

## VODE U PRIRODI



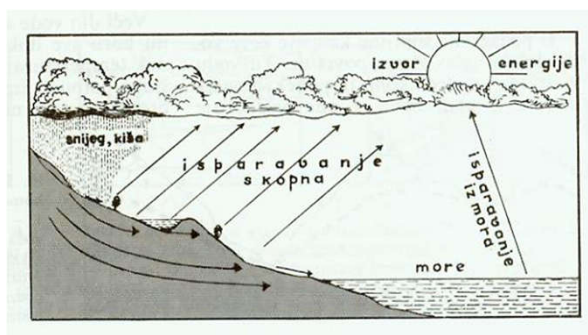
preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

četiri vrsta voda u prirodi:

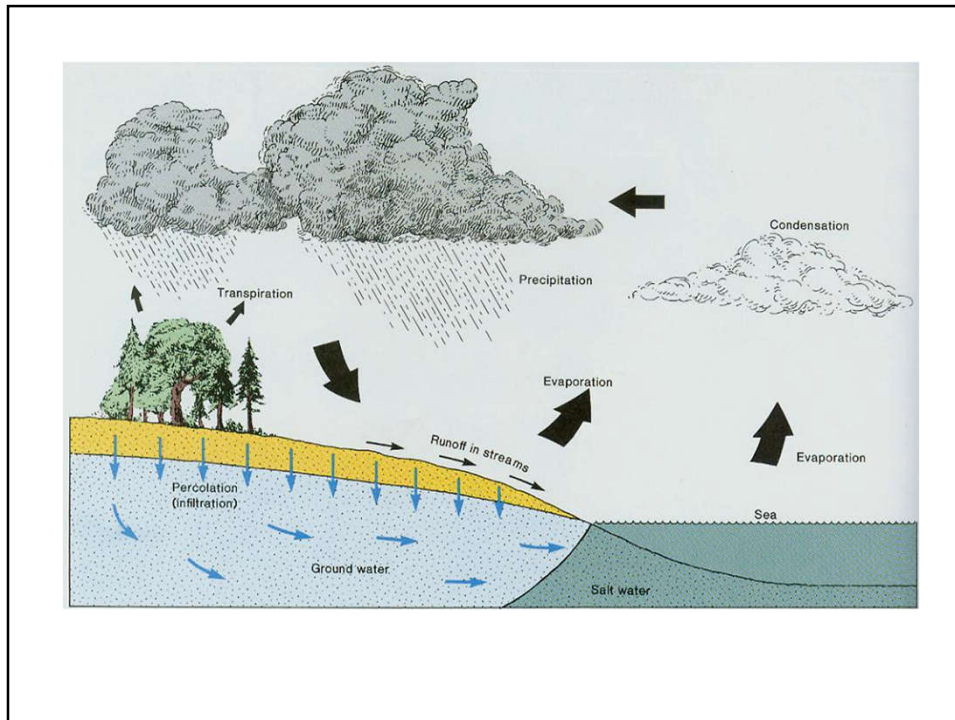
- tekućice
- stajačice
- voda u atmosferi
- podzemne vode

u stalnom kretanju - **HIDROLOŠKI CIKLUS** - ovisi o klimi

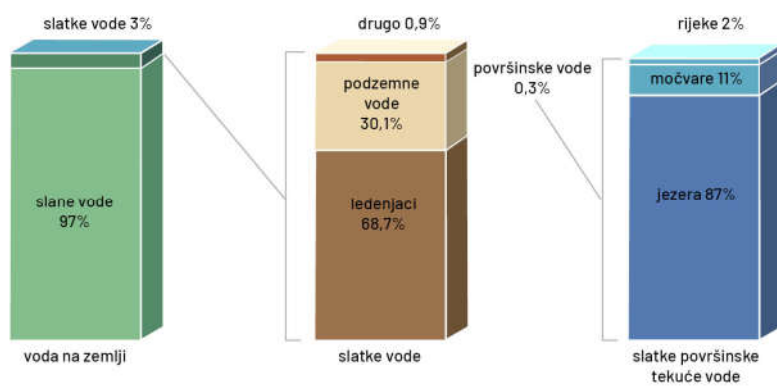
isparavanje - nakupljanje u oblacima -  
padaline - procjeđivanje - otjecanje



preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija



## Voda na Zemlji



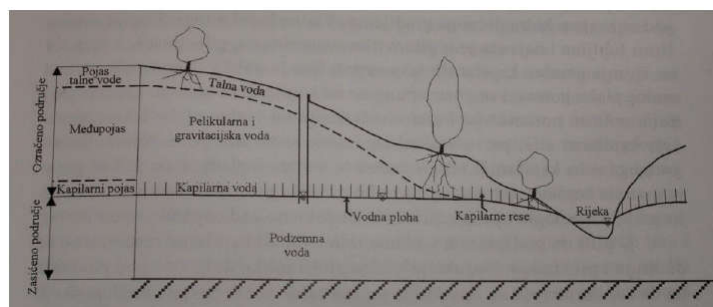
## Podrijetlo i pojave podzemne vode

- Prema podrijetlu podzemne vode su:
- **-meteorska (vadozna) voda: nastalala infiltracijom oborina (najveći dio podzemnih voda),**
- **-juvenilna voda: nastaje kondenzacijom vodenih para ili spajanjem  $O_2$  i  $H_2$ ,**
- **-konatna voda: nalazi se u stijenama još od postanka, u sedimentnih stijena je to obično ostatak morske ili jezerske vode u kojima su sedimenti taloženi.**

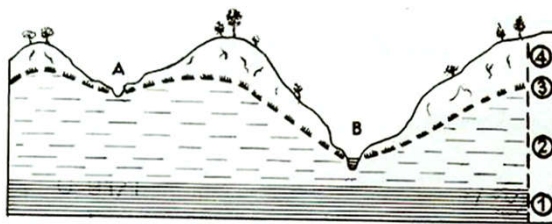
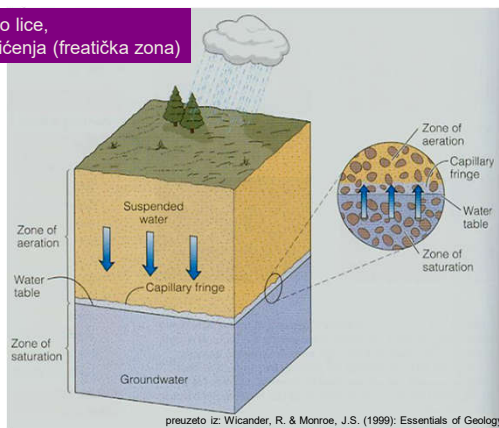
- Količina meteorske podzemne vode ovisi od:
- -količine oborina odnosno klimi nekog područja,
- -zasićenosti podzemlja,
- -nagiba terena,
- -propusnosti stijena i vegetaciji (obraslosti i tipu)

