

## 8. DALJINSKO ZAZNAVANJE

Daljinsko zaznavanje pomeni pridobivanje informacij o nekem objektu brez fizičnega stika. Pojem se je pojavil v šestdesetih letih in se je nanašala na informacije, zbrane s pomočjo fotografskih in ne fotografskih instrumentov. Zgodovino razvoja delimo na obdobje pred letom 1960, zasnovanim na uporabi fotografije, in na obdobje po letu 1960, ko so se pojavili satelitski posnetki.

Načeloma ločimo dve obliki daljinskega zaznavanja: **pasivno** ko merimo sevanje objekta in **aktivno**, pri katerem objekt umetno obsevamo in merimo odziv.

V dolgi in bogati zgodovini fotografije se je sodobno daljinsko zaznavanje pojavilo že zelo zgodaj, ko je bil leta 1859 v Franciji izdelan prvi posnetek zemeljske površine iz balona. Razvoj se je hitro nadaljeval z razvojem nove tehnologije za vojaške namene v državljanski vojni v ZDA. Razvoj satelitske tehnologije je v šestdesetih letih prinesel revolucionarne spremembe v razvoj daljinskega zaznavanja.

### 8.1. Teoretične osnove

Temeljna lastnost ali značilnost daljinskega zaznavanja je velikost elementarne površine ali delca oziroma velikost najmanjše površine, ki jo zaznamo. Druga lastnost je spekter valov, ki jih z daljinskim zaznavanjem merimo.

### 8.2. Dopplerjev efekt

V primeru, če se vir sevanja s konstantno frekvenco v pomika v smeri proti senzorju ali v nasprotni smeri, se frekvenca spremeni. Frekvenca  $\nu'$ , ki jo senzor zazna, je večja od  $\nu$  v primeru približevanja vira sevanja in manjša v primeru oddaljevanja vira. Dopplerjev efekt je podlaga za različne instrumente, kot so meteorološki radar ali merilec hitrosti vode.

### 8.3. Meteorološki radar

Vremenski radar pa je radar, prirejen za zaznavanje in merjenje padavin. Območje, v katerem lahko zaradi oblike zemeljske oble dobimo še uporabne rezultate, se nahaja v polmeru 200 km okoli radarja.

### 8.4. Uporaba daljinskega zaznavanja v hidrologiji

Uporaba aerofoto posnetkov. Za hidrologijo so predvsem dragoceni posnetki strug vodotokov za spremljanje morfoloških sprememb in posnetki poplav.

V razvoju so metode z izkoriščevanjem sevanja v vidnem, toplotnem in mikrovalovnem (radar) delu spektra za meritve evaporacije in temperature tal. Eksperimentalni rezultati so dojkaj obetavni.

Tudi meritve snežne odeje so v razvoju. Obseg snežne odeje je že mogoče točno določiti, toda za količino vode v njej je nujno umerjanje na podlagi meritev vzorcev na tleh.

## 9. EVAPOTRANSPIRACIJA

### 9.1. Splošno

Evapotranspiracija je pojav prehoda tekoče vode s površine tal in rastlin v atmosfero. Pojav je sestavljen iz dveh procesov : izhlapevanje in transpiracije. **Izhlapevanje** (evaporacija) je prehod vode iz tekočega agregatnega stanja v plinasto. **Transpiracija** je fiziološki proces, pri katerem rastlina s koreninskim sistemom črpa vodo iz zemlje, jo uporabi v metaboličnem procesu in jo potem skozi liste izpusti v atmosfero.

Potek izhlapevanja je odvisen od različnih dejavnikov. Najpomembnejši so:

- Energija; glavni vir je sončno sevanje in energija sproščena s hlajenjem podlage, iz katere voda izhlapeva.
- Vlažnost zraka; zrak lahko sprejem pri določeni temperaturi le omejeno količino vodne pare.
- Vrsta in stanje podlage; delujeta posredno in neposredno. Posredno: npr. Temnejša podlaga absorbira večjo količino sončevega sevanja.
- Veter; gibanje zraka v veliki meri pospešuje izhlapevanje, ker odvaja bolj nasičene zračne mase nad podlago.
- Atmosferski tlak; z zmanjšanjem barometerskega tlaka se pri istih stalih pogojih izhlapevanje povečuje.
- Kakovost vode; s povečanjem soli v vodi se izhlapevanje zmanjšuje.

### 9.2. Merjenje izhlapevanja

V praksi se uporablja več instrumentov, ki ( razen lizimetrov ) merijo le izhlapevanje z vodne gladine ali potencialno izhlapevanje. Osnovna enota izhlapevanja je mm/časovno enoto.

- Wildov evaporimeter
- Evaporigraf
- Pichejev evaporimeter
- Evaporimeter "A"
- Lizimetri: so cilindrične posode, premera 0,5m do več metrov, dobro izolirane, vkopane v teren in napoljene z zemljo. Z njimi merimo **dejansko evapotranspiracijo**. Lizimetri so s cevmi povezani z jaškom, kjer merimo odtok in dotok vode v lizimeter. Obstajajo tudi bolj precizni lizimetri, kjer spremembe vode v posodi merimo težnisko- s pomočjo tehtnice.

### 9.3. Izračun izhlapevanja

**Potencialna evapotranspiracija** predstavlja največjo količino vode, ki glede na lastnosti atmosfere in količine razpoložljive energije lahko preide v atmosfero z neprekinjenega območja, v celoti prekritega z rastlinstvom in dobro oskrbljenega z vodo, skozi procesa izhlapevanja in transpiracije. **Dejanska evapotranspiracija** pa je količina vode, ki dejansko preide v atmosfero s površine tal in rastlin pri naravni količini vlage v tleh skozi oba procesa. **Referenčna evapotranspiracija** predstavlja evapotranspiracijo s hipotetične travnate površine višine 0,12m z albedom 0,23 in s konstantno površinsko upornostjo 70 s/m.

Najbolj kompletne raziskave in največ metod je razvitih za potrebe melioracij in izračun količine vode, potrebne za namakanje.

Potrebne za namakanje.

### 9.3.1. Penman-Monteithova enačba

Standardna metoda izračuna potencialne evapotranspiracije

$$\lambda ET = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho \cdot c_p \cdot (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_s / r_a)}$$

### 9.4. Izhlapevanje snega in ledu ( sublimacija)

Izhlapevanje ledu in snega- kljub nizkim temperaturam- je v daljšem časovnem obdobju lahko znatno.

**Evapotranspiracija** : količina vode, ki zapustijo obraslo zemljino v procesu evaporacije in transpiracije, je tako rekoč nemogoče med seboj razločiti.

