  $\Rightarrow$  vlaga pri formiranju oblaka

apsorbovanje velikog dijela radijacije tla

regulisanje intenziteta gubitaka topline sa tla

18

### •Vlažnost zraka:

- apsolutna vlažnost
- relativna vlažnost
- deficit vlažnosti ili deficit zasićenosti
- pritisak vodene pare
- tačka rose (rosište)

a) **Apsolutna vlažnost** = masa vodene pare u 1m³ zraka. Mjeri se samo u laborat.

$$AV = \frac{m_w}{V_a}$$

b) **Relativna vlažnost** = stepen zasićenosti zraka vodenom parom. Odnos stvarne količine vlage u zraku i količine koja odgovara zasićenom zraku (ista **t** i **p**)

a) **Deficit vlažnosti** = manjak vodene pare u zraku do njegovog zasićenja. Povećanje deficita vlažnosti  $\Rightarrow$  raste mogućnost isparavanja

b) **Pritisak vodene pare** = bitan pokazatelj vlažnosti zraka. Mjeri se u mbar.

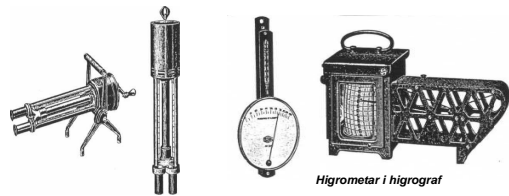
c) **Tačka rose** = **t** pri kojoj masa nezasićenog zraka postaje zasićena kada se hladi pri const. **p**. Hlađenjem zraka  $\Rightarrow$  kondenzacija vodene pare  $\Rightarrow$  **pojava rose**

19

•Mjerenje sadržaja vlage u atmosferi:

-**pojedinačnim očitavanjem** (psihometar, higrometar)

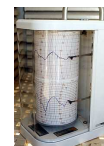
-**neprekidnim bilježenjem** (higrograf)



Assmanov psihometar

Higrometar i higrograf

-Mjerna jedinica = %



Higrograf

20

**HIGROMETAR** ⇒ glavnu ulogu ima ljudska dlaka

↓

nakon odstranjivanja masnoće (pranje u benzinu) ⇒ dlaka postaje higroskopna

ovlaživanjem ⇒ izduženje dlake

sušenjem ⇒ skraćenje dlake

promjena količine vlage u zraku ⇒ promjena L dlake


↓

u f-ji od tih promjena okreće se koturić sa kazaljkom na skali

skala podjeljena na 100 nejednakih podjela

↓

relativna vlažnost u momentu mjerenja



21

**HIGROGRAF** ⇒ const. mjerenje vlažnosti zraka ⇒ mjerenje na papiru

↓

ima sve dijelove barografa i termografa ⇒ mehaničke f-je iste

↓

kod hidrografa ⇒ glavna uloga ⇒ ljudska dlaka


Meteorološke stanice ⇒ mjeri se p vodene pare (e) i relativna vlažnost (R) ⇒ u %

↓

mjerenje, inače, svih veličina na meteorološkim stanicama vrši se u 7, 14 i 21 sat

$$e = e_7 + e_{14} + e_{21} / 3$$

$e_7, e_{14}, e_{21}$  – p vodene pare u 7, 14 i 21 sat



22


**6) Vjetar**

- Horizontalna komponenta zračnog strujanja uzrokovanoj nejednakom raspodjelom p zraka
- Vektorska veličina ⇒ ima smjer i jačinu (brzinu)
- Bitan u procesu isparavanja, t vlage i nastanka P

•Osnovni parametri vjetra:

- smjer
- jačina (brzina) ⇒ uređaj anemometar
- trajanje

Danas ⇒ pažnja na energiju vjetra kao na jedan od mogućih alternativnih i ekoloških izvora energije



23

•Smjer vjetra:

- mjeri se na 8 ili 16 tačaka kompasa
- izražava se u stepenima od sjevera (N)
- smjer vjetra = pravac iz koga vjetar duva

•Jačina odnosno brzina vjetra:

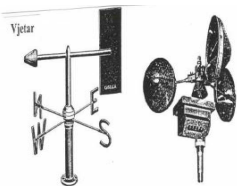
- dva parametra istog kvalitativnog obilježja
- prema Beaufortovoj ljestvici (od 0 do 12 bofora)

Redni broj	Naziv vjetra	Jačina vjetra u boforima	Srednja mjesna brzina u	
			čvorovima	km/h
01	02	03	04	05
1	Tišina	0	0 do 1	0,0 do 0,3
2	Lagan pjevitarac	1	1 do 3	0,3 do 1,5
3	Povjetarac	2	4 do 6	1,6 do 3,3
4	Slabi vjetar	3	7 do 10	3,4 do 5,4
5	Umjereni vjetar	4	11 do 16	5,5 do 7,9
6	Umjerenno jak vjetar	5	17 do 21	8,0 do 10,7
7	Jak vjetar	6	22 do 27	10,8 do 13,8
8	Vrlo jak vjetar	7	28 do 33	13,9 do 17,1
9	Otpući vjetar	8	34 do 40	17,2 do 20,7
10	Otpući vjetar	9	41 do 47	20,8 do 24,4
11	Zemlja odijuje	10	48 do 55	24,5 do 28,4
12	Otkrivena odijuje	11	56 do 63	28,5 do 32,6
13	Otkan	12	64 do 71	32,7 do 36,9

