

Hidromorfologija

međudjelovanje vode i reljefa

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čanjevac

Hidromorfološki aspekt hidrogeografije obuhvaća razmatranje odnosa i utjecaja između vode i reljefa (Riđanović, 1993.).

Pod pojmom **hidromorfologija** smatra se interdisciplinarno područje koje povezuje hidrološka i fluvijalna geomorfološka obilježja i procese na tekućicama (Belletti i dr., 2015.) s ciljem poboljšanja ukupnog ekološkog stanja te kvalitetnog upravljanja i revitalizacije tekućica (Newson i Large, 2006.).

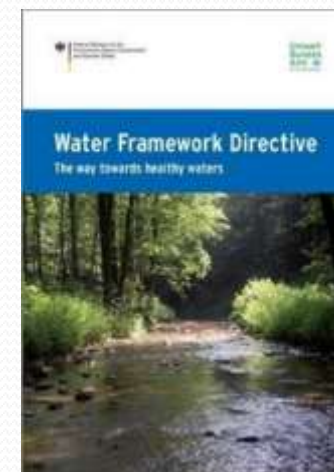
Hidromorfološko stanje kako ga opisuje **ODV**, obuhvaća obilježja (Hrvatske vode, 2013.): **hidrološkoga režima, neprekinutosti (kontinuiteta) vodotoka i morfologije korita**...kao podupirajućih elemenata dobrom biološkom stanju.

Za zdrave tekućice potrebno je imati dobre abiotičke uvjete (oni su podupirući), što znači dobre fizikalno-kemijske i hidromorfološke uvjete!

Okvirna direktiva Europske Unije o vodama (ODV) ili Direktiva 2000/60/EC Europskog parlamenta:

- Stupila na snagu 22.12.2000. - prekretnica vodnoga gospodarstva Europe premda se od 1970.-ih donose različiti propisi.
- Petogodišnji proces pregovaranja rezultirao je dogovorom oko **ključnih principa** suvremenog upravljanja vodnim resursima koji su temelj ODV-a

Hrvatska je članica EU od 2013.



Koja je svrha ODV-a?

Direktiva uspostavlja **okvir za zaštitu svih voda** (unutarnjih površinskih, prijelaznih, obalnih i podzemnih voda) **čime:**

- **sprječava** daljnje pogoršanje, **štiti i poboljšava** status vodnih resursa
- **promovira** održivo korištenje voda temeljeno na dugotrajnoj zaštiti vodnih resursa
- **cilja** na poboljšanje zaštite i unaprijeđenje vodnih ekosustava
- **osigurava** progresivno smanjivanje onečišćenja podzemnih voda i prevenciju budućih onečišćenja
- **pridonosi** smanjenju negativnih učinaka poplava i suša.



Koji su ključni ciljevi ODV-a?

Glavni cilj ODV-a je **Dobar ekološki status** voda do 2015. → danas 53% vodnih tijela (oko 40 % 2009.)

Good ecological status: *The values of the biological quality elements for the surface water body type show **low levels of distortion resulting from human activity**, but deviate only slightly from those normally associated with the surface water body type under undisturbed conditions (ODV, 2000.).*



Vodna tijela

Glavni cilj ODV-a je **Dobar ekološki status** voda

... for the surface water body ...

Vodno tijelo (površinsko) prema dokumentima ODV-a (ODV, čl. 2, st. 10; GD2) predstavlja **jasno odvojenu/određenu karakterističnu dionicu površinske vode** kao što su jezero, akumulacija, potok, rijeka ili kanal; dio jezera, potoka, rijeke ili kanala; prijelazne vode ili pojas priobalne vode (do jedne milje od obale + za kemijsko stanje do 12 milja-teritorijalne vode).