## 10. ODTOK POVRŠINSKIH VODA

**Površinski odtok** imenujemo del padavin, ki prispejo na površino Zemlje in se ne zadržijo na rastlinah ali v tleh ali izhlapijo, temveč odtečejo površinsko in podpovršinsko v mrežo vodotokov. Povzročijo ga torej učinkovite padavine.

Najmanjši bazni odtok kot posledico izcejanja podzemnih voda zaznamo v strugi vodotok, ko dalj časa ni padavin ter odtoka površinskih voda. BAZNI ODTOK: tisti del vode, ki vedno je, tudi če ni dežja.

HIDROGRAM: diagram časovnih sprememb pretoka v vodotoku.

NIVOGRAM: diagram spremembe gladin.

**Specifični odtok** je odtok na enoto površine povodja (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>). Praviloma ga vežemo na povratno dobo pojava, desetletni ali stoletni pojav.

#### 1. Vpliv različnih dejavnikov na odtok

Padavine z manjšo ontenzivnostjo on daljšim trajanjem v celoti prestreže vegetacija ali pa poniknejo. Enako velja za intenzivne, vendar kratkotrajne padavine. Ko površine nasičijo tla z vodo, se začne površinski odtok.

- Vpliv nevihte, - vpliv površine struge, - vpliv urbanizacije, -vpliv sečnje gozdov, vpliv HE

ODTOČNI KOEFICIENT: razmerje med odtekle in padlo vodo. Ni konstantna vrednost, saj je odvisen od: lastnosti povodja, intenzivnosti in trajanja padavin, vlažnosti zemljišča.

#### ➔ Vpliv geoloških pogojev

- V odtoku sodelujejo le padavine, padle neposredno na površino v strugi.
- Če je intenziteta padavin manjša od intenzitete infiltracije, odtoka ni.

- Nevihta: odtok vodotoka se poveča zaradi površinskega odtoka in povečanega baznega odtoka.

Na zelo propustnih površinah površinskega odtoka ne zaznamo, poveča se samo bazni odtok. Na slabše prepustnih površinah pa povečanja baznega odtoka niti ni, padavine v celoti površinsko odtečejo.

IZOHRONE: črte, ki povezujejo točke z enakim časom dotoka do določenega prečnega prereza na vodotoku. ČAS KONCENTRACIJE: čas, potreben, da do prereza priteče voda iz najbolj oddaljenih delov povirja.

## 2. Določanje površinskega odtoka

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

( $q_{\max}$  = max. specifični pretok [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ],  $A$  = površina povodja [ $\text{km}^2$ ])

Posamezni avtorji so  $q$  podali v tabelah (Foerster, Deuerling).

Vrednosti, določene s pomočjo empiričnih enačb, se gibljejo v širokih mejah in jih brez kritične presoje in analize ne smemo uporabiti.

## 3. Analize pretokov

Podlaga za analizo pretokov sta hidrogram in krivulja trajanja (pomembna za gradnjo HE) ali empirična porazdelitev pretokov za določeno obdobje. Hidrogram in krivulja nam omogočata določanje naslednjih vrednosti: npr.: najnižji vidistaj v letu, najmanjši pretok v letu oz. mesecu, največji visoki pretok v obdobju (str. 170)

Označevanje:  $Q$  = pretok vode v določenem prečnem prerezu

$q$  = specifični pretok = pretok na enoto prispevne površine vodotoka.

# 11. RAZLIČNE OBLIKE VODE V TLEH

Splošno: tla so porozna, sestavljena iz delcev zemljine, vode in zraka. Oblikovanje por je posledica geoloških in hidroloških procesov v površinskih slojih, pa tudi pedoloških procesov, vključno z vplivom rastlin, živali in nenazadnje človeka. Na velikost in obliko por vpliva tudi oblika zrn, zbitost tal in njihove lastnosti.

REPREZENTATIVNI ELEMENTARNI VOLUMEN ( $Rev$ ) je najmanjši volumen, ki ima enake lastnosti prostora vključno z vplivi anizotropije in heterogenosti.  $Rev$  je dokaj problematično analizirati, saj je vprašanje v kolikšni meri lahko pojave, analizirane v laboratoriju, upoštevamo pri napovedovanju podobnih pojavov v naravi. (primer: koliko lahko zares upoštevamo zakonitosti gibanja vode v kuhinjskem koritu pri analizi gibanja oceanskih tokov).

Ločimo različne oblike vod:

-**kemično vezana** (nahaja se v spojinah, rastline je ne morejo izkoristiti),- **led** (pomemben pri nastajanju strukture tal), -**vodna para**, - **higroskopska voda**, - **filmska voda ali vodna kožica**, - **kapilarna voda**, - **gravitacijska voda** (količina vode, ki odteče iz nasičenih tal v treh do petih dneh), - **podtalnica**.

#### 1. Vodna para

Je del talne atmosfere. Parcialni pritisk vodne pare v tleh je navadno blizu stopnje nasičenosti oz. relativne vlažnosti talne atmosfere.

#### 2. Higroskopska voda

Rečemo ji tudi adsorbirana voda. V težnji, da se prosta površinska energija zmanjša, telo adsorbira atome in molekule iz obdajajočega plina in jih zgošča na svoji površini. Takšna je npr. vodna para. Število plasti molekul vode, ki se naberejo okoli elementarnih delcev kot nekakšen plašč, narašča z relativno vlažnostjo zraka.

Proces nabiranja molekul zaradi higroskopičnosti spremlja tudi kondenzacija kaplevine na stikih med zrnji.

#### 3. Filmska voda ali vodna kožica

Kadar je zemljina v stiku z vodo, se navlaževanje ne zaključi z največjo higroskopičnostjo, temveč se povrhnjica naredi vodni film. Količina filmske vode je odvisna od mehanske sestave, od specifične površine in od koloidnosti tal. Temperatura ledišča te vode je men  $-0.5$  in  $-1,5^{\circ}$  C, sol pa se raztaplja počasneje kot v navadni vodi.

#### 4. Kapilarna voda

Je kapljevina v kapilarnih porah, največja velikost kapilarnih por je do 3 mm. zrak je iz teh por skoraj popolnoma izrinjen. Kapilarni pritisk v porah je odvisen od oblike površine in napetosti med zrakom in vodo. Gibanje vode pod vplivom kapilarnih sil poteka v vseh smereh in je izredno pomembno za enakomernjšo razporeditev vlage v tleh. Pod vplivom kapilarnih sil se voda giblje iz bolj zasičenih v manj zasičene dele prostora.

Za ugotavljanje količine kapilarne vose se uporablja pojem- najmanjša kapilarna vodna kapaciteta oz. poljska kapaciteta.