Podjela vjetrova

24

- v vjetra: u čvorovima  $\Rightarrow$  **1 čvor = 0,514 m/s**
- v vjetra mjeri se pojedinačnim očitavanjima (**anemometri**)
- v vjetra mjeri se neprekidnim bilježenjem (**anemograf**)
- Oba uređaja imaju i pokazivač smjera vjetra (vjetrokaz)



Anemometar i vjetrokaz

Najsnažniji izmjereni udar vjetra **408 km/h**

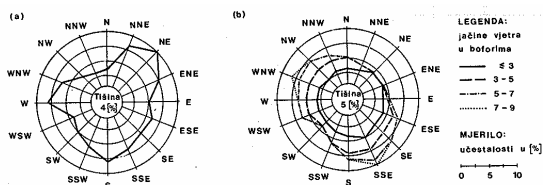
10. april 1996. godine  
u Australiji pri prolaska uragana Olivije.

25

•Trajanje vjetra:

- mjeri se u minutama i h
- inženjerska praksa: grafički prikaz karakteristika vjetra  $\Rightarrow$  **ruža vjetrova**
- dva tipa ruže vjetrova:

- a) ruža učestalosti duvanja vjetrova po smjerovima
- b) ruža učestalosti jačine ili v vjetrova po smjerovima



Ruže vjetrova: a) ruža učestalosti duvanja vjetrova  
b) ruža učestalosti jačine vjetrova

26

Vjetar  $\Rightarrow$  vrlo rijetko puše stalnom v  $\Rightarrow$  uobičajeno mijenja jačinu.

Izuzetak **monsuni** - vjetrovi koji na određenim područjima tokom dijela godine pušu stalnim smjerom i jačinom

Učešća pojedinih smjerova i prosječnih ili max. v vjetra u tim smjerovima prikazuje tzv. **ruža vjetrova** s naznačenim stranama svijeta

Na jačinu vjetra uz odnos p u atmosferi utiče i konfiguracija, prisustvo prirodnih i umjetnih prepreka i obraslost terena

uslovno rečeno to shvatamo kao **trenje** s podlogom



27

7) Isparavanje

- Prelaz vode u atmosferu u vidu vodene pare sa slobodne površine vode, sa tla i iz biljnog pokrivača
- Direktni i jedini gubitak u bilansu vode koja padne i oteče

•Isparavanje traje dok postoji:

- a) izvor vlage
- b) gradijent pritiska vodene pare (između površine sa koje se vrši isparavanje i atmosfere)
- c) izvor energije (Sunce, zrak, voda, tlo)

•Na intenzitet isparavanja utiču:

- t zraka
- t vode
- količina vlage u zraku
- p<sub>a</sub>
- intenzite insolacije
- hemijske osobine vode

28

•Razlikujemo dva osnovna oblika isparavanja:

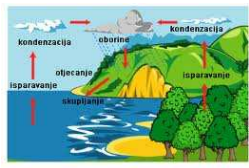
- a) Isparavanje sa slobodne vodene površine
- b) Sumarno isparavanje (ET)

•Sumarno isparavanje:

- a) Isparavanje sa terena
- b) Isparavanje sa biljaka (intercepcija)
- c) Isparavanje kroz biljke (transpiracija)



Isparavanje sa vodene površine



Kruženje vode – isparavanje bitno

29

•Tri vrste isparavanja:

- a) **evaporacija (E)**=transfer vode u atmosferu sa slobodne površi vode, sa golog tla i sa vode koja se nalazi na vegetaciji ili drugim predmetima
- b) **transpiracija (T)**=isparavanje kroz pore na lišću tj. kroz vegetaciju
- c) **evapotranspiracija (ET)**=uzajmno događanje E i T

•Proračun ET:

- moguće ET (oznaka PET)
- stvarne ET (oznaka ET)

-Moguća ET = ET pod pretpostavkom da količina vode za isparavanje nije ograničena  
Stvarna ET = ET pri ograničenom obnavljanju vlage ⇨ ET <= PET

30

•Stvarna i moguća ET na nekom slivu:

$$ET = (M_{stv} / M_{max}) PET$$

$M_{stv}$  – stvarni sadržaj vlage u slivu (mm)

$M_{max}$  – max mogući sadržaj vlage u slivu (mm)

-ET kompleksna ⇨ razvijen veliki broj postupaka za određivanje ET:

- a) teorijski postupci (zasnovani na procesu ET)
- b) analitički postupci (zasnovani na vodnom ili energetsom bilansu)
- c) empirijski postupci (zasnovani na odnosu izmjerene ET i klime)
- d) postupci direktnog mjerenja

31

•Empirijske metode proračuna ET koje se najviše koriste u hidro praksi:

- a) **Thornthwaiteova j-na (1944)**
- b) **Turcova j-na (1951)**

a) **Thornthwaiteova j-na**: proračun mjesečne moguće evapotranspiracije (PET)

$$PET_m = 16K_k \left[ \frac{10\bar{T}_m}{I_g} \right]^a$$

$K_k$  – korekcijski koeficijent (koriguje odnos mjesečne ET zbog variranja broja dana i trajanja dnevnog svjetla)

$T_m$  – višegodišnja srednja mjesečna t zraka

$I_g$  – godišnji indeks topline

$$I_g = \sum_{m=1}^{m=12} I_m \quad I_m = \left[ \frac{\bar{T}_m}{5} \right]^{1.514}$$

32



-Thornthwaiteova j-na temeljena na eksponencijalnom odnosu između srednje mjesečne t zraka i mjesečne moguće ET

-Izvedena na bazi mjerenja ET u **srednjim i istočnim dijelovima SAD**.