- **Vodna ploha je granica između gornjeg nezasićenog područja (zona aeracije ili vadozni pojas) i donjeg zasićenog područja (zona saturacije).**
- **U ozračenom području pojavljuju su se tri pojasa:**
  - -pojas talne vode koji se obično proteže do dosega korijenja biljaka,
  - -među pojas perikularne i gravitacijske vode: perikularna voda ili vlaga je fizički vezana higroskopskim silama, a voda se kreće od zone veće prema zoni manje zasićenosti: dok gravitacijska voda slobodno teče,
  - -kapilarni pojas: je pojas potpuno saturiran vodom iznad vodnog lica, čija visina ovisi širini šupljina pa u šljunku doseže nekoliko cm, a u glini i prahu nekoliko m. Zato je gornja granica kapilarnih resa nepravilnog oblika.

## Načini pojavljivanja vadozne vode



meteorska (vadozna), vodno lice,  
kapilarni obrub, zona zasićenja (freatička zona)



preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

voda u podzemlju; 1 - nepropusni sloj, 2 - voda temeljnica (freatička zona), 3 - vodno lice (s kapilarnim obrubom), 4 - meteorska voda (meteorska zona), A - rijeka iznad podzemne vode, B - rijeke ispod podzemne vode

## PODZEMNE VODE

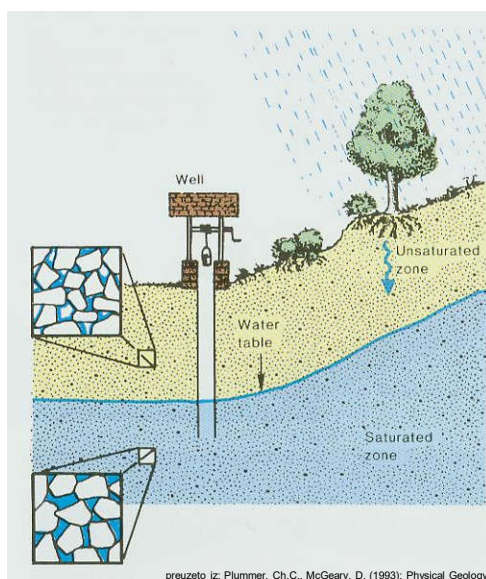
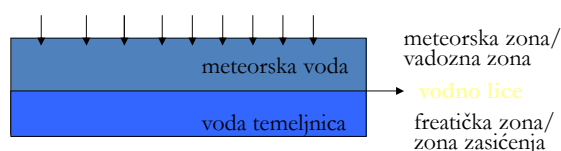
**METEORSKA ZONA - VADOZNA ZONA** - plitka zona kroz koju se voda procjeđuje - **meteorska (vadozna) voda**

**FREATIČKA ZONA - ZONA ZASIĆENJA** - voda prodire u podzemlje do nepropusnog sloja; šupljine ispunjene vodom

- zona crpljenja vode

- **voda temeljnica** - količina ovisi o dotoku (meteorskim putem ili podzemljem) i isparavanju

- granica između meteorske zone i freatičke zone - **VODNO LICE** (površina vode temeljnice) - nepravilno (amplituda=10cm) - oponaša površinsku konfiguraciju terena - ublažene konture



vodno lice - označava vrh zone zasićenja (freatičke zone) u kojoj voda u potpunosti ispunjava porni prostor stijene, iznad je meteorska (vadozna) zona u kojoj su šupljine stijena ispunjene zrakom i vodom

→ vodno lice

preuzeto iz: Plummer, Ch.C., McGeary, D. (1993): Physical Geology

**piezometar** - hidrogeološka bušotina izvedena na takav način da nivo vode u njoj odgovara nivou podzemne vode u njenoj okolini i služi za mjerenje udaljenosti od fiksne točke njegove konstrukcije do nivoa vode  
 - po potrebi i za mjerenje temperature vode i uzimanje uzoraka vode za analizu njezine kvalitete



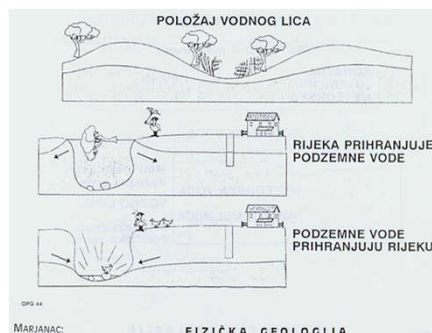
ugradnja piezometra



konačan izgled piezometra

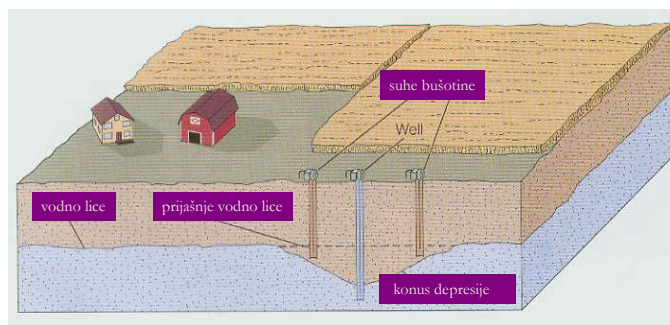
### položaj vodnog lica prema reljefu

- **vodno lice prati reljef, ali s manjom amplitudom**
- povezano s rijekama i jezerima - tekućicama i stajaćicama (ne u kršu!)
  - visok vodostaj rijeke (puno oborina!) - razina vode viša od nivoa vodnog lica - voda prodire u podzemlje
  - nizak vodostaj rijeke (suša!) - razina vode niža od vodnog lica - podzemne vode prihranjuju rijeku



### položaj vodnog lica

- ovisi i o "trošenju" vode - bunari (umjereno trošenje), forsirano crpljenje vode (vodoopskrba - intenzivno trošenje) - **stožac (konus) depresije**