#### 5. Gravitacijska voda (pronicujoča voda)

Če so tla namočena s tolikšno količino vode, kolikor jo lahko adsorpcijske in kapilarne sile, ostanejo nenapolnjene tudi makropore. Skozi te mora dokaj prosto pronicati voda. K tej vodi spada tudi tisto, kar se izloča na spodnjem koncu kapilarnih por, če višina stebrička viseče vode presega mejno vrednost. Pronicujoča voda se zbira v vrčinah, jarkih, drenažnih ceveh, ali pa se odceja v globlje plasti dokler ne preide v podtalnico.

Za smer in hitrost gibanja vode je odločilen hidravlični gradient.

(Darcyjev zakon- str. 186, same formule)

## 6. Podtalnica

Voda, ki napolnjuje vse pore pod talnim profilom ležeče vodonosne plasti, pod katero je nepropustna plast je podtalnica. Kot gladina podtalnice velja gladina vode v jami, vodnjaku, izvrtani v vodonosno plast. V podtalnici v porah je lahko tudi zrak.

**PODTALNICA S PROSTO GLADINO:** podtalnica, ki jo navzgor ne zapirajo nepropustne plasti.

**ARTEŠKA PODTALNICA:** podtalnica med dvema nepropustnima plastema, ujeta podtalnica.

Tokove podzemnih voda merimo in opazujemo s **piezometri**. → to so posebne urejene vrtine za merjenje gladine podtalnice ali odvzem vzorcev za potrebne analize. Meritve gladin podtalnice omogočajo risanje kart hidroizohips in nivogramov. Karta omogoča sklepanje o tokovih in sestavi vodonosnika, nivogram pa podaja informacije o časovnih spremembah režima podzemnih voda.

## PONIKANJE ALI INFILTRACIJA VODE V TLA

Pri pronicanju padavinske vode v tla sodelujeta kapilarno in gravitacijsko gibanje talne vode. Na pojav vplivajo poleg pedološke sestave in poraslosti vrhnje plast tal tudi geološka sestava tal, nagib vrhnje plasti tal, vlažnost tal, intenziteta, količina in vrsta padavin.

Raziskave so pokazale, da je v gozdnatih tleh pronicanje 2 do 7krat večje kot na drugih površinah.

Pronicanje ugotavljamo tako, da v tla zabijemo jekleni valj, vanj nalijemo vodo in nato opazujemo hitrost ponikanja. Uporabljajo se tudi infiltrometri (na manj dostopnih območjih). Infiltracijo merimo tudi z lizometri.

## 12. VODNA BILANCA

- Vodna bilanca je zasnovana na temeljnem zakonu mehanike o ohranitvi mase na določenem območju
- Dotok mase na območje je enak odtoku in spremembi količine znotraj območja v določenem časovnem območju

### **SPLOŠNA ENAČBA:**

$$P + D_{pov} + D_{podz} - (ET + O_{pov} + O_{podz}) = Z$$

**P**= padavine

**D pov**= dotok površinskih voda v okolje

**D podz**= dotok podtalnice

**ET**= evapotranspiracija

**O pov**= odtok površinskih voda v okolje

**O podz**= odtok podtalnice

**Z**= vsebuje vodo (zadržano v snežni odeji, na površini oz. biosferi) v obliki talne vlage in v podtalnici

- Pri bilancah za daljša obdobja določamo časovno obdobje tako, da zmanjšamo vpliv težko določljivih elementov Z
- Letne bilance pogosto opredelimo za HIDROLOŠKO LETO (od 1. Oktobra do 30. Septembra), s tem se izognemo upoštevanju in določanju količine vode, zadržane v snežni odeji na dan 31. Decembra
- **Zaradi različnih potreb razdelimo kroženje vode na tri podsisteme, ki jih analiziramo ločeno:**

#### ❖ PODSISTEM POVRŠINSKE IN PODPOVRŠINSKE VODE (A)

Zajema površinski in podpovršinski sloj tal, kjer se zaradi padavin oblikuje površinski in podpovršinski odtok, voda se zadržuje v biosferi, v manjših vdolbinah na površini ter v porah pod površino. Izredno pomemben člen vodne bilance podsistema je izhlapevanje. Vhod v podsistem so padavine, izhod pa izhlapevanje, površinski in podpovršinski odtok v hidrogrfski mreži ter infiltracija vode v podtalnice. Pojave v tem podsistemu analiziramo za potrebe melioracij, preračun učinkovitih padavin in določanje bogatenja podzemnih voda. Sistem je zapleten in zahteven za modeliranje. Njegova vodna bilanca je:

$$P - ET - P_{ef} - f = Z_{talv} \quad [\text{mm}]$$

kjer je:

$P_{ef}$  del padavin, ki oblikujejo površinski odtok,

$f$  del padavin, ki bogatijo podtalnico,

$Z_{talv}$  sprememba v količini talne vlage

#### ❖ PODSISTEM POVRŠINSKIH VODA V VODOTOKIH IN JEZERIH (B)

Zajema površinski odtok v hidrogrfski mreži vodotokov. Vhod so učinkovite padavine na površino povodja (izhod iz podsistema A), izhod pa pretok vode v določenem bilančnem prerezu vodotoka. Analiza pojavov v tem podsistemu nas zanima zaradi urejanja vodotokov ter rabe površinskih voda in je temeljno področje "klasične" hidrologije. Enačba vodne bilance je:

$$P_{ef} - O_{pov} = Z_{pov} \quad [\text{mm}]$$

kjer je:

$O_{pov}$  površinski odtok [mm],

$Z_{pov}$  sprememba v količini površinskih voda [mm]