-Moguće je primijeniti i za drugačije klimatske uslove (bez većih odstupanja)

b) **Turcova j-na**: proračun godišnje stvame  $ET_g$  (mm)

$$ET_g = \frac{\bar{H}_g}{\sqrt{0.9 + [\bar{H}_g / (300 + 25\bar{T}_g + 0.05\bar{T}_g^3)]^2}}$$

$\bar{H}_g$  – višegodišnja srednja visina padavina (mm)

$\bar{T}_g$  – višegodišnja srednja t zraka (°C)

-Među najpoznatijim empirijskim j-nama za ocjenu godišnje ET

-Izvedena na osnovu godišnjih **P** i **t** zraka

-Dobijena korištenjem podataka sa **254 slivne površine sa 4 kontinenta**

33

•Hidrološka praksa  $\Rightarrow$  empirijske formule proračuna isparavanja sa vodene površi

zavisnost isparavanja u f-ji mjerenih meteoroloških veličina  
bitne formula **Mayera**, **formula Davidova**, **formula Zajkova**

**Formula Mayera (1937):**

-Isparavanje slatkovodnih vodenih površina

$$E = (15+3w)d$$

**E** – isparavanje sa vodene površine (mm mjesec)

**w** – srednja mjesečna v vjetra na visini 9m (m/s)

**d** – srednji mjesečni deficit vlažnosti vazduha (mmHg)

34

**Formula Davidova:**

-Isparavanje sa otvorenih površina bazena ili malih jezera

$$E = 11,9 \cdot d^{0,81} (1 + 0,125w)$$

**E** – isparavanje sa vodenih površina (mm mjesec)

**d** – srednji mjesečni deficit vlažnosti vazduha

**w** – srednja mjesečna v vjetra na standardnoj visini vjetrokaza (m/s)

-Ako nema podataka o vjetru  $\Rightarrow$  Davidov preporučuje:

$$E = 19,5 \cdot d^{0,8}$$

35

**Formula Zajkova (1960):**

-Isparavanje mjesečnih suma sa slobodne vodene površine

$$E = 0,15 \cdot n \cdot (1 + 0,85 \cdot w_1)^2 (e_0 - e)$$

**E** – mjesečne sume isparavanja sa slobodne vodene površine (mm mjesec)

**n** – broj dana u mjesecu

**w<sub>1</sub>** – srednja mjesečna v vjetra na visini 1m (m/s)

**e<sub>0</sub>** – srednja mjesečna vrijednost max. p vodene pare koja = t površine vode (mbar)

**e** – stvarni p vodene pare na visini 2m od površine vode (mbar)

Ako nema podataka o t vode  $\Rightarrow$  Zajkov preporučuje:

$$E = 0,16 \cdot c \cdot n \cdot d,78$$

**c** – parametar u f-ji t vode i vazduha  $\Rightarrow$  (1,4 do 2,2)

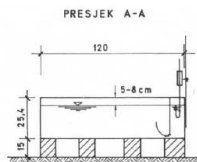
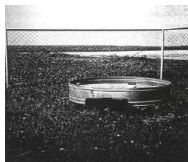
**d** – deficit vlažnosti vazduha na visini 2m (mbar)

36

•Mjerenje evaporacije: raznim vrstama isparitelja (evaporimetri)

•Isparitelji: a) isparitelj klase A b) Picheov isparitelj (stari i novi tip)

•Količina isparivanja kod oba tipa mjeri se u mm ili  $\text{cm}^3$  na osnovu očitavanja u 7 i 19h



Isparitelj klase A

-Isparitelj klase A: metalna posuda napunjena vodom  $D=120\text{cm}$  i  $h=25\text{cm}$   
evaporacija ekvivalentna sniženju nivoa vode u posudi

-Posude postavljene na drveno postolje (roštilj) na površini zemlje, ukopane u zemlju ili postavljene na plutajuću splav na vodenoj površini.



- Picheov isparitelj → montaža u meteorološku kućicu
- staklena cijev
- na cijevi utisnuta skala → mm vodene pare
- gornji kraj cijevi zatvoren
- cijev napunjena destilovanom vodom do nultog podeoka skale
- na donjem kraju cijevi → otvor na koji stavljamo upijajući papir

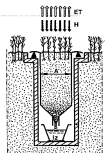
Picheov isparitelj sa ravnom cijevi

-Mjerenje transpiracije:

- a) fitometar
- b) potometar

instrumenti napunjeni zemljom ili vodom u kojima se uzgajaju biljke  
površine posuda hermetički zatvorene → sprječavanje evaporacije  
jedini gubitak vode (vlage) moguć transpiracijom

-Mjerenje evapotranspiracije: uređaj lizimetar

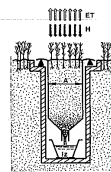


- ET - evapotranspiracija,
- H - oborine (mjere se),
- Iz - volumen vode izišao iz sanduka (mjeri se),
- A - površina horizontalnog presjeka sanduka,
- $\Delta V$  - porast volumena vode u sanduku (mjeri se).