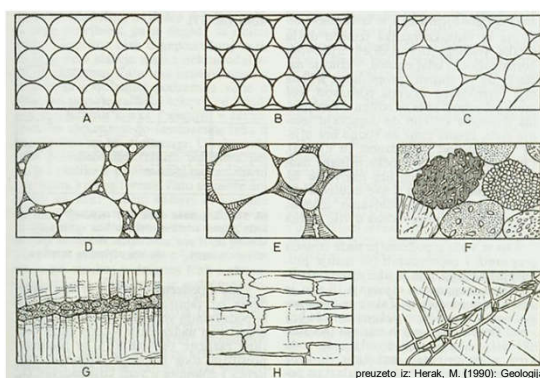
preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

**konus depresije** oblikuje se kada se voda crpi bušenjem; ako je crpljenje brže od obnavljanja podzemlja vodom, konus depresije raste u dubinu i širinu spuštajući vodno lice - posljedica → bušotine koje presušuju

### STIJENE S OBZIROM NA VODU DEFINIRAMO POROZNOŠĆU I PROPUSNOŠĆU

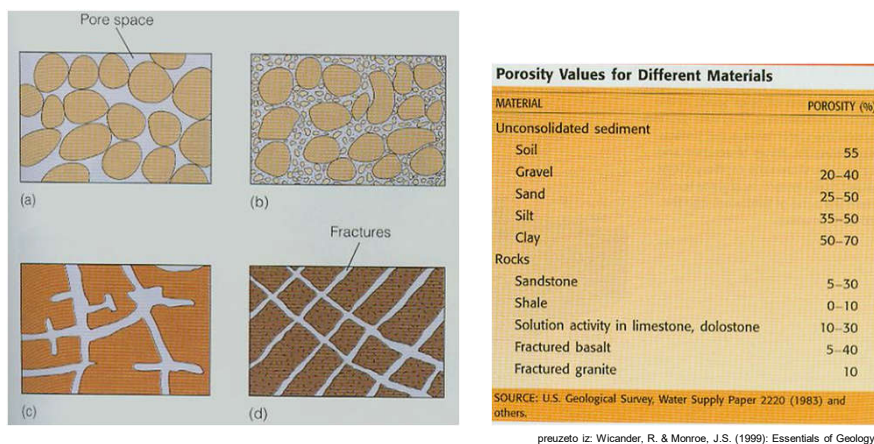
**POROZITET** - prostor između čvrstih sastojaka stijene, šupljine u stijeni  
- volumen svih šupljina u stijeni u jediničnom volumenu stijene (izražava se u %); PRIMARNA i SEKUNDARNA

**međuzrnska/pukotinska**



preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

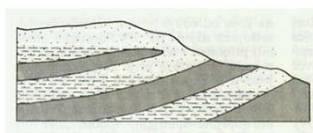
**TIPOVI POROZNOSTI: PRIMARNA:** A,B - utjecaj položaja zrna, C - utjecaj oblika i veličine zrna, D - utjecaj granulometrijskog sastava i rasporeda zrna različite veličine, E - utjecaj cementacije, F - poroznost zrna, G - porozna zrna između slivova lave; **SEKUNDARNA:** H - sekundarna poroznost zbog korozivnog proširenja primarnih pukotina (solucijski), I - pukotinska poroznost



**POROZITET** - ovisi o veličini, obliku i rasporedu (pakiranju) čestica (materijala od kojih je građena stijena); a) dobro sortirana sedimentna stijena - visoki porozitet; b) loše sortirana - nizak porozitet; c) solucijski porozitet - ovisi o stupnju otapanja; d) metamorfne i magmatske stijene - sekundarni porozitet uzrokovan pukotinama

### **PROPUSNOST** - protočnost stijene - povezane šupljine

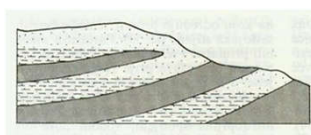
- neovisno o porozitetu
- mjeri se u DARCY - ima (npr. 1 Darcy - jako propusno; deseci mili Darcy-a - mala propusnost)
- voda u podzemlju - u propusnim stijenama koje imaju veliki porozitet
- npr. glina - veliki porozitet (10 - 90%) - nepropusna na vodu
- nepropusne stijene - izolatori, **akvklude**
- propusne stijene - **vodonosnici** - **akviferi**



odvojeni horizonti podzemne vode - vodonosnici

### **zagađenje (kontaminacija) podzemnih voda!!!**

- bunar - najbliži akvifer - najpodložniji zagađenju
- akviferi na veliki dubinama - sigurni od zagađenja!
- zaštita - tamponiranje bunara (glinom)
- industrija - kontaminacija podzemnih voda



preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

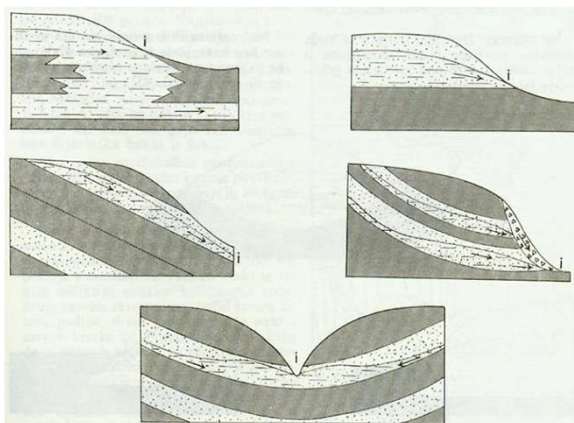
### **VRSTE IZVORA**

**IZVOR** - mjesto gdje podzemna voda dopire na površinu  
(vodno lice dolazi do površine)

voda na površinu izlazi na dva načina:

- 1) PIŠTALINA** -mjesto difuznog izlaženja vode
- 2) IZVOR** - koncentrirano izlaženje vode iz podzemlja  
nekoliko tipova izvora:

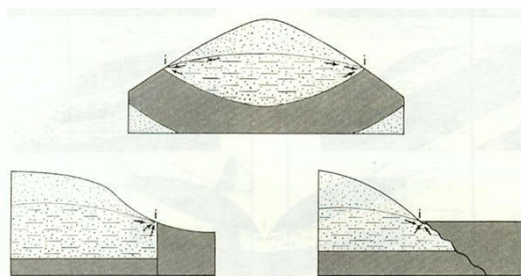
- a) **SILAZNI izvor** - voda na površinu dolazi pod utjecajem gravitacije, spušta se; akvifer horizontalan ili nagnut  
 - jaki izvori, voda brzo teče, nije trajan - često ovisi o oborinama (god. doba)



silazni izvori

preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

- b) **PRELJEVNI (UZLAZNI) izvor** - voda dolazi na površinu nakon podizanja vodnog lica  
 - akvifer lateralno odvojen od ostatka terena nepropusnim naslagama;  
 vodno lice se izdigne iznad ruba barijere (nepropusne ili slabo propusne naslage - barijere) - izvor!  
 - periodički izvori