#### ❖ PODSISTEM (C)

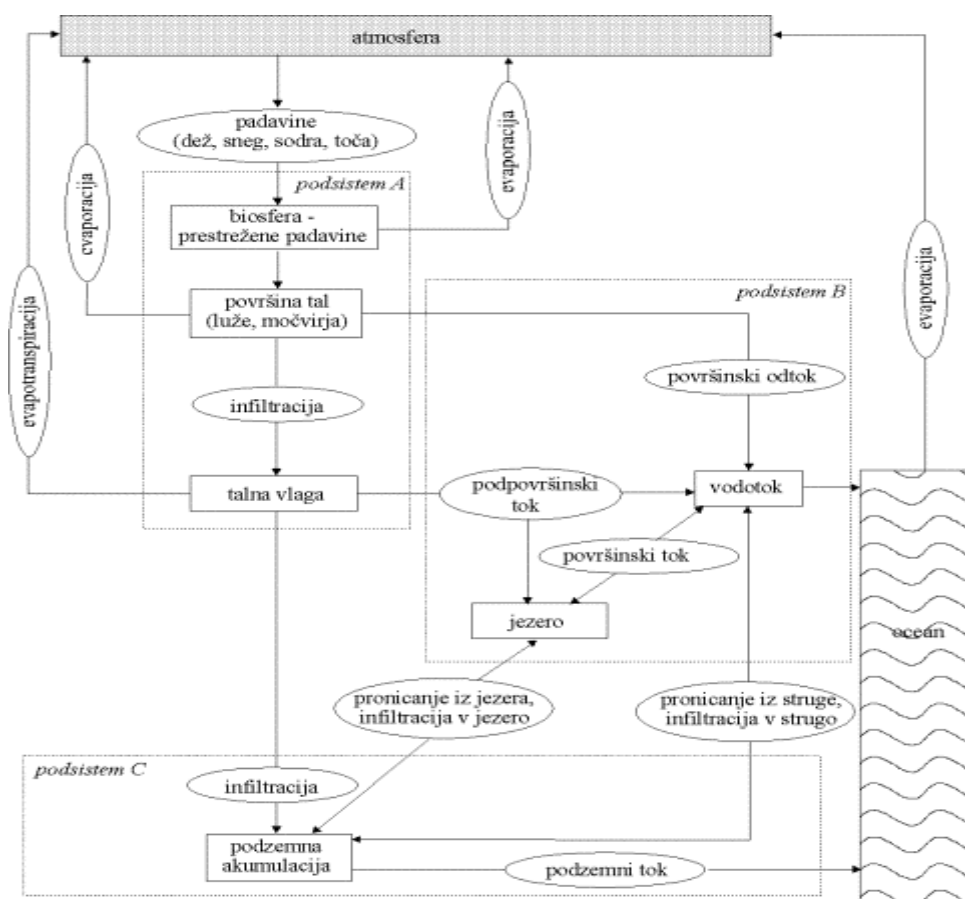
Zajema podzemne vode. Vhod sta infiltracija padavin in vode iz hidrogrfske mreže, izhod pa bazični odtok podzemnih voda v vodotoke. Pojave analiziramo za potrebe melioracij in oskrbe z vodo. Enačba vodne bilance je:

$$f - O_{podz} = Z_{podz} \quad [\text{mm}]$$

kjer je:

$O_{podz}$  podzemni odtok [mm],

$Z_{podt}$  sprememba v količini podzemnih voda [mm].



Slika 1: kroženje vode v vlažnih in zmernih podnebnih razmerah

## 1. VPLIV POSAMEZNIH DEJAVNIKOV

- Vpliv vegetacije na odtok se poleg razlike v evapotranspiraciji čuti pri količini prestreženih padavin
- Pri analizi vodne bilance praviloma lahko pričakujemo največjo točnost pri meritvah pretokov s posebej zato zgrajenimi objekti (2%)
- Padavine so zelo neenakomerno razporejene po prispevni površini
- Najbolj nezanesljiv je izračun dejanske evapotranspiracije in pretokov ter zadrževanja vode pod površino tal, tako talne vlage kot tudi podtalnice

## 2. VODNA BILANCA POSAMEZNIH OBMOČIJ NA ZEMLJI

- Velike razlike med med posameznimi celinami
- Najbolj namočeno območje na Zemlji= porečje Amazonke
- Poraba vode za različne namene hitro narašča zaradi naraščanja števila prebivalcev in spremembe načina življenja
- Celotna poraba dosega že tretjino razpoložljivih količin
- Posamezne oblike porabe se v sušnih obdobjih še povečajo, tako da potrebe presegajo razpoložljive količine vode



### 3. ŠIFRANT PADAVINSKIH OBMOČIJ IN VODOTOKOV

- Pri modeliranju hidroloških pojavov površinskih voda in gospodarjenju z vodnim bogastvom potrebujemo preprost, informativen in razumljiv sistem šifriranja vodotokov in njihovih padavinskih območij
- Podlaga sistema je hierarhična delitev na več ravni v odvisnosti od velikosti prispevne površine
- Delitev na posamezna polpovodja je omejena na največ 9 delov celote, tako da za vsako raven potrebujemo samo eno mesto v šifri
- Na **PRVI** ravni so izločena samo porečja: Save, Kolpe, Drave, Mure, Soče in ostalih pritokov Jadranskega morja
- Na **DRUGI** ravni so izločena vsa večja porečja v Sloveniji



- Šifrant vodotokov je podlaga za določanje vodne bilance površinskih vodotokov in hidrološko modeliranje

## 13. PODNEBNE SPREMEMBE ALI PODNEBNA SPREMENLJIVOST

### 1. PALEOHIDROLOGIJA

- Uveljavila se je v praksi predvsem pri analizi ekstremnih pojavov, kot so poplave in suše
- Nekateri avtorji ločijo obdobje zgodovinskih poplav, ki se pokriva z zgodovino pisnih virov, in obdobje palepoplav, ki jih ugotavljamo na podlagi posrednih informacij
- **Pojave poplav iz obdobja pred začetkom opazovanj tako ugotavljamo na podlagi:**
  - ❖ pisnih virov iz časopisov, kronik in drugih zapisov,
  - ❖ morfoloških podatkov o poplavah, ki so izoblikovale rečno dolino,
  - ❖ botaničnih metod na podlagi lastnosti vegetacije ob vodotoku,
  - ❖ lastnosti sedimentov na poplavnem območju in v strugi,
  - ❖ indikatorjev visoke gladine vode, kot so erozija in sedimenti
- metode, zasnovane na pisnih virih, botaniki in indikatorjih visoke vode, so bolj primerne za analizo posameznih redkih pojavov
- morfološka metoda pa na podlagi lastnosti sedimentov bolj ustreza ugotavljanju lastnosti celotnega režima voda

### ANALIZA ZGODOVINSKIH VIROV

Povsod po svetu, predvsem v Evropi, najdemo označene gladine vode pri poplavah na starih stavbah ali mestnih obzidjih ali stare kronike, ki nam omogočajo ugotavljanje gladine vode.

### MORFOLOŠKI PODATKI

Analiziramo obliko struge z rečnimi terasami in poskušamo ugotoviti zgodovinski razvoj pri oblikovanju struge.

### METODE NA PODLAGI BOTANIKE

Tok poplavne vode pri transportu sedimentov lahko poškoduje stebela ali skorjo dreves.