$$(H - ET)A = \Delta V + I_z \Rightarrow ET = H - (\Delta V + I_z)/A$$

**Lizimetar:**

- sanduk napunjen zemljom
- uzgaja se razna vegetacija



- ET - evapotranspiracija,
- H - oborine (mjere se),
- Iz - volumen vode izišao iz sanduka (mjeri se),
- A - površina horizontalnog presjeka sanduka,
- $\Delta V$  - porast volumena vode u sanduku (mjeri se).

$$(H - ET)A = \Delta V + I_z \Rightarrow ET = H - (\Delta V + I_z)/A$$

**LIZIMETAR:**

- Ukopani sud napunjen zemljom → stanje približno kao u prirodi (na terenu)
- Sade se biljke → mjeri se ET biljaka
- Na dnu suda → drenaža koja sakuplja vodu koja je dotle prodršla → mjeri se
- Istovremeno mjere se i P → vještačko dolivanje vode → vlažnost podloge na const. nivou

mjeri se moguća ET (PET)

### 8) Padavine (oborine)

•Padavine = svi oblici kondenzirane i sublimirane vodene pare koji se na Zemlji pojave u tekućem ili čvrstom stanju

•Padavine ⇒ formiranje:

- na površini Zemlje (rosa, mraz, inje) ⇒ **horizontalne padavine**
- u oblacima (kiša, snijeg, grad) ⇒ **vertikalne padavine**

•**Ukupne padavine za određeni period:**

-visina kiše (mm vod. stupca) i visina snijega izražena kao ekvivalent vode

•Kiša: otiče neposredno po padanju na tlo

•Snijeg: vodena zaliha koja postepeno ulazi u hidrološki sistem

•Hidrološke analize: **padavine imaju temeljnu važnost**

•Hidrotehnička praksa: **primarni kiša i snijeg**

41

### -Nastanak padavina-

•Pretpostavke postojanja:

- vodne pare (posljedica isparavanja)
- proces kondenzacije i sublimacije (prelazak vodene pare u tečno ili čvrsto stanje)
- kondenzacijskih jezgara (čvrstečestice 1 do 5  $\mu$ ) ⇒ ubrzava se kondenzacija ili sublimacija

•Klasifikacija padavina:

- konvektivne padavine
- orografske padavine
- ciklonske padavine



42

### 1) Konvektivne padavine:

uslovljene **naglim zagrijavanjem zraka u kontaktu sa tlom**

vodena para se uzdiže i hladi

vodena para kondenzira se i pada na tlo u vidu kiše

### 2) Orografske padavine:

nastanak: mehaničko dizanje vlažnih horizontalnih zračnih struja

dolazi kod **isprečavanja planinskih lanaca** tokom kretanja zračnih masa

### 3) Ciklonske padavine:

najčešće kod nas

kretanje zračnih masa iz područja visokog **p** (ant ciklona) u područje niskog **p** (ciklona)

hlađenja toplih zračnih masa ⇒ dižu se u hladnije slojeve atmosfere nastaju padavine



43

### -Podjela kiša po intenzitetu-

- slabe kiše** - intenzitet do 2,5 mm/sat
- umjerene kiše** - intenzitet od 2,5 –8,0 mm/sat
- jake kiše** – intenzitet preko 8,0 mm/sat.

- **Poledica**-zamrznuta oborina kada kiša pada na tlo čija je temperatura ispod ledišta.
- **Susnježica**–nastaje kada kapi kiše prolazeći kroz hladan zrak zamrzavaju i pretvaraju se u led, pa na tlo padaju kao vlažne ledene kuglice prečnika 1 –4 mm.
- **Snijeg**–zavisno o gustoći snijega daju i različite količine oborina –obično 1 cm visine palog svježeg snijega daje 0,5 –2,0 mm (tekuće oborine –u praktičnim se proračunima običn o to zaokružuje na 1 mm).
- **Tuča**–prema prečniku zrna dijeli se na malu tuču (prečnik zrna do 5 mm) i normalna tuča s prečnikom zrna preko 5 mm.

44

**-Mjerenje padavina-**

- Mjerenje padavina (P) i drugih meteoroloških parametara ⇔ meteorološke stanice
- Mjerenje samo P ⇔ **kišomjerne stanice**

•Upute Svjetske meteorološke organizacije (postaviti min. 1 kišomjernu stanicu):

- ravničarska područja (na svakih 600 – 900 km<sup>2</sup>)
- planinska područja (na svakih 100 – 250 km<sup>2</sup>)
- planinska područja sa gustom riječnom mrežom i na ostrvima (na svakih 25 – 100 km<sup>2</sup>)

•Padavine: mjerenje **kišomerima**

•Padavine: izražavanje visinom vodenog stupca (mm)

•Mjerenje P ⇔ važe samo za neposredni lokalitet na **KS**

↓  
prostorno P veoma neravnomjerne

45

•**KS** ⇔ instrumenti za mjerenje P:

- pluviometri kišomjeri (ombrometri) ⇔ totalizator (drugi tip)
- pluviografi (ombrografi)