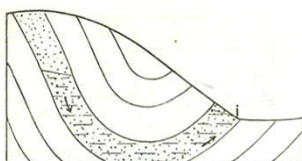


preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

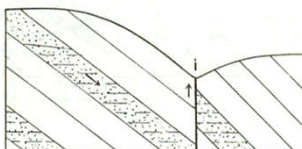
### ARTEŠKI IZVORI

- ukliještena voda (arteška voda) izbija na površinu pod hidrostatskim tlakom (moguće geostatskim)

- subarteška voda - ne uzlazi sama na površinu; nalazi se iznad vodnog lica (definirana je dubinom od površine do vodonosnika)

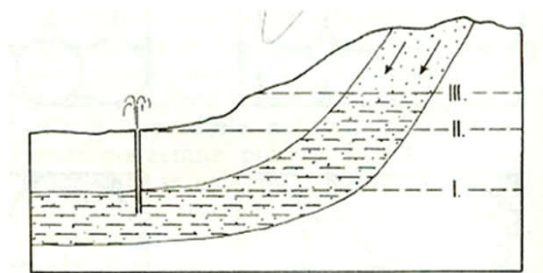


arteški izvori uvjetovani boranjem (gore) i rasjedanjem (dolje)



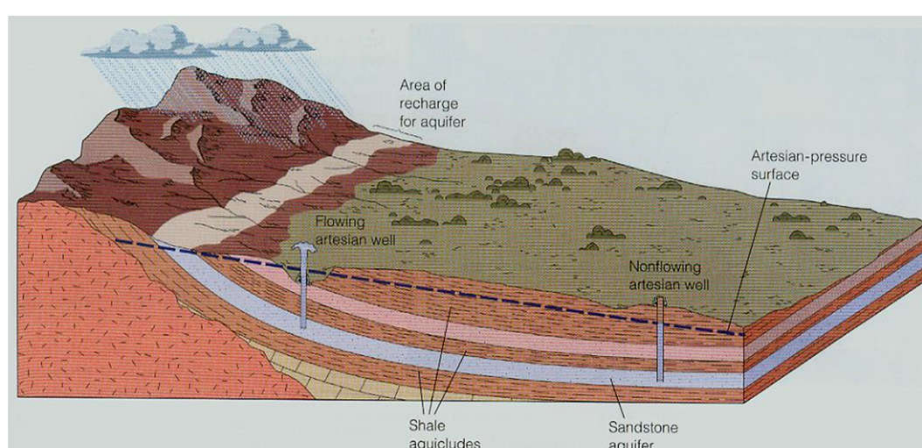
preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

- arteške vode mogu se dobiti i iz nepropusnih stijena ako je jak geostatski pritisak (velika težina stijena) - voda se uzdiže prema površini



preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

ukliještena voda; kod vodostaja iznad II voda je pod arteškim tlakom, kod vodostaja između II i I pod subarteški tlakom, a kod vodostaja ispod I voda ima slobodnu površinu



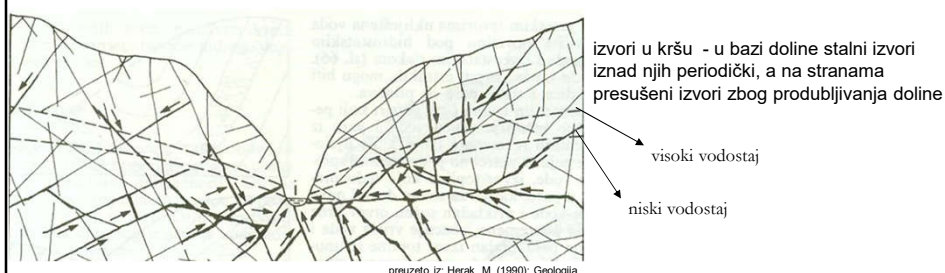
preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

arteški sustav - akvifer omeđen ispod i iznad "akvkludama"; akvifer - izložen na površini gdje je područje s odgovarajućom količinom padalina koje će ga obnavljati

nivo vodnog lica (plava crtkana linija) - odgovara najvišem nivou do kojeg vodno lice može rasti  
 - ako je rast glavnog izvora snabdijevanja ispod rasta površine arteškog pritiska - iz bušotine slobodno teče voda (jer će voda rasti da stigne površinu arteškog pritiska, koji brže raste od izvora snabdijevanja)  
 - ako je porast izvora snabdijevanja na ili ispod površine arteškog pritiska - iz bušotina ne teče voda

### krška područja – još 2 tipa izvora: **krški izvori, estavele**

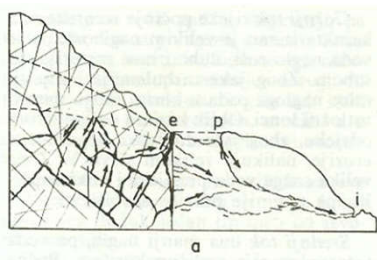
**KRŠKI IZVORI** – izviranje podzemnih rijeka u punom profilu (npr. Jadra, Žrnovnica kod Splita, izvor Cetine, vrila Gacke)  
 - završeci špiljskih sistema kojima teče u podzemlju voda



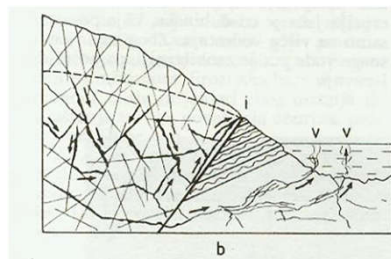
preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

**ESTAVELE** - periodički izvori, izvor za vrijeme visokog nivoa podzemnih voda; ponor za vrijeme niskog nivoa podzemnih voda  
- ovise o godišnjim dobima

**VRULJE** - izvori na morskom dnu  
- neke su pravi krški izvori, neke su estavele – samo periodički izbacuju vodu  
- nisu izvori slatke vode, već zaslanjene – BOČATA voda – slatka voda se miješa sa slanom (morskom)



a – polje; ESTAVELA (e), ponor (p)