### METODE NA PODLAGI PODATKOV O SEDIMENTIH

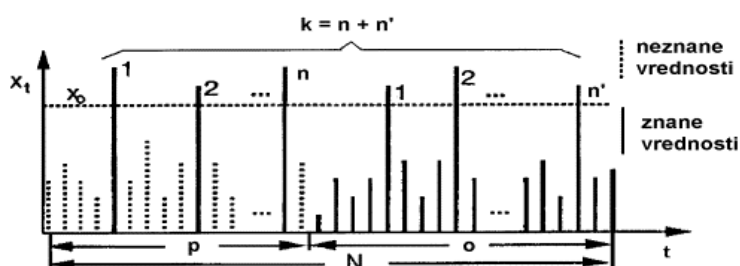
Metoda je zasnovana na analizi zrnivosti sedimentov in ugotavljanju vlečnih sil vode ter nato določanju pretokov s pomočjo Manningove enačbe.

### INDIKATORJI O PALEOGLADINAH

Po poplavi voda zapusti na poplavnih površinah kalne delce. Razširjenost slojev z zrni peska in mulja omogoča ugotavljanje razsežnosti poplave, analiza organskih snovi v teh slojih in merjenje radioaktivnosti ogljika pa omogoča ugotavljanje starosti sedimentov in čas poplave.

## 2. VERJETNOSTNA ANALIZA PODATKOV MERITEV IN PALEOHIDROLOŠKIH PODATKOV

Vzorec podatkov za  $N$  let združimo iz opazovanj " $o$ " let in paleohidroloških podatkov za obdobje " $p$ " let pred začetkom opazovanj. V obdobju paleohidroloških opazovanj imamo na voljo samo posamezne ekstremne vrednosti (slika 13.2). V paleohidrološkem vzorcu je ugotovljenih " $n$ " katastrofalnih poplav, ki presegajo nek prag redkih pojavov ( $x_0$ ), in v vzorcu merjenih vrednosti lahko izločimo  $n'$  katastrofalnih pojavov, primerljivih s paleohidrološkimi pojavi. Celotno število ugotovljenih katastrofalnih pojavov je  $k = n + n'$ .



Empirično verjetnostno porazdelitev določimo za merjene vrednosti po znani enačbi:

$$p_i = \frac{i}{N+1}$$

$i = 1, \dots, k$  enačba 13.1

$$p_i = \frac{k}{N+1} + \frac{N-k}{N+1} \cdot \frac{i-k}{o-n'} \quad i = k+1, \dots, g \quad \text{enačba 13.2}$$

Z " $g$ " smo označili celoten vzorec vseh znanih vrednosti  $g = o + n$ . Posamezni avtorji (Sala et al., 1994) so omenjeno enačbo preoblikovali, tako da so upoštevali nekoliko večjo verjetnost

za pojave, ki jih v celotnem vzorcu ni, lahko pa jih pričakujemo v množici. Na Kitajskem tako uporabljajo enačbi:

$$p_i = \frac{i}{N+1} \quad i = 1, \dots, k \quad \text{enačba 13.3}$$

$$p_i = \frac{k}{N+1} + \frac{N-k+1}{N+1} \cdot \frac{i-k}{o-n'+1} \quad i = k+1, \dots, g \quad \text{enačba 13.4}$$

V ZDA so leta 1981 preoblikovali enačbi v:

$$p_i = \frac{i}{N+1} \quad i = 1, \dots, k \quad \text{enačba 13.5}$$

$$p_i = \frac{k+0,5}{N+1} + \frac{N-k}{N+1} \cdot \frac{i-k-0,5}{o-n} \quad i = k+1, \dots, g \quad \text{enačba 13.6}$$

Hirsch je leta 1987 predlagal nove verzije enačb:

$$p_i = \frac{i}{k+1} p_e \quad i = 1, \dots, k \quad \text{enačba 13.7}$$

$$p_i = p_e + (1-p_e) \frac{i-k}{o-n'+1} \quad i = k+1, \dots, g, \quad \text{enačba 13.8}$$

kjer je  $p_e = k/N$ . Kasneje je bila enačba preoblikovana v:

$$p_i = \frac{i-\alpha}{k+1-2\alpha} p_e \quad i = 1, \dots, k \quad \text{enačba 13.9}$$

$$p_i = p_e + (1-p_e) \frac{i-k-\alpha}{o-n'+1-2\alpha} \quad i = k+1, \dots, g \quad \text{enačba 13.10}$$

Parameter  $\alpha$  je odvisen od izbire empirične porazdelitve in se giblje od 0 do 0.5. Dodatno je bila enačba preoblikovana v:

$$p_i = \frac{i-\alpha}{k+1-2\alpha} p_e \quad i = 1, \dots, k \quad \text{enačba 13.11}$$

$$p_i = p_e + (1-p_e) \frac{i-k-\alpha}{N-k+1-2\alpha} \frac{N-k}{o-n'} \quad i = k+1, \dots, g \quad \text{enačba 13.12}$$

V nadaljnjem razvoju lahko pričakujemo še dodatne spremembe glede na nove primere.

Težave pri oblikovanju empiričnih porazdelitev so prisotne tudi v pojavu redkih dogodkov v majhnem vzorcu, ki porušijo konsistenco in homogenost vzorca. Problem pri tem lahko

rešujemo na podoben način z vključevanjem daljšega obdobja opazovanj s posebno paleohidrološko analizo ali brez nje.

### 3. SPREMEMBE PODNEBJA V TEM TISOČLETJU

- Danes je veliko govora o podnebnih spremembah in njihovih vplivih na naravne ujme
- Trenutno poteka v svetu več raziskav globalnega pomena za ugotavljanje različnih vplivov industrializacije na globalne podnebne razmere
- Določene spremembe so očitne, predvsem v sestavi atmosfere, kjer se je količina ogljikovega dioksida nenehno večja in povečuje izolacijsko vlogo atmosfere
- Posledica tega so zvišanje temperature, taljenje ledenih polarnih kap, zvišanje morske gladine, intenziviranje termodinamičnih procesov v atmosferi in podnebne spremembe

### 4. SPREMEMBE PODNEBJA V ZADNJIH DESETLETJIH

- Raziskave klimatskih sprememb zaradi povečane vsebine plinov CO<sub>2</sub> v ozračju so povzročile zanimanje za analizo klimatske spremenljivosti na podlagi razpoložljivih podatkov meritev temperatur zraka, sončnega sevanja, padavin, vlažnosti zraka...