ODV uzima granicu za monitoring i ocjenu ekološkog stanja:

Rijeke (tekućice) s poriječjem većim od 10 km^2

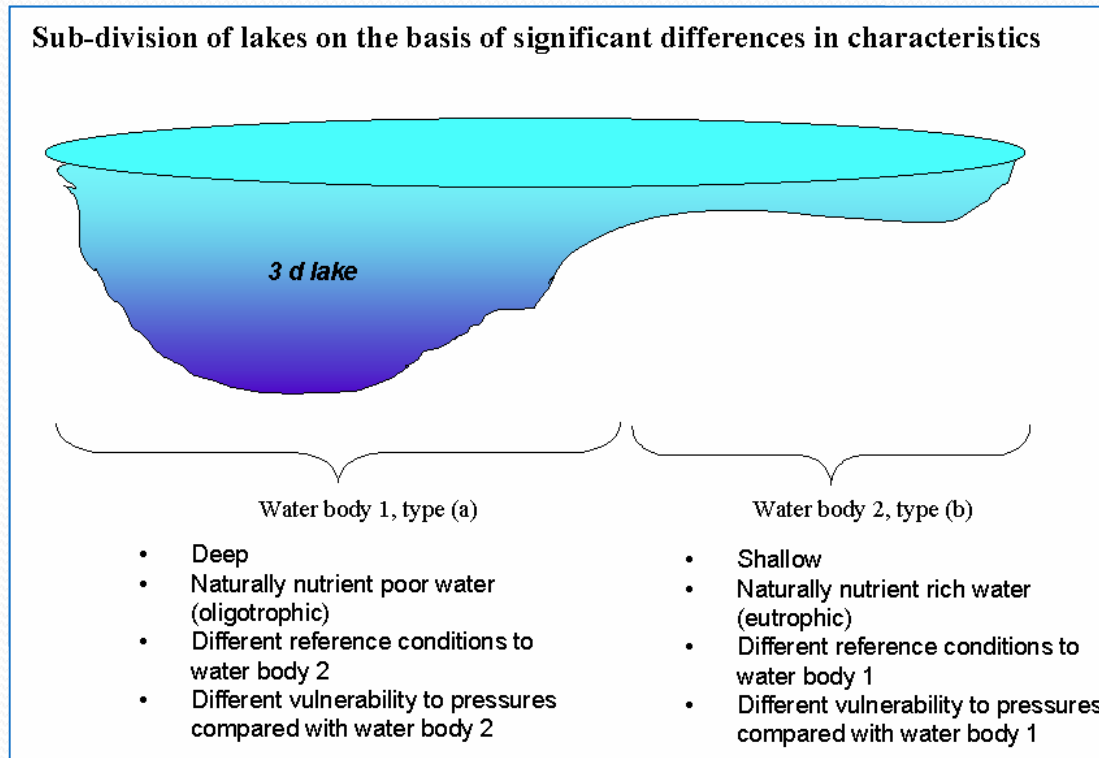
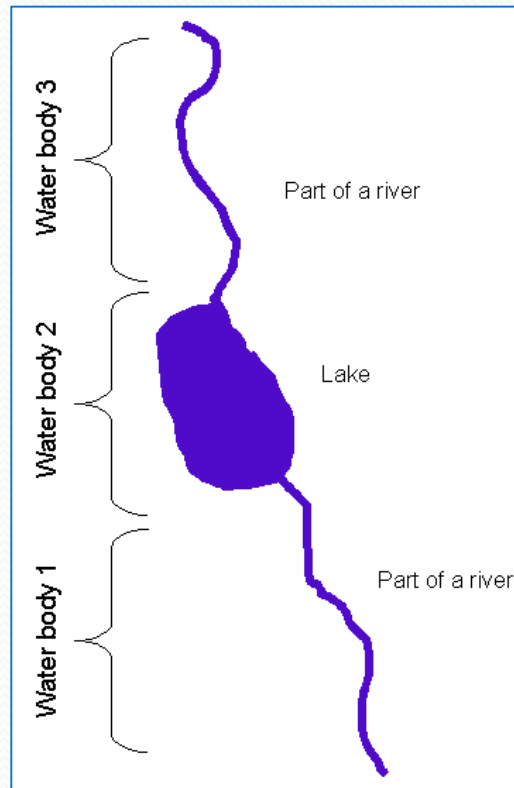
Jezera s površinom vodnog lica preko $0,5 \text{ km}^2$