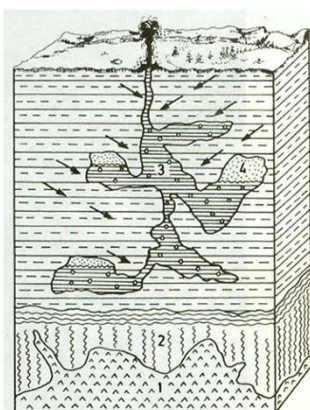
b – obala; VRULJE (v)

KRŠKI TERENI

preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

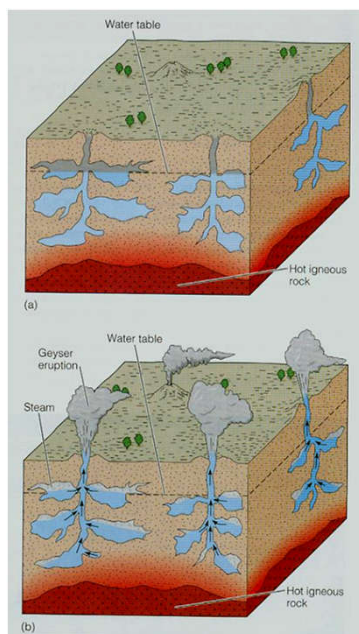
posebna vrsta izvora su:

**GEJZIRI** - periodički, točni (sati, minute) izvori  
- izbacuju vruću vodu i paru iz podzemlja  
- potrebno: podzemno spremište vode, izvor topline, kanali za stalni dovod nove svježije vode, suženi otvor za povremeno izbacivanje vruće vode i pare  
- ako nema morfoloških predispozicija (spremište, sužen prolaz prema površini) – **vrući izvori** (na tisuće u svijetu)  
- oko 400 gejzira u svijetu (npr. Yellowstone, SAD)



gejzir (po Casteru) – 1- vruće magmatske stijene; 2 - vrući plinovi; 3 - vruća voda s mjehurićima plina; 4 - vruća vodena para i plin; strelice - kretanje hladne vode

preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija



Old Faithful gejzir, Yellowstone National park, Wayoming, SAD; svakih 30-90 min.



**gejziri;** a) voda u povezanim šuplinama zagrijavana magmatskim stijenama - zagrijavanje do trenutka ključanja  
b) povećanje temperature iznad točke ključanja ili pad pritiska - voda prelazi u paru koja naglo gura vodu prema gore - gejzirska erupcija

preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

## RIJEKE

## RIJEKE

- tekućice koje teku od izvora prema ušću
  - *stalne*
  - *periodičke*
  - *ponornice*
- izvor - potok; više potoka - više rječica - rijeka
  - splet vodotoka koji čine rijeku - **SLIV**
- brzina tečenja - ovisi o nagibu terena, hrapavosti površine i količini vode

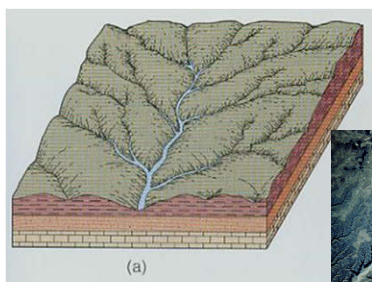
**volumen** ovisi o: pritokama, površini tzv. *drenažnog bazena*

**DRENAŽNA MREŽA** - tokovi koji prihranjuju rijeku čine mrežu;  
sustav tokova koji se udružuju u jednu veliku rijeku

### tipovi drenažne mreže

dendritična  
paralelna  
centrifugalna (radijalna)  
centripetalna

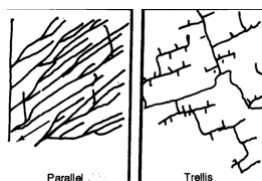
1) DENDRITIČNA - pritoci nepravilno raspoređeni u prostoru



preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

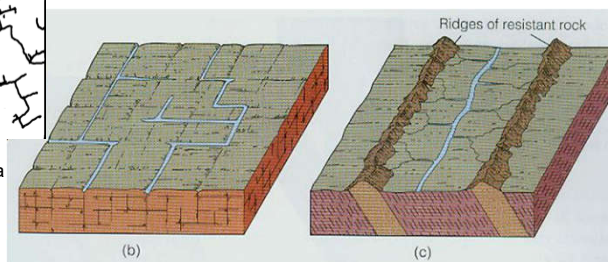


2) PARALELNA - smjerovi tečenja uvjetovani su geološkom građom  
- litologijom ili tektonikom



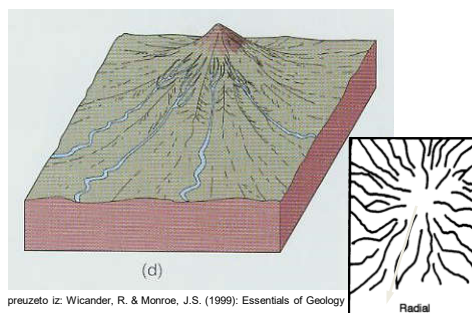
paralelna

rešetkasta



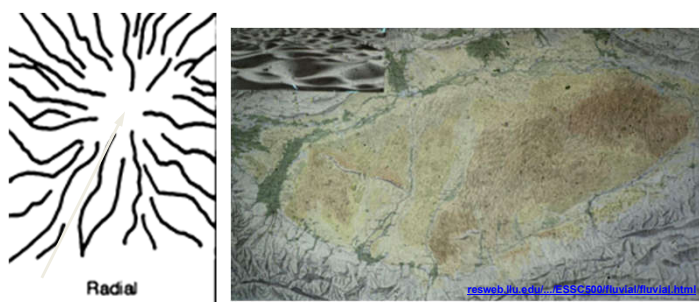
preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

- 3) CENTRIFUGALNA (radijalna) - tokovi se udaljavaju od središnje točke  
- uzvisine; ponekad upućuje na aktivno uzdizanje uzvisina



preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

- 4) CENTRIPETALNA - udruživanje tokova u centru depresije  
- dolina; područje koje se spušta (subsidiencija)



**drenažna mreža - upućuje na geološku građu!**

**SLIV** - splet vodotoka koji čine rijeku; površina terena iz kojeg se voda slijeva

- veći sliv - veća količina vode - veća rijeka

sliv - rijeka

- mora

- oceana

npr. Hrvatska - Jadranski sliv, Crnomorski sliv

**RAZVODNICA** - granica sliva rijeke; zamišljena crta

**površinska** razvodnica - definirana reljefom

**podzemna** razvodnica - definirana geološkim strukturama

### **RAVNOTEŽNI (GRADUIRANI) PROFIL RIJEKE**

- profil duž kojeg rijeka ne erodira i ne taloži - idealna rijeka!