### 5. PRIČAKOVANE SPREMEMBE PODNEBJA

- Za klimatske spremembe so izdelani različni scenariji s pomočjo modelov za različne pričakovane robne pogoje
- Globalni klimatski modeli še niso dovolj razviti, da bi lahko z njihovo pomočjo napovedovali spremembe v hidrološkem krogu

## 14. HIDROMETRIJA

- je del hidrološke znanosti, ki se ukvarja z meritvami lastnosti vode
- njene naloge so: - izvajanje meritev lastnosti režima vode
  - razvoj metod in izdelava pribora za izvajanje meritev posameznih elementov režima voda
  - analiza in obdelava podatkov ter določanje napak pri meritvah
  - optimalna razporeditev merskih postaj in meritev v prostoru in času itd...
- **OPREMA:** za izvajanje hidrometričnih meritev mora biti predvsem zanesljiva (zanesljivost ima prednost pred točnostjo). Izpada meritev zaradi pokvarjenega instrumenta ne moremo nadomestiti. Oprema mora delovati v zahtevnih terenskih pogojih pod neugodnimi klimatskimi razmerami (vlažnost, velike temp. razlike,...). zanesljivost dosežemo s kakovostno izdelavo in čim bolj neposrednimi meritvami.
- Osnovni pojmi so določeni z ISO standardom
- **Stalna opazovanja** na ARSO služijo splošnim družbenim potrebam in tudi prihodnjim še neznanim uporabnikom in potrebam. **Občasna opazovanja** pa so opredeljena s konkretnimi potrebami.

## 14.2 MERITVE GLOBIN VODE:

Globino vode merimo zato, da dobimo informacije o obliki oz. morfologiji dna vodotoka, jezera, akumulacije ali morja. Na vodotokih opravljamo te meritve pri nižjih pretokih (če ne gre za meritve s pomočjo plovila). Tako lahko podatke o obliki struge in brežin zberemo s klasičnimi geodetskimi postopki.

Pri meritvah globine vode moramo točno določiti tudi položaje točke, v kateri merimo globino. V ta namen pri vodotoku določimo stacionažo vzdolž toka in postavimo prečne profile na medsebojni razdalji ene do dve širin struge. Stacionaža poteka po osi vodotoka od sotočja reke ali republiške meje gorvodno.

Konce rečnih profilov označimo s stalnimi reperji kar nam omogoča občasne vnovične meritve in spremljanje sprememb oblike struge s časom.

**Obliko profila** pod vodo določamo z meritvami globin. Pri manjših globinah in hitrostih vode merimo globino z graduiranimi **latami** (do cm natančno). Čez profil napnemo jekleno, označeno vrv ali trak in z letvijo na razdaljah od 0,5 do 1m merimo globino. Pri večjih globinah ali hitrostih uporabljamo **utež z jekleno vrvijo in ehosonder ali sonar** (npr. meritev globine v morju).

**Meritev z ehosonderjem:** aparatura je sestavljena iz ultrazvočnega oddajnika in antene tako da globino vode določimo na podlagi časa ki je potekel med odajo in sprejemom signala. Do večjih napak lahko pride pri meritvah ob bregovih. Položaj plovila z ehosonderjem se določi na podlagi reperjev na obali.

**REZULTATI:** rezultate meritev prikažemo na kartah z izohipsami ali izobatami – črtami enakih globin. Te karte se izdelujejo najbolj za potrebe plovbe. Prečne profile pa rišemo v distorziranem merilu zaradi preglednosti.

V prečne profile vnašamo podatke o kotah dna in oddaljenosti posameznih točk dna od izbrane geodetske točke na bregu. Orientacija profilov naj bi bila praviloma v smeri toka (levi breg je na levi strani risbe). Iz praktičnih razlogov pa jih lahko rišemo tudi obratno s pogledom proti toku. Zato je treba na rasbi vedno označiti levi in desni breg. Poleg glavnih podatkov o geometriji prečnega profila na risbo vnašamo tudi podatke o geologiji, objektih, hidrodinamičnih lastnostih, ..

Podolžni profil vsebuje veliko več informacij. Poleg obveznih podatkov o stacionaži in kotah dna po potrebi vnašamo še podatke o kotah brežin, nasipih, prodiščih, karakterističnih gladinah (100 letne vode, min. pretoki, ..), geološki sestavi, objektih, ..

## 14.3 MERITVE GLADIN VODE

Meritve nihanja gladin vode imajo že dolgo izročilo. Prve znane meritve v zgodovini so bile izvedene v starem Egiptu.

Z instrumenti ki so danes na voljo lahko meritve izvedemo le v posameznih točkah in še to v daljših časovnih presledkih. Točke v katerih opazujemo spremembe gladine vode

morajo biti značilne, tako da omogočajo analizo režima vode in morajo omogočiti določanje pretoka vode na vodotokih s pomočjo pretočne krivulje.

Za postavitev profila moramo izbrati ravne odseke s pravilno oblikovano in prizmatično strugo. Profil naj bo čim bolj stabilen, brez opaznih sprememb v obliki prečnega prereza. Celoten odsek opazovanj mora biti stabilen, brez znakov naplavljanja ali poglobljanja struge. Omogočen mora biti čim bolj normalen tok (na gladino vode ne smejo vlivati razni objekti-zapornice, zaježitve, zožitve,..).

#### »NAPRAVE ZA MERITEV GLADINE«

- **Vodomer – merska letev:** - narejene so iz različnih trpežnih materialov, dolge so od 1-2 metrov
  - centimeterska razdelba mora biti označena tako da gladino vode lahko odčitamo na en cm natančno tudi iz večje razdalje
  - pritrdimo jih na čvrsto, dobro temeljeno podlago
 (ponavadi so to stebri mostov – meritve so lahko problematične zaradi oblikovanja gladine vode pri obtekanju vode okoli stebrov, obrežna škarpa, močno utrjen steber, železniška tračnica- obstaja nevarnost poškodbe vodomera s plavajočimi predmeti
  - če gladina vode niha več kot 2 metra postavimo več let, eno nad drugo. S preciznim niveliranjem posnamemo nato »0« koto vodomera, kar nam omogoča preračunavanje rezultatov meritev iz relativnih v absolutne kote.
  - opazovanja na leti se izvajajo praviloma vsak dan ob 7.00 zjutraj, po potrebi (pri poplavah) pa tudi pogosteje
 - maksimalne letve: za ugotavljanje gladine vode pri poplavah na odročnih krajih. Sestavljene so iz palice z vodotopno snovjo katera je nameščena v perforirani cevi. Letev s cevjo postavimo na v profilu na višini, kjer pričakujemo poplavo. Po poplavi ugotovimo višino gladine vode na podlagi višine sprane krede.
- **Ostna merila:** - so laboratorijski instrumenti, ki omogočajo meritev gladine na 0,1 mm natančno; na terenu jih uporabljamo če želimo doseči večjo natančnost (uporabljamo pri prelivih ali drugih objektih, zgrajenih za potrebe meritev ali razdelitev pretoka vode
- **Merilci s plovcem:** - meritve se izvaja s pomočjo mehanizma: plovec-jeklena vrv ali trak- prenosni mehanizem zobatih koles- protiutež. Mehanizem je vgrajen v posebni jašek ali dovolj visoko cev ki omogoča prosto gibanje plavča in protiuteži ne da bi se jeklene vrvi zapletle. Jašek je povezan s strugo reke s cevmi (tako da jih ne zasuje prod). V jašku je mehanizem zaščiten pred plavajočimi predmeti in drugimi vplivi.
- **Merilci s kompimiranim zrakom:** nimam nič podčrtano!!
- **Merilci z električnim kontaktom:** isto ko gor ☺
- **Merilci z elektronskimi sondami:** vsebujejo sonde ki pritisk vode pretvori v električni signal; merilce uporabljamo kot sestavni del limnigraf; omogočene so meritve v umazani vodi