**PLUVIOMETRI (KIŠOMJERI):**

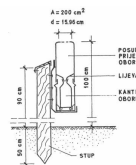
-pojedinačna očitavanja ⇔ cilindrična posuda sa površinom otvora od 200 cm<sup>2</sup>

-dnevne količine P

-redovna očitavanja (7 sati ⇔ P pale tog dana tj. P iz prethodna 24 h)

-jači pljusak tokom dana ⇔ vanredna očitavanja

-snijeg padne u kišomjer ⇔ otopi se i mjeri se voda menzурom i izražava u mm



Hellmannov kišomjer



46

•Pluviometar (kišomjer) ⇔ H otvora na 1m iznad površine tla

•Drugi tip kišomjera ⇔ **TOTALIZATOR**

•Totalizator ⇔ mjeri ukupnu Σ P za duži period vremena

•Totalizator ⇔ na teško pristupačnom terenu

•Totalizator ⇔ V = 80 lit ⇔ skupiti P između dva mjerenja

•Totalizator ⇔ otvor kao kod običnog kišomjera (200 cm<sup>2</sup>) ⇔ na 3m od terena



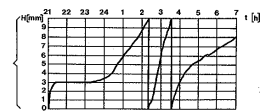
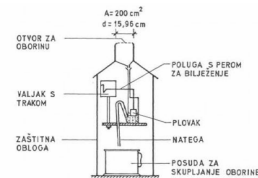
47

**PLUVIOGRAFI:**

-neprekidna mjerenja ⇔ analiza raspodjele kiše u vremenu

-vrste pluviografa:

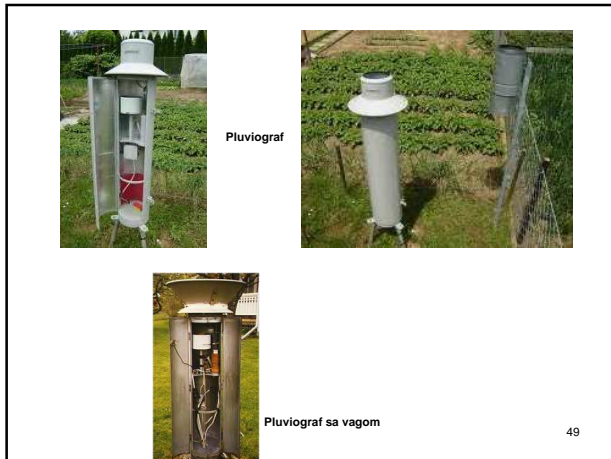
- pluviograf sa plovkom (stariji tip)
- pluviograf sa posudom koja se prevrće (klackalica)
- pluviograf sa vagom



Šema pluviografa i pluviograma

Pluviogram daje sumurnu krivu padavina.

48



49

### Pluviograf sa plovkom

- sakuplja vodu u cilindričnu posudu
- u cilindričnoj posudi je plovak
- vertikalno pomjeranje plovka
- pomoću poluge na pero koje piše po papiru
- papir namotan na doboš
- doboš pokreće satni mehanizam

-posude se napuni vodom (10mm kiše) ⇒ sifonski uređaj naglo prazni posudu

plovak i pero se dovode na nulti položaj

-rezultat registrovanja pluviografom ⇒ sumarna linija pale kiše (H kiše u f-ji t)

50

### Pluviograf sa klackalicom

- posuda koja je podjeljena u dva dijela
- posuda balansira oko horizontalne osovine
- sakupljena voda od P dovodi se u gornji dio posude

kada se potpuno napuni ⇒ posuda se prevrće i trenutno prazni drugi dio posude se podiže i počinje da se puni

-kretanje posude gore-dole ⇒ putem električnog kontakt uređaja

prenos u sistem daljinskog mjerenja P ⇒ glavna prednost ovog uređaja

51

### Pluviograf sa vagonom

- princip const. mjerenja G posude u koju se dovodi zahvaćena kiša
- nedostatak ⇒ posuda se ne prazni automatski
- spriječavanje ispravanja iz posude (kod dugotrajnih kiša slabog i)

dodajemo ulje u posudu ⇒ formira se tanki sloj na površini vode

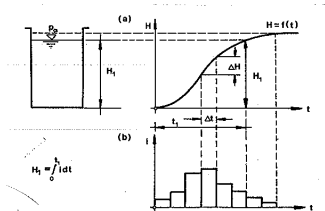
52

**Mjerenje pluviometrima – općenito:**

- Hidrološko dimenzioniranje objekata odvodnje  $\Rightarrow$  podaci o raspodjeli kiše u t
- Kiša u t = iz pluviometarskih podataka (zapisi dnevnih P)

• **Pluviogram** daje:

- trajanje kiše
- padanje tokom dana ili kratki pljusak
- padanje u više navrata



Sumarna kriva P i hijetogram: a) sumarnakriva P b) hijetogram

53

- Visina padavina P (mm) = jačina padavina (intenzitet kiše – padavina)
- Intenzitet kiše (i): mm/s mm/min mm/h l/s ha

• Prosječna jačina P (i):

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

$\Delta H$  – prirast visine P u vremenskom intervalu  $\Delta t$

**HIJETOGRAM** = grafički prikaz jačine P u f-ji t

- Analiza i bitna kod jakih kiša (traju od nekoliko min. do nekoliko h)
- Krajnji cilj analiza: dobiti zavisnost **intenziteta P – trajanja P – ponavljanja P**