- rijeka erodira - nije u ravnoteži!

**EROZIJSKA BAZA** - nivo do kojeg rijeka može erodirati podlogu

- položaj uvjetovan razinom mora (ne dublje od razine mora!), jezera;

- ako utječe u rijeku - položaj uvjetovan razinom rijeke u koju utječe

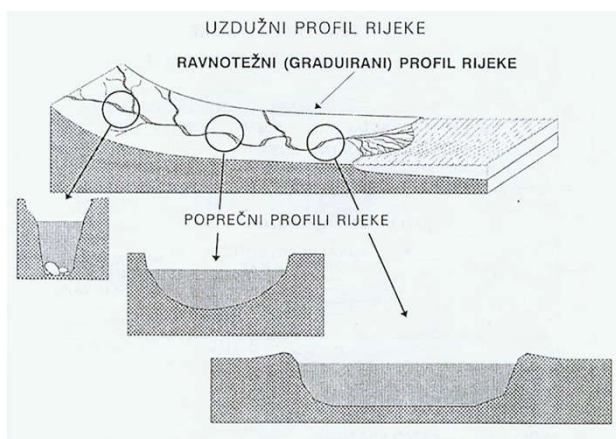
## UZDUŽNI PROFIL RIJEKE

**TOK:**

**gornji**

**srednji**

**donji**

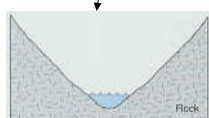


preuzeto iz: Marjanac, T. (1998): Predavanja iz Fizičke geologije

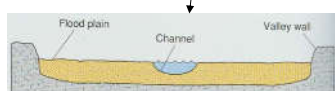
- gornji tok** - počinje izvorom, veliki nagib, jaka turbulencija - vrtložni lonci, jača dubinska erozija od bočne - korito u obliku slova V
- srednji tok** - manji nagib, sporiji tok, pliće korito, bočna erozija jača od dubinske, tok zaobilazniji - zavoji
- donji tok** - nagib najmanji, tok polagan i miran, prošireno korito, zavoji ili meandri (zaokreću  $>180^\circ$ )



uzdužni profil rijeke



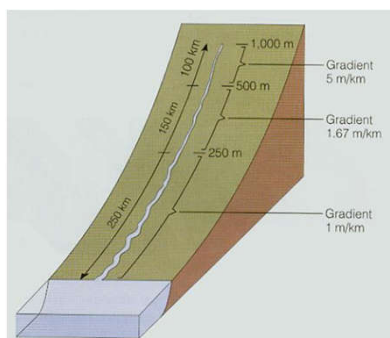
poprečni profil B - gornji tok



poprečni profil C - donji tok

preuzeto iz: Plummer, Ch.C., McGeeary, D. (1993): Physical Geology

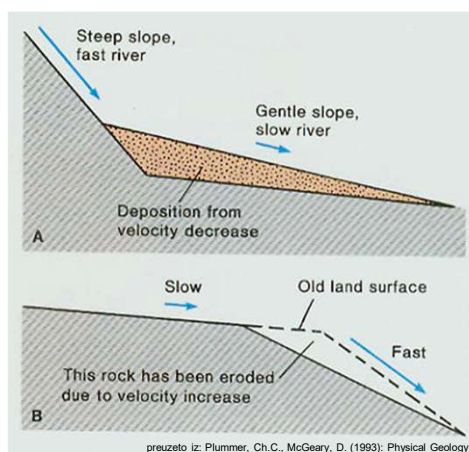
**BRZINA TEČENJA** - ovisi o nagibu, gradijentu (faktor koji kontrolira brzinu) -  
obično se mjeri u metrima na kilometar - npr. 5 m/km znači da je pad  
nagiba rijeke 5 m na 1 km (planinske rijeke imaju gradijent 10-40 m/km)



preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

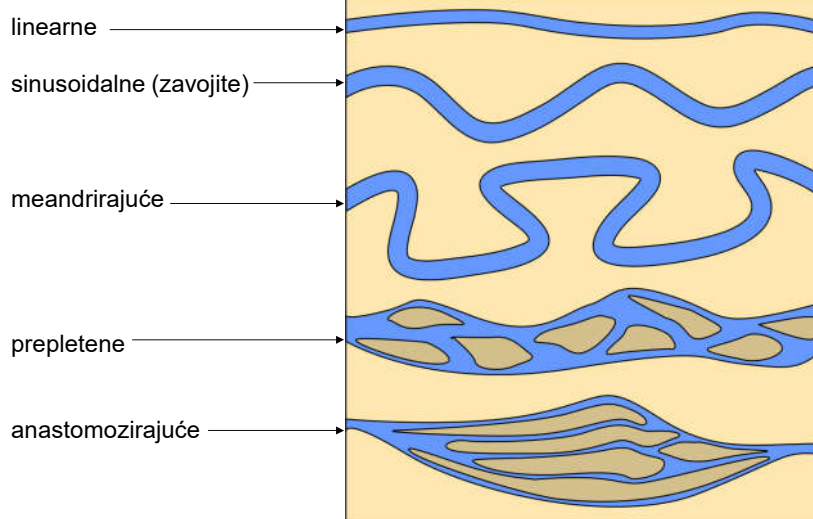
primjer rijeke s prosječnim gradijentom 2 m/km;  
gradijent opada sa smanjenjem nagiba padine

### promjena gradijenta utječe na taloženje i eroziju

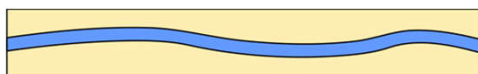


preuzeto iz: Plummer, Ch.C., McGeary, D. (1993): Physical Geology

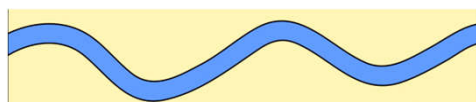
## VRSTE RIJEKA



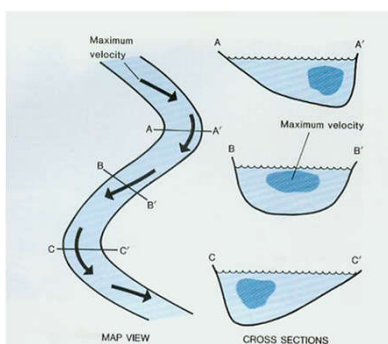
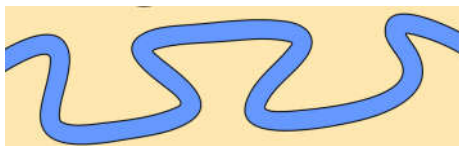
**LINEARNE RIJEKE** - uvjetovane podlogom, veliki gradijent, teku najkraćim putem, brze