- Limnigrafi - registrirne naprave nihanja gladine vode s časom: prenosni mehanizem različnih merilcev (s plavačem, s komponiranim zrakom, z elektronskimi sondami) se lahko povežejo z različnimi registrirnimi aparaturami ki vsebujejo urne mehanizme, tako da dobimo informacijo o časovnem poteku nihanja gladine v merskem profilu

#### 14.4 MERITVE HITROSTI VODE

Hitrost vode se napogosteje meri z hidrometričnim krilom. Instrument je zasnovan na soodvisnosti med št. Obratov vijaka in hitrostjo vode oz. enačbi krila. Krilo postavimo v smer toka v določeni točki prečnega prereza in merimo št. obratov s pomočjo elektronskega števca. Hitrost lahko merimo po celotnem prerezu na razdalji premera krila od dna, brežin ali pod površino. S krilom lahko merimo hitrost vode od 5cm/s do 2cm/s. Za meritve manjših hitrosti vporablamo plovce, za višje hitrosti pa Pitotovo cev. Merite traja 1min.

Najstarejši posotopek za meritev hitrosti je s pomočjo plovcev (že iz antičnih časov). Danes je to izpopolnjeno tako da lahko merimo hitrosti na poljubni globini pod površino ali pa uporabljamo osvetlejen plovce ki jih sprejmamo z aerofoto posnetki. S plovcem merimo predvsem hitrost vode na površini ki je nekoliko večje od povprečne hitrosti v podolžnem prerezu:

$$V_{\text{povprečno}} = K_p \cdot v_{\text{plovca}} \text{ (m/s)}$$

Metoda je uporabna predvsem v primeru če nimamo na oljo merilcev hitrosti ali jih ne moremo uporabiti zaradi premajhnih hitrosti vode. Slaba stran te metode je da dobimo samo podatke o površinski hitrosti in velik vpliv vetra na rezultate meritev.

V zadnjem času se za meritve hitrosti vedno bolj uveljavljajo avtomatski merilci ki delujejo na principu Dopplerjevega efekta.

#### 14.5 MERITVE PRETOKOV

Pretok je definiran kot volumen vode ki v enoti časa priteče skozi določen prečni prerez vodotoka. Pri meritvah vode ločimo neposredne in posredne metode ali postopke. Neposredne metode: so uporabne le pri manjših količinah vode ko neposredno z mersko posodo zajamemo vodo ali ugotavljamo število polnitev posode v določenem časovnem intervalu kot pri merilcu padavin. Metode uporabljamo pri meritvah manjših količin, iztokov iz drenaž, ..

##### 14.5.1 Meritve polja hitrosti

Pri tej metodi merimo hitrost v prečnem prerezu s hidrometričnim krilom, pretok pa računamo s pomočjo integrala.

$$Q = \iint_A v dA$$

Da bi bil postopek uporaben, moramo poiskati ustrezen profil, kjer:

- So hitrosti v profilu vzporedne in pravokotne na profil
- Je porazdelitev hitrosti v prečnem in vzdolžnem prerezu pravilna

- Je hitrost vode večja od 10 do 15 cm/s
- Sta dno in breg stabilna in pravilno oblikovana
- Je globina vode večja od 30cm
- Se voda ne preliva čez bregove
- Dno ni poraščeno

Po mednarodnih predpisih je najmanjši čas meritve 1 minuta, najmanjše št. vertikal 10!!!

#### 14.5.2 Objekti za meritev pretokov

Glavni namen teh objektov je meritev pretoka uravnavanje pretoka ali razdelitev vode. Objekti so zasnovani tako, da obstaja enolična funkcionalna soodvisnost.

$$Q = f(h)$$

#### 14.5.3 Posredne metode meritevpretokov

Uporabljamo v primerih ko drugi postopki odpovedo. Npr. pri izredno majhnih hitrostih in vodotokih kjer nimamo možnosti za izgubo energije ki jo povzroča merski objekt, ravninski vodotoki, osuševalni kanali, tokovi pod vplivom bibavice,.. podobno je pri hudourniških vodotokih kjer zaradi hitrosti vode ion količine transportiranega materiala ne moremo uporabiti merskih instrumentov.

#### 14.5.4 KONSTRUKCIJA PRETOČNE KRIVULJE

Na hidrometričnih profilih vodotokov merimo gladine z limnigrafi in dobimo nivogram, zanimajo pa nas predvsem pretoki oz. hidrogram. V primerih ko merimo gladine na objektih za meritev pretokov je problem že eksplicitno rešen. Objekt in položaj merskega profila smo izbrali tako da imamo na voljo znano enačbo funkcije  $Q=f(h)$ .

V primerih ko merimo gladine na hidrometričnih profilih naravnih vodotokov moramo konstruirati pretočno krivuljo s pomočjo občasnih meritev pretokov. Pri tem uporabljamo razne analitične enačbe za iskanje krivulje ki se najbolj prilagaja meritvam, neposredno ali posredno. Izberemo krivuljo in koeficiente pri katerih so kvadrati odstopanja med krivuljo in meritvami najmanjši. V praksi še najboljše rezultate kaže eksponentna soodvisnost. Poleg odvisnosti pretokov od višine vode je potrebno določiti tudi odvisnost površine pretočnega prereza od gladine in odvisnosti povprečne hitrosti vode od gladine. Krivulja naj bi ustrezala če odstopanja pretokov ne presegajo 7%!!!, odstopanja hitrosti 3-4%!! In odstopanja površine prečnega prereza struge 2-3%.

$$H=f(Q)$$

Pri večini naših vodotokov ki imajo povirju hudourniški značaj in je trajanje velikih pretokov izredno kratko ni na voljo meritev pretokov pri višjih gladinah vode. V takih primerih si pomagamo z **ekstrapolacijo pretočne krivulje** . metode ki jih uporabljamo nam podajo zadovoljive rezultate v obsegu do  $0,2(H_{max}-H_{min})$  navzgor(20%) in  $0,05(H_{max}-H_{min})$  navzdol(5%).