$\Updownarrow$   
**I T P KRIVA**

54

**-Obrada izmjerenih podataka o padavinama-**

- 1) Primarna
- 2) Sekundarna

**1) Primarna obrada izmjerenih podataka o P**

Obradom se definiše:

- a) višegodišnje srednje (mjesečne, sezonske ili godišnje) visine P jedne KS
- b) višegodišnje srednje (mjesečne, setonske ili godišnje) visine P palih na sliv

- a) Odnosi se na jednu KS (jedna tačka u prostoru)
- b) Odnosi se na obradu podataka sa više KS (više tačaka) na slivu

Višegodišnji prosjeci visina P pojedinih KS:

- odrediti na bazi višegodišnjih osmatranja i mjerenja

KS = kišomjerna stanica

55

- Za ocjenu vodnog bilansa  $\Rightarrow$  mjerenja, analize i ocjene P što pouzdanije

• Na pouzdanost mjerenih podataka utiču:

- vrta i tip instrumenta koji se koristi za mjerenje P
- reprezentativnost odabranih mjernih lokacija u slivu (KS na slivu)
- gustina i prostorni raspored mjernih stanica
- mikrolokacijska reprezentativnost mjerne tačke na kojoj je uređaj
- način mjerenja i učestalost mjerenja

• Osnovni zadatak vodnog bilansa  $\Rightarrow$  analiza prostornih varijacija P

$\Downarrow$   
definisane ukupne V pale vode ili prosječne visine P u slivu u nekom  $\Delta t$

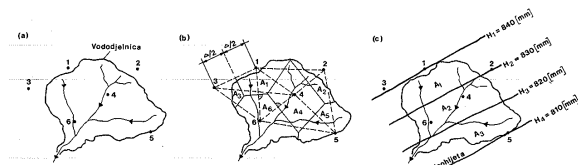
• Tačnost određivanja prosječnih P  $\Rightarrow$  f-ja određivanja slivne površine

$\Downarrow$   
hidrografska ili topografska vododjelnica

56

•Višegodišnji prosjek (mjesečnih, sezonskih ili godišnjih) visina **P** na sliv:

- a) metoda aritmetičke sredine
- b) Thiessenovim postupkom
- c) metodom izohijeta
- d) hipsometrijska metoda
- e) metoda padavinskih površi



a) Metoda aritmetičke sredine 1, 2, ..., n – oznaka KS i izohijete  $A_i$  – pripadajuća površina i-te KS; površina između dvije susjedne i izohijete  $H_{k,i}$  – vrijednost i-te izohijete

57

a) Metoda aritmetičke sredine

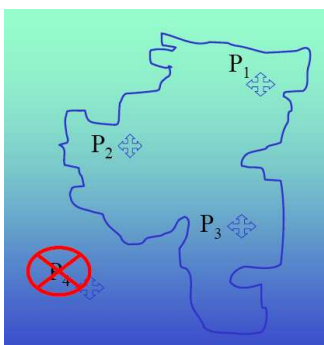
-višegodišnja prosječna visina **P** palih na sliv  $H_{k,sl}$  (mm):

$$\bar{H}_{k,sl} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \bar{H}_{k,i}}{n}$$

- k** – indeks (**k=m** za mjesečne **P**; **k=s** za sezonske **P**; **k=g** za godišnje **P**)
- $H_{k,i}$  – višegodišnja prosječna visina (mjesečnih, sezonskih ili godišnjih) **P** registrovanih na i-toj **KS** (mm)
- n** – broj **KS** u slivu

- najjednostavniji postupak
- relativno pouzdana  $\square$  sliv pokriven gustom mrežom **KS**  $\square$  uniformno postavljene slivna površ relativno ravna  $\square$  varijacije **P** male u prostoru

58

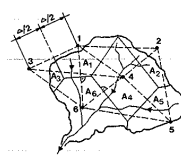


•Uzima u obzir samo **KS** unutar nekog sliva !!!

59

b) Thiessenov postupak

- postupak poligona  $\square$  pripadajuće **A** svakoj **KS** određenog slivnog područja
- u proračunu figuriraju pripadajuće površine sliva pojedinih **KS**



- karta određene **R** ucrtati tačke u kojima mjerimo **P**
  - povlačimo pomoćne linije koje spajaju susjedne **KS**
  - konstruišemo simetrale pomoćnih linija
- $\downarrow$
- formira se mreža zatvorenih poligona

-višegodišnja prosječna visina **P** palih na sliv:

$$\bar{H}_{k,sl} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \bar{H}_{k,i} A_i}{A}$$

60

$$\bar{H}_{k,st} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \bar{H}_{k,i} A_i}{A}$$

**Oznake:**

$A_i$  – pripadajuća površina sliva i-te **KS** (km<sup>2</sup>)

$A$  – ukupna površina sliva (km<sup>2</sup>)

$H_{k,i}$  – višegodišnja prosječna visina (mjesecnih, sezonskih ili godišnjih) **P** registrovanih na i-toj **KS** (mm)