**SINUSOIDALNE (ZAVOJITE) RIJEKE** - nastaju kraćenjem linearne rijeke; kraćenjem padine - tok skreće



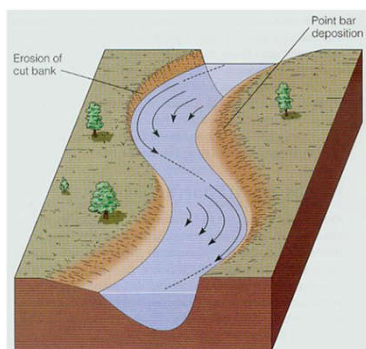
**MEANDRIRAJUĆE** - kraćenje toka (korita) rijeke - zavoji - nepravilan raspored brzina



preuzeto iz: Plummer, Ch.C., McGary, D. (1993): Physical Geology

- u zavojima se matica pomiče bočno, u sredini je toka samo kada tok teče pravocrtno

### POSTANAK MEANDARA



preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

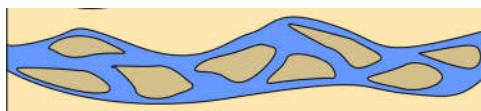


- pojačano erodira jednu stranu korita, s druge strane taloži - **PRUD** - udaljavanje od prethodnog pravca taloženja
- najčešće duboke rijeke
- na kohezivnim podlogama - npr. glina (stabilizira korito)

seljenjem matice (toka) uz bok kanala (korita) - stvaranje zavoja, **MEANDRI**

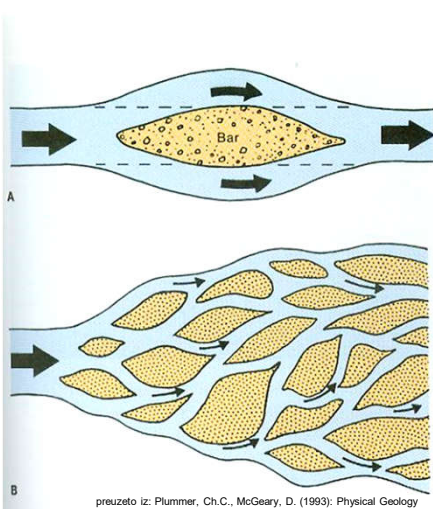
**PREPLETENE RIJEKE** - sustav kanala koji se isprepliću; prudovi unutar korita (između teče voda)

- plitke, široke rijeke, velika količina vode
- na nekohezivnim podlogama - npr. šljunak, pijesak...



prepletana rijeka, u blizini Santa Fe, New Mexico

preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

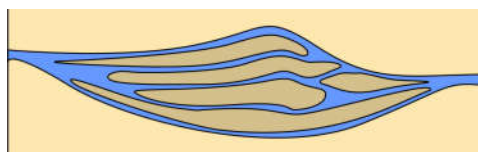


A - prud u sredini korita skreće tok oko pruda - proširenje toka rijeke

B - prepletana rijeka, prudovi dijele glavni tok, korito u više manjih kanala povećavajući tok

preuzeto iz: Plummer, Ch.C., McGeary, D. (1993): Physical Geology

**ANASTOMOZIRAJUĆE RIJEKE** - granaju se u nekoliko kanala, korita  
 - često se granaju i ponovo spajaju - **anastomoziraju**



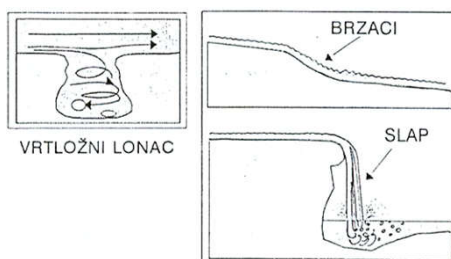
- prenose veliku količinu suspendiranog detritusa, i talože sitnozrnat materijal na poplavnim ravninama i djelom u kanalima
- tokovi male energije → kohezivna podloga i bokovi ne dopuštaju seljenje korita

### nepravilnosti u toku rijeke :

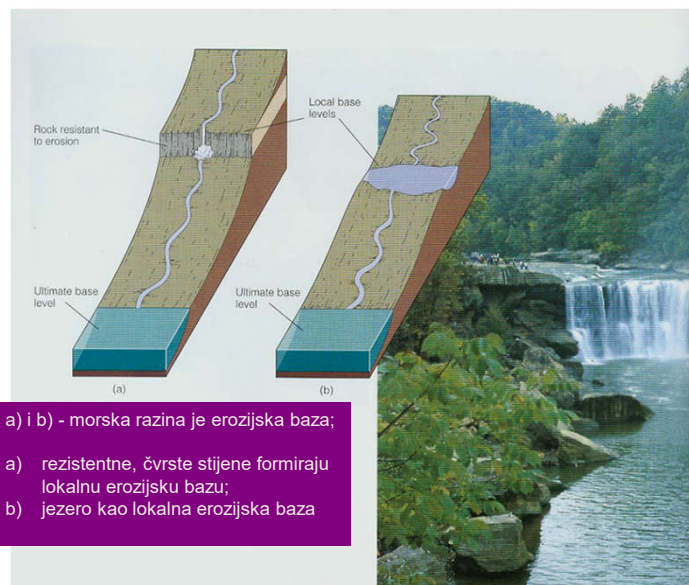
**vrtložni lonci** - zdjelaste forme - VIR (upadaju čestice!)