## 15.NEGOTOVOST HIDROMETRIČNIH MERITEV IN ANALIZ

Negotovost določanja neke količine je ocena ki označuje obseg vrednosti znotraj katerih se nahaja prva vrednost merjene količine. Negotovost meritev je odvisna od ločljivosti in natančnosti merilnega inštrumenta ter postopka s katerim je bila meritev izvedena. Pri tem so zelo pomembni standardi kakovosti zasnovani na ISO 9000, za hidrometrične meritve pa še ISO 772 ki vsebuje terminološki pojmovnik za izvajanje meritev.

Negotovost meritve je odvisna od ločljivosti ki je pogojena s sposobnostjo inštrumenta da loči sosednje bližnje vrednosti merjene količine. **Ločljivost** je odvisna od konstrukcije inštrumenta in jo pri obstoječih inštrumentih ni mogoče povečati brez konstrukcijskih sprememb.

**Natančnost** pomeni ujemanje rezultatov dobljenih z večkratnim ponavljanjem eksperimentalnih poizkusov pod predpisanimi pogoji. Natančnost je odvsna od lastnosti pojava, ki ga merimo in postopka po katerem opravimo meritve.

**Pogrešek pri meritvah** oz. izračun neke fizikalne količine definiramo kot razliko med pravo ali dejansko (točno) vrednostjo in z meritvami ali izračunom določeno vrednostjo. Prava vrednost je neznanka tako da velikost pogreška določamo na osnovi statistične analize podatkov in ga opredelimo z negotovostjo. Analizo negotovosti izvajamo z večkratnim poavljanjem eksperimenta pri enakih pogojih ali z oceno vpliva posameznih dejavnikov na točnost rezultata.

Pogreški meritve so:

- **Nepravi pogrešek (zelo očiten)**
- **Naključni pogrešek (naključno)**
- **Sistematični pogrešek**

**Nepravi pogrešek:** se pojavlja kot enkratni primer kot je nepravilno zapisovanje ene ali več pomembnih števil ali nepravilno delovanje naprave. Vzroki za pojav takega pogreška so na primer pokvarjeni inštrumenti, izmišljene vrednosti v zapisu opazovalca ali napaka v odčitku za decimalno mesto. To je pogrešek ki povzroča neveljane meritve. Odstopanja so zelo velika in opazna . podatke s takim pogreškom izločimo.

**Naključni pogrešek:** je sestavni del merilnega pogreška, ki se nepredvideno spreminja med številnimi meritvami iste merjene veličine. Naključni pogrešek je posledica lastnosti opreme in postopka po katerem izvajamo meritve. Predpostavka je da se podatki razsipajo okoli srednje vrednosti v skladu z Gauss-laplacejevo normalno verjetnostno razporeditvijo ki nam omogoča določene variance in na osnovi nje tudi negotovosti. Naključnega pogreška ni mogoče popraviti ker je opredeljen z lastnostjo merilnega instrumenta in postopka meritve. S spremembo postopka ali drugačno vrsto instrumena lahko dosežemo zmanjšanje negotovosti.

**Sistematični pogrešek:** je sestavni del merilnega pogreška ki je stalen ali pa se predvideno spreminja med številnimi meritvami iste merjene veličine. Sistematični pogrešek in njegove posledice so lahko znane. Sistematični pogrešek je pogrešek ki ga ne moremo analizirati in izločiti s ponavljanjem meritev, dokler ne spremenimo opreme, pogojev meritev ali

postopka. Po ugotoviti sistematičnega pogreška moramo popraviti povprečno vrednost meritve. Npr napačno postavljena igla na trikotnem prelivu, neumerjeno hidrometrično krilo,..

Osnovni pogrešek zajema naključni ali sistematični pogrešek, povezan z enim virom ali procesom v verigi virov ali procesov.

#### IZRAČUN POGREŠKA V HIDROMETRIČNIH MERITVAH

##### Izračun pretoka na podlagi meritev hitrosti

Temeljna enačba za izračun pretokov v nekem hidrometričnem profilu je na str 271, pa še zadnje dve enačbe na koncu strani mam podčrtane!!!

Pri poenostavljeni enačbi pogreška so posamezna odstopanja podana v preglednicah (Str 272). Kljub poenostavitvi je enačba za praktično uporabo doolj točna.

**PULZACIJA:** pretok oz. hitrosti v naravnih vodotokih nihajo zato pride do pulzacije.

## 16. OSNOVE REČNE HIDRAVLIKE

Enačbe, ki jih uporabljamo pri izračunih in analizi stalnega in nestalnega toka v vodotokih temeljijo na zakonih mehanike o ohranjanju energije in ohranjanju mase. **Zakon o ohranjanju energije** pravi, da energija lahko spreminja svojo obliko, ne more pa se uničiti ali iz nič nastati.

**Zakon o ohranjanju mase.** Upoštevamo, da je masa vode enotna in homogena, nestisljivo kapljevino s stalno gostoto, tako da maso nadomestimo s prostornino.

Pri ustaljenih pogojih toka, ponavadi na daljšem sušnem obdobju, ko so pretoki s časom ne spreminjajo, dobi enačba o ohranjanju mase v strugi vodotoka še bolj enostavno obliko :  $Q_1=Q_2$ .

Potencialna energija je enaka globini vode in linearno narašča. Kinetična energija toka ima obliko hiperbole. Pri majhnih hitrostih in veljih globinah prevladuje potencialna energija težnosti in tok je miren. Pri velikih hitrostih in majhnih globinah prevladuje kinetična energija in tok je deroč. Na prehodu iz mirnega v deroči tok se oblikuje **kritični tok** z minimalno energijo prečnega prereza.

**Deroči tok** je značilen za struge z večjim vzdolžnim padcem, skozi katere voda teče z večjo hitrostjo in je pod vplivom delovanja gorovodnih pogojev, tako da se vpliv sprememb prenaša dolvodno. V praksi se z njim srečamo pri brzicah, pri objektih s strmo strugo ali pri iztoku vode pod zapornico.

$Fr = \frac{v^2}{gh}$  **Froudovo število** izraža odnos med kinetično in potencialno energijo toka. Pri Froudovem številu večjem od ena imamo opravka z deročim tokom, pri enakem ena je tok kritičen in manjšem od ena je tok miren.

Prehod iz mirnega v deroči tok so enostavni brez večjih sprememb. Pri prehodu iz deročega v mirni režim, ko mora voda zmanjšati svojo hitrost pa prihaja do velikih vrtincev ( **hidravlični skok** ) in izgub izdatnih količin energije.