Mora biti zadovoljen uslov: 
$$\sum_{i=1}^{i=n} A_i = A$$

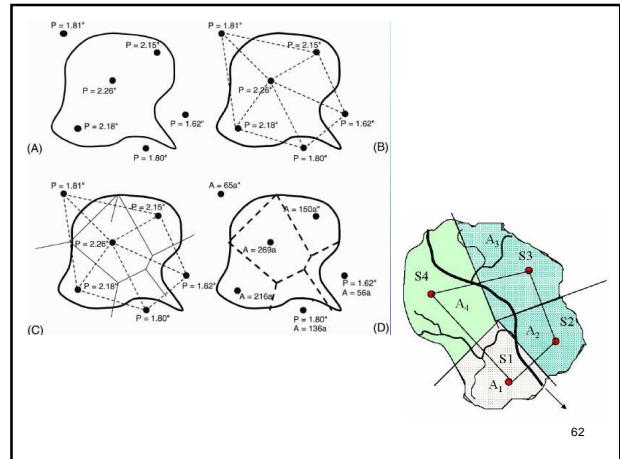
-često se koristi kod nas

-nije pouzdan za planinske slivove

-ne preporučuje se za analizu intenzivnih lokalnih pljuskova kratkog trajanja

-primjenjiva jedino kod ravničarskih slivova  $\Rightarrow$  **P** homogeno raspodjeljene u prostoru

61



62

**c) Metod izohijeta**

•**IZOHIJETE** = geometrijsko mjesto tačaka sa istom visinom **P** palih u određenom periodu (mjesec, sezona, godina)

•Postupak: određivanje izohijeta i pripadajućih površina sliva ( $A_i$ ) između dvije susjedne izohijete  $\Leftrightarrow$  presječna visina **P**

•Određivanje prosječnih visina **P** palih na sliv:

$$\bar{H}_{k,st} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{H_{k,i} + H_{k,i+1}}{2} A_i}{A}$$

$H_{k,i}$  – višegodišnja prosječna vrijednost i-te izohijete (mm)

$A_i$  – pripadajuća površina sliva između i-te i i+1 izohijete (km<sup>2</sup>)

$n$  – broj izohijeta

$A$  – ukupna površina sliva (km<sup>2</sup>)

63

•Metoda izohijeta  $\Rightarrow$  najtačnija  $\Rightarrow$  pogodna za analizu kiša kraćih trajanja i jakog i

•Suština metode:

-konstruisanje karte izohijeta  $\Rightarrow$  složen zadatak  $\Rightarrow$  iskusni hidrolozi

•Osnovni principi konstruisanja karte izohijeta:

-na topografskoj karti sliva označiti visine **P** u tačkama **KS**

-uspostaviti zavisnost između visine **P** i nadmorske visine **KS**

-iscrtati izohijete oko **KS** na kojima je izmjerena najveća visina **P**

-vršiti linearnu interpolaciju vrijednosti **P** po prostoru sliva

-na osnovu markiranih interpolovanih vrijednosti **P** povlačiti linije između vrijednosti koje označavaju iste visine **P**



64



#### d) Hipsometrijska metoda

•Specijalno namjenjen analizi **P** u planinskim područjima

•Suština metode:

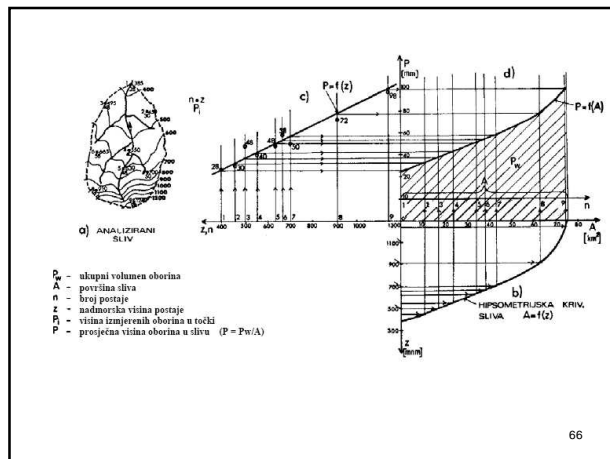
- na karti pogodne **R** nanesimo sliv (izohipse terena) sa lokacijama **KS** (a)
- na **KS** ⇒ redni broj **KS** i visina osmotrenih **P** za dato trajanje
- za isti sliv konstruišemo hipsometrijsku krivu (b)
- konstruišemo dijagram zavisnosti visine osmotrenih **P** za svaku **KS** u f-ji nadmorske visine istih stanica ⇒ **P=f(z)** (c)
- na osnovu prethodna dva dijagrama (hipsometrijska kriva i kriva **P**) konstruišemo krivu visine **P** u f-ji površine sliva ⇒ **P=f(A)** (d)
- odredimo površinu ispod krive koja predstavlja ukupnu **V** vode pale na sliv

•Prosječna visina **P** na slivu: **P = V / A**

**V** – ukupna zapremina pale vode

**A** – ukupna površina sliva

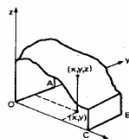
65



66

#### e) Metoda padavinskih površi

•Padavinske površi ⇒ prostorni prikaz visine **P** koje su pale na jedan dio sliva



•Element **OABC** u **xy** ravni ⇒ dio slivne površi ⇒ vrijednosti = visine pale kiše u  $\Delta t$

koordinate **x ; y ; z** ⇒ padavinska površ koju formira izmjerena visina kiše (**z**)

ovakav par podataka o izmjerenim visinama **P** na mreži **KS** u slivu matematički opisati nekom funkcijom