**slap** - kada tok prelazi iz čvrstih u mekše stijene  
 - može nastati i kao posljedica rasjeda

**brzaci** - blago nagnuti tereni - može prijeći u slap

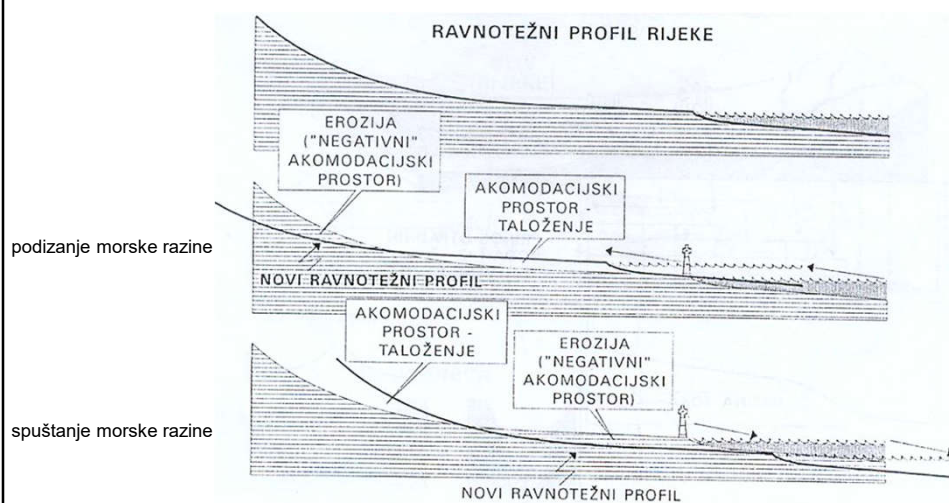


preuzeto iz: Marjanac, T. (1998): Predavanja iz Fizičke geologije

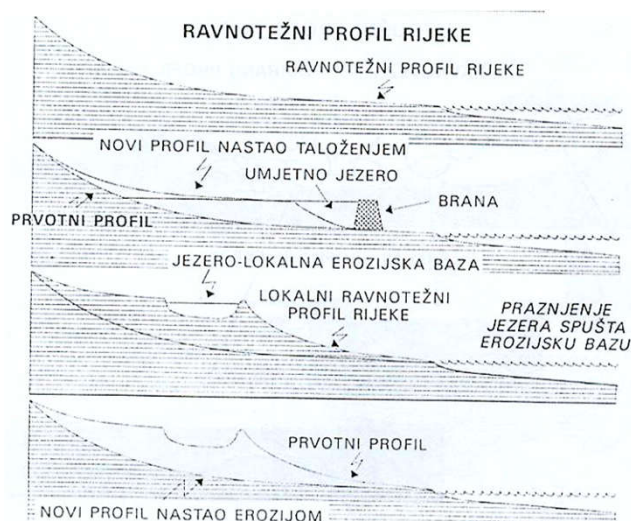


preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology

- kroz geološku prošlost more se spušta / izdiže - rijeke se prilagođavaju različitim položajima erozijske baze



preuzeto iz: Marjanac, T. (1998): Predavanja iz Fizičke geologije



promjena ravnotežnog profila uslijed zahvata - čovjek - akumulacijsko jezero (umjetno) - stvaranje lokalne erozijske baze (dizanjem razine vode u jezeru - diže se erozijska baza)

npr.

- **spuštanje morske razine** - spuštanje cijelog ravnotežnog profila - promjena erozijske baze
- u gornjem toku se ravnotežni profil podiže - **TALOŽENJE!**

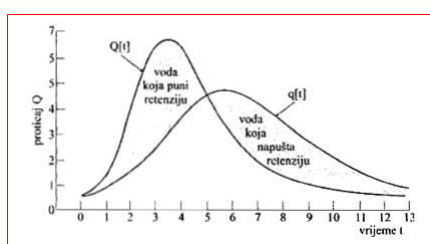
**AKOMODACIJSKI PROSTOR** - prostor koji nastaje promjenom položaja rijeke  
- gdje se novi profil razvio iznad prethodnog - taloženje materijala

**negativni akomodacijski prostor** - dio novog profila - **EROZIJA!** - gdje se novi profil spustio u odnosu na prethodni

- pomicanje ravnotežnog profila - tisuće godina!!!

## Transformacija( propagacija) vodnog vala

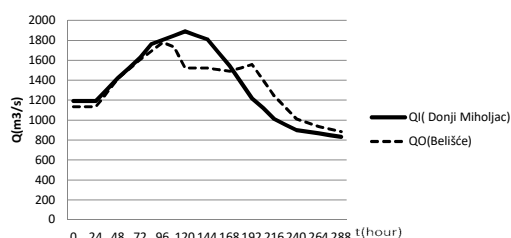
- Propagacija vodnih valova je proces kojim se definiraju karakteristike poplavnih valova na lokaciji nizvodno od neke akumulacije ili na nekoj nizvodnoj dionici riječnog toka, a na osnovu poznatih poplavnih valova na uzvodnoj dionici



## Transformacija( propagacija) vodnog vala

- Pod pojmom modela propagacije poplavnih valova, podrazumijevaju se postupci i metode koje se koriste u hidrologiji za proračun "napredovanja" vodnog vala duž toka, ili kroz akumulaciju u smislu proračuna vremena njegovog pojavljivanja i oblika poplavnog vala.
- Kod prirodnih vodotoka i kanala, kao i akumulacija, pri prolasku poplavnih valova, određena količina vode se privremeno zadržava, što ima za posljedicu promjenu oblika vodnog vala.
- Prostor u kojem se voda zadržava ima efekat retencije, što utječe na oblik poplavnog vala koji putuje nizvodno.

- Volumen akumuliranja vode ovisi od hidrauličkih i topografskih karakteristika dionice – kod riječnih tokova i zapreminskih karakteristika akumulacije – kod akumulacija.
- Efekat ovog zadržavanja na određenom dijelu vodotoka ili u akumulaciji je u funkciji veličine zapremine prostora gdje se ta voda zadržava. Što je veća zapremina prostora između ulaznog i izlaznog profila riječne dionice ili veća zapremina akumulacije, veće su razlike u obliku ulaznog i izlaznog hidrograma. Ovaj utjecaj se ogleda u tome što se vršni protok poplavnog vala smanjuje i istovremeno produžuje njegova vremenska baza, što se u hidrološkoj praksi naziva **rasplinjavanja poplavnog vala**.



### Svrha analize pojave i propagacije poplavnih valova u riječnom slivu:

- Analiza uvjeta nastanka poplavnih valova
- Određivanje vjerojatnosti pojave poplavnih valova, koincidencije pojave i sukcesivnog nailaska
- Uvjeti putovanja i rasplinjavanja poplavnih valova u uvjetima prirodnog režima
- Utjecaj regulacijskih radova u slivu (prosjecanje riječnih krivina, isključenje retencija izgradnjom nasipa duž toka i sl.) na uvjete putovanja i rasplinjavanja poplavnih valova
- Pitanje izbora akumulacija u slivu (lokacije i zapremine akumulacijskog prostora za prijem poplavnih valova) s ciljem maksimalnog ublaženja poplavnog vala u dolini nizvodno
- Dimenzioniranje nasipa za sprječavanje izlivanja velikih voda