Vodonosnike iz kojih je moguće zahvatiti u prosjeku više od $10 \text{ m}^3/\text{dan}$ ili opskrbiti više od 50 ljudi

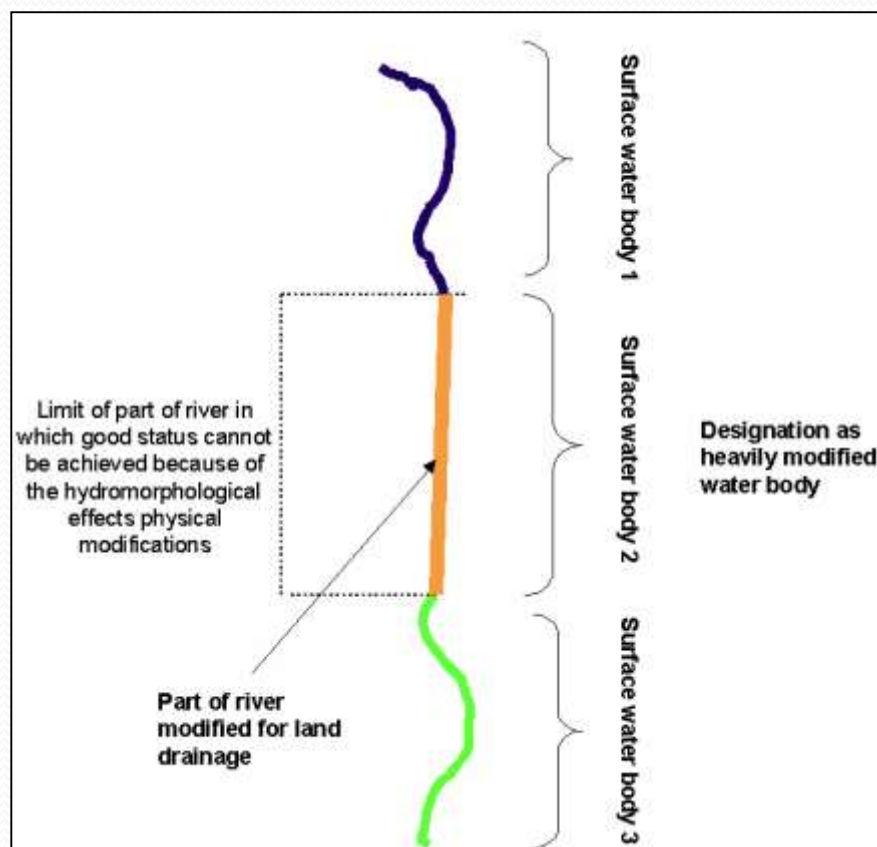
Vodno tijelo - ...*discrete and significant element of surface water*... u kontekstu svrhe, objekta i odredbi ODV-a

Discrete elements of surface water - na temelju

Physical features (geographical and hydromorphological)



Heavily modified and artificial water bodies (*Jako izmijenjena i umjetna vodna tijela*) - ona gdje nema *good ecological status* uslijed degradacije hidromorfoloških obilježja!



Traži se postizanje *Dobrog ekološkog potencijala*!

Vodno tijelo zatim ima **elemente kvalitete** potrebne za **ekološki status** opisan u ODV.

- *Ekološko stanje (status)* je izraz kakvoće strukture i funkcioniranja vodnih ekosustava.

Ekološki status (određen je doljnjom ocjenom B i FK elemenata):

1) Biološki elementi

2) Fizikalno-kemijski elementi

3) Hidromorfološki elementi

Vodno tijelo zatim ima **elemente kvalitete** potrebne za **ekološki status** opisan u ODV.

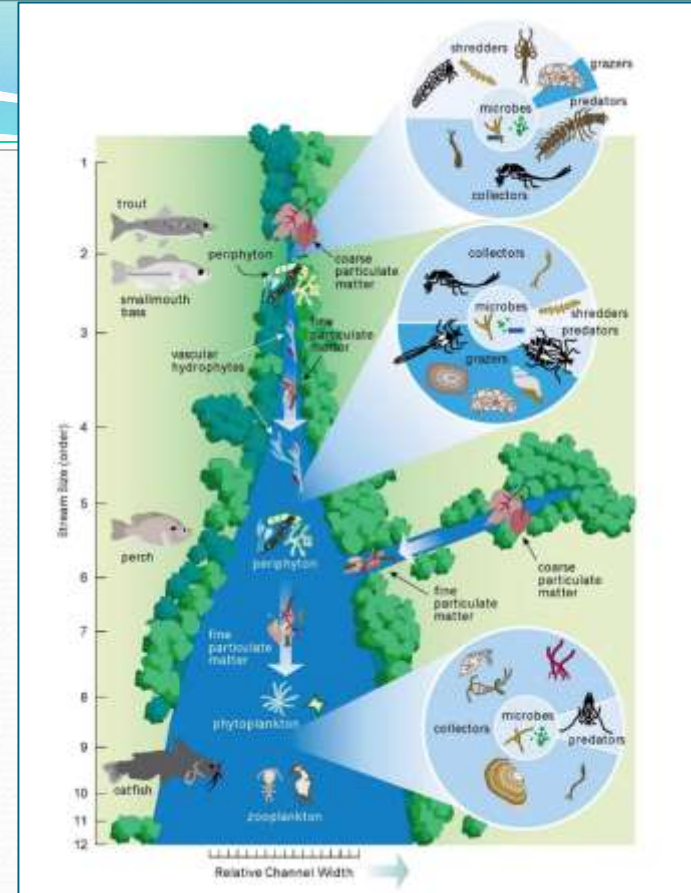
Ekološki status (određen je doljnjom ocjenom B i FK elemenata):

Biološki elementi

→ biljke (fitoplankton, fitobentos, makrofita),
beskralješnjaci, ribe

Fizikalno-kemijski elementi

→ općenito stanje (nema kriterija; BPK₅, N, P)
i specifični onečišćivači
(polutanti za koje postoje standardi)



Component	Sub-components	Class	Definition
General	Thermal conditions	High	Totally or nearly totally undisturbed. With levels established to ensure functioning of ecosystems to achieve biological elements. Conditions consistent with the achievement specified for biological elements.
	Oxygen conditions	Good	
	Salinity	Moderate	
	Acidification status		
	Nutrients status		
Transparency (lakes only)			
Specific pollutants (priority substances and other substances identified as being discharged in significant quantities)	Synthetic	High	Below detection limits. Within EQS limits. Conditions consistent with the achievement specified for biological elements.
		Good	
		Moderate	
	Non-synthetic	High	Below normal background level. Within EQS limits. Conditions consistent with the achievement specified for biological elements.
	Good		
	Moderate		

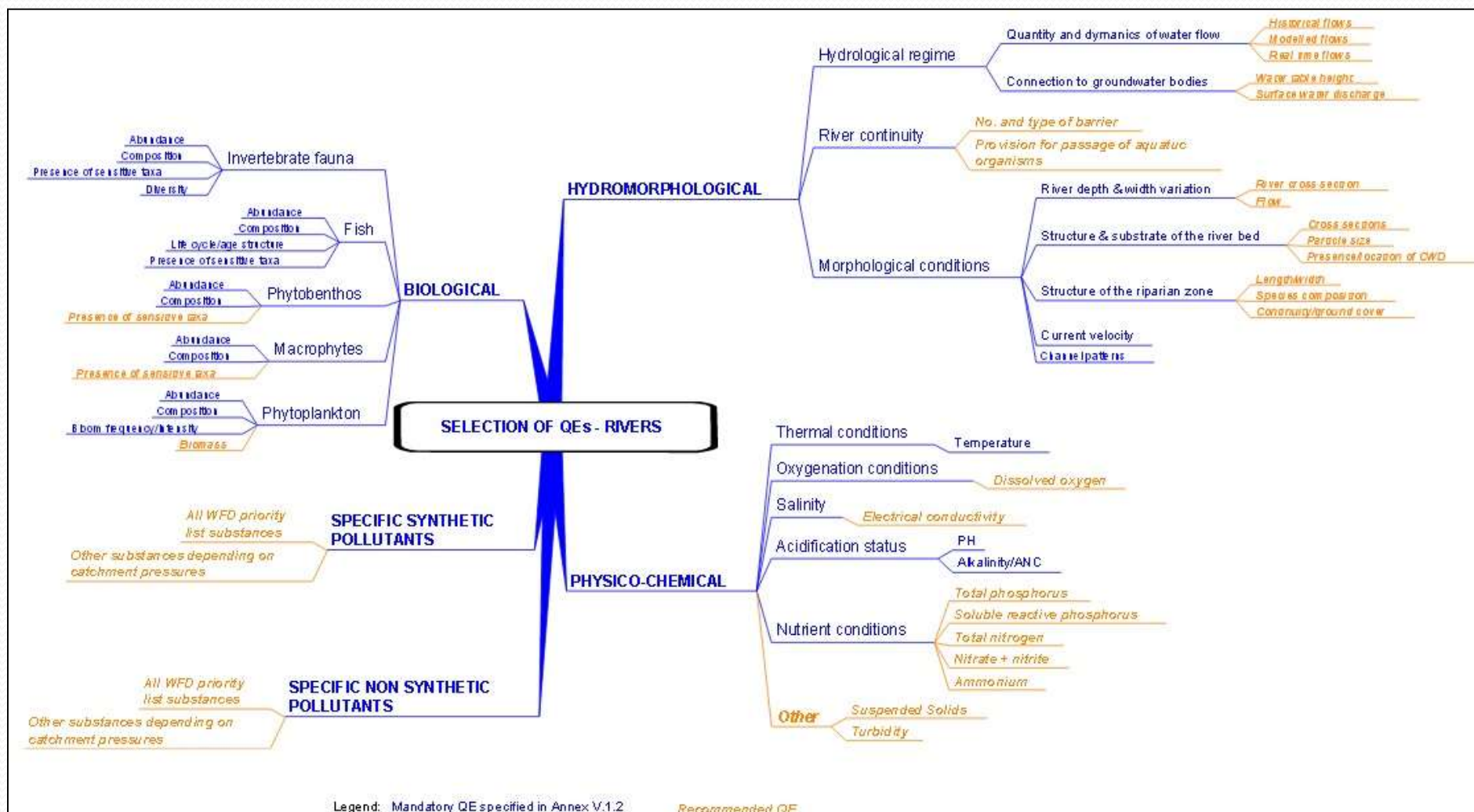
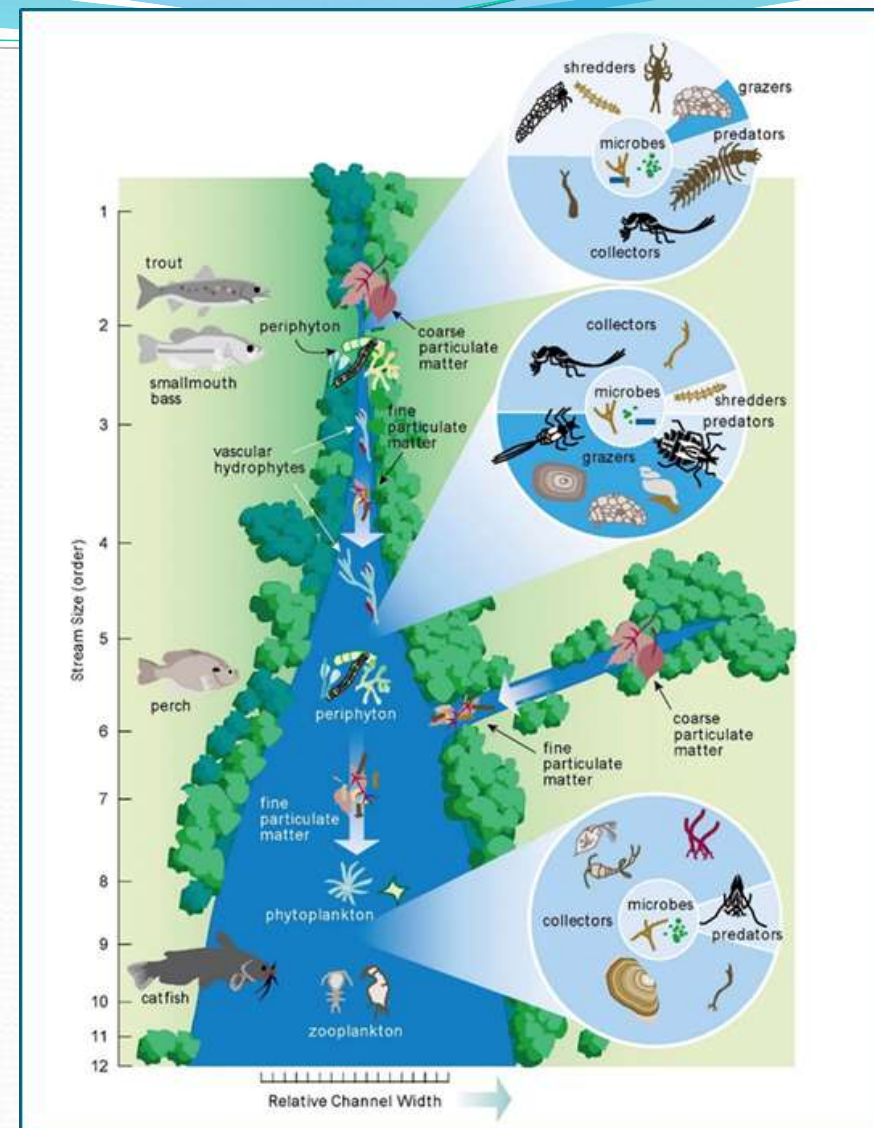
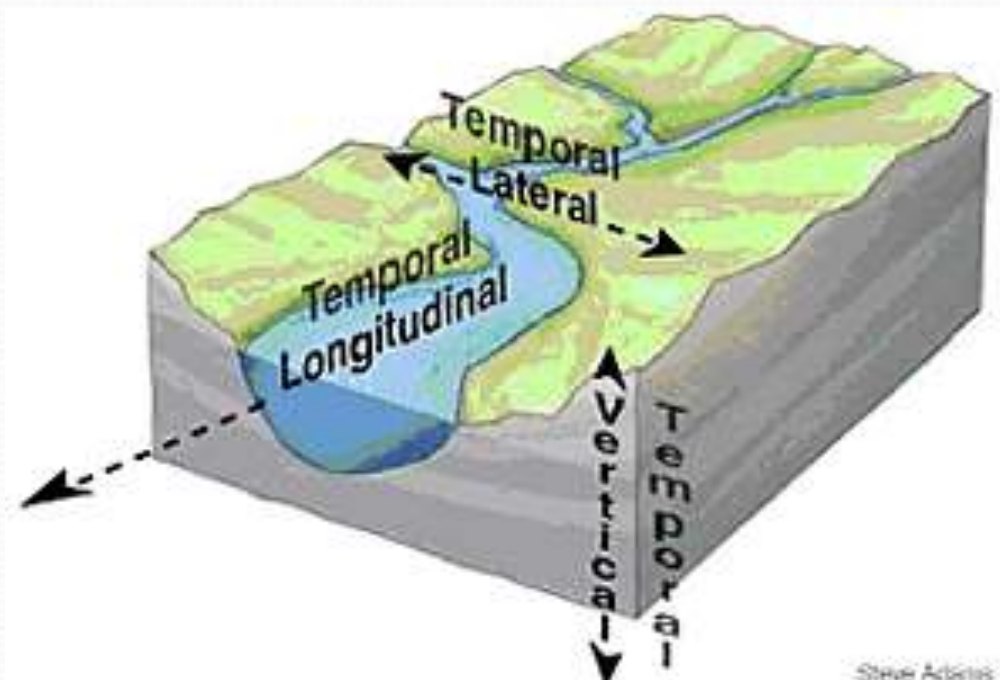


Figure 3.1 Selection of quality elements for rivers

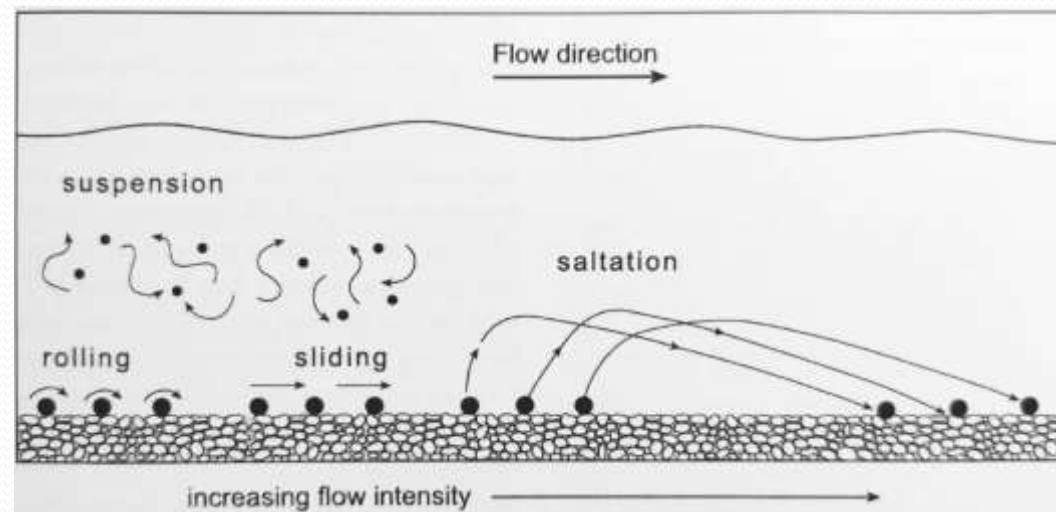
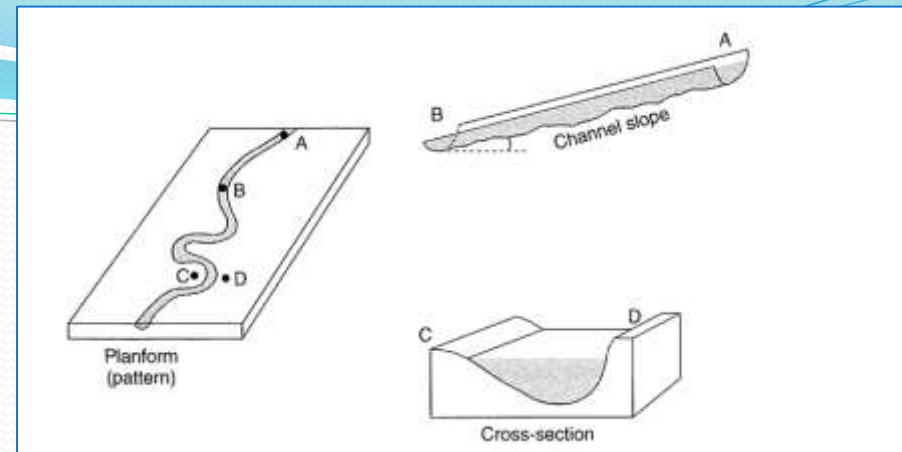