•Primjena ove metode ⇒ uslovljena korištenjem računara

67

•Ukupne količine (**V**) voda koje padnu na analizirani sliv u nekom  $\Delta t$ :

$$V_0 = P \cdot A$$

**V<sub>0</sub>** – ukupna zapremina palih voda u nekom  $\Delta t$

**P** – suma padavina u  $\Delta t$

**A** – površina sliva

Osnovni problem u praksi ⇒ neravnomjerno raspoređena mreža **KS** upotrebljivost postoj. podataka (prekidi osmatranja)

prevazilaženje ovih problema ⇒ progustiti i proširiti i pravilno rasporediti **KS** opskrbiti pluviografima voditi računa o visinskom rasporedu **KS** uvesti totalizatore na nepristupačne terene

68

## 2. Sekundarna obrada izmjerenih podataka o P

- Niz vrlo složenih obrada podataka o P (prvenstveno intenzitet kiše)
- Najbitniji problem: proračun statističkih parametara serija pljuskova (jake kiše) raznih trajanja i prilagodba krivulje razdiobe
- Sekundarna obrada  $\Rightarrow$  temelj za definisanje familije **ITP krivulja**

- Određivanje mjerodavne jačine P bazirano na obradi izmjerenih podataka o P
- Izmjereni podaci  $\Rightarrow$  pojedinačno i stalno očitavanje (dobijeni podaci)

$\downarrow$   
metodologija određivanja mjerodavne jačine P primjerena podacima

69

## Proračun mjerodavne jačine P korištenjem pluviografskih podataka

- Kod analize odvodnje oborinskih voda iz urbanih sredina
- Tu postoji niz empirijskih formula  $\Rightarrow$  **Knauffova formula:**

$$i = 63 + 0.4\bar{H}_g$$

i – mjerodavna jačina P (l/s ha)

$\bar{H}_g$  – višegodišnja srednja visina P (mm)

- Primjena ove j-ne česta  $\Rightarrow$  iako dobijemo orijentacione vrijednosti jačine P
- Knauffova j-na ne uzima dva bitna parametra jačine P  $\Rightarrow$  trajanja P i ponavljanje P**
- Za naše prilike  $\Rightarrow$  j-na daje premalene vrijednosti mjerodavne jačine P

70

- Gorbačevljeva j-na** (bolja)  $\Rightarrow$  jačinu P (i u mm/min) definiše:

$$i = \frac{\delta \sqrt[3]{H_g^2} \sqrt[3]{P_R}}{\sqrt{t_0}}$$

$\delta$  – koeficijent f-ja geografskog položaja (srednja Evropa  $\delta=0,044$ )

$\bar{H}_g$  – višegodišnja srednja visina P (mm)

$P_R$  – povratno razdoblje (računsko) povratni period (god)

$t_0$  – trajanje kiše (računsko) (mm)

- Gorbačevljeva j-na povoljnija od Knauffove j-ne  $\Rightarrow$  jačinu P daje u f-ji  $t_0$  i  $P_R$

71

## Proračun mjerodavne jačine P korištenjem pluviografskih podataka

- Dobijemo kvalitetnije podloge za određivanje mjerodavnog intenziteta P
- Mjerodavni intenzitet P definisan vezom **INTENZITET-TRAJANJE-PONAVLJANJE**

$$i = f(t_0, P_R)$$

$P_R$  – povratno razdoblje (računsko) povratni period (god)

$t_0$  – trajanje kiše (računsko) (mm)

- Numeričko određivanje prethodnog izraza  $\Rightarrow$  matematsko-statistički postupci
- Postupcima obraditi što veći broj podataka o P
- Potrebni podaci iz najmanje 10 do 15 godina

72

•Poznatiji postupci (dobro prilagođavaju stvarne podatke o **P** iz dužeg hidrološkog niza podatka) ⇒ slijedeći analitički izrazi:

$$i = \frac{aP_R^b}{t_o + b}$$

$$i = \frac{aP_R^b}{t_o + c}$$

$$i = \frac{aP_R^b}{t_o^d + c}$$

$$i = \frac{aP_R^b}{(t_o + c)^d}$$

$$i = a P_R^b t_o^c$$

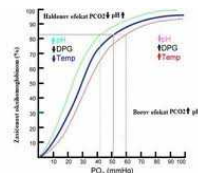
**a** – parametar ovisan o hidrološkim prilikama obrađenog područja

**b, c, d** – parametri ovisni o klimatsko-hidrološkim prilikama obrađenog područja

•Rješavanje gornjih j-na (određivanje parametara **a,b,c,d**) promjenom postupka najmanjih kvadrata ⇒ **postupak matematičke statistike**

•Gornji izrazi ⇒ najčešće se koriste u praksi za definisanje **ITP** odnosa

73



**ITP kriva** ⇒ pokazuje vjerojatnost različitih kratkotrajnih intenziteta **P** za različita trajanja **P** na određenoj lokaciji

•Određivanje ITP krive ⇒ **metoda godišnjih ekstrema i metoda pikova**

**Metoda godišnjih ekstrema** ⇒ definiše se empirijska raspodjela vjerovatnoće Pearson III, Gumbelova, Gausova raspodjela koristi jedan podatak godišnje

**Metoda pikova** ⇒ analiza svih max vrijednosti ⇒ "izvlačimo" više informacija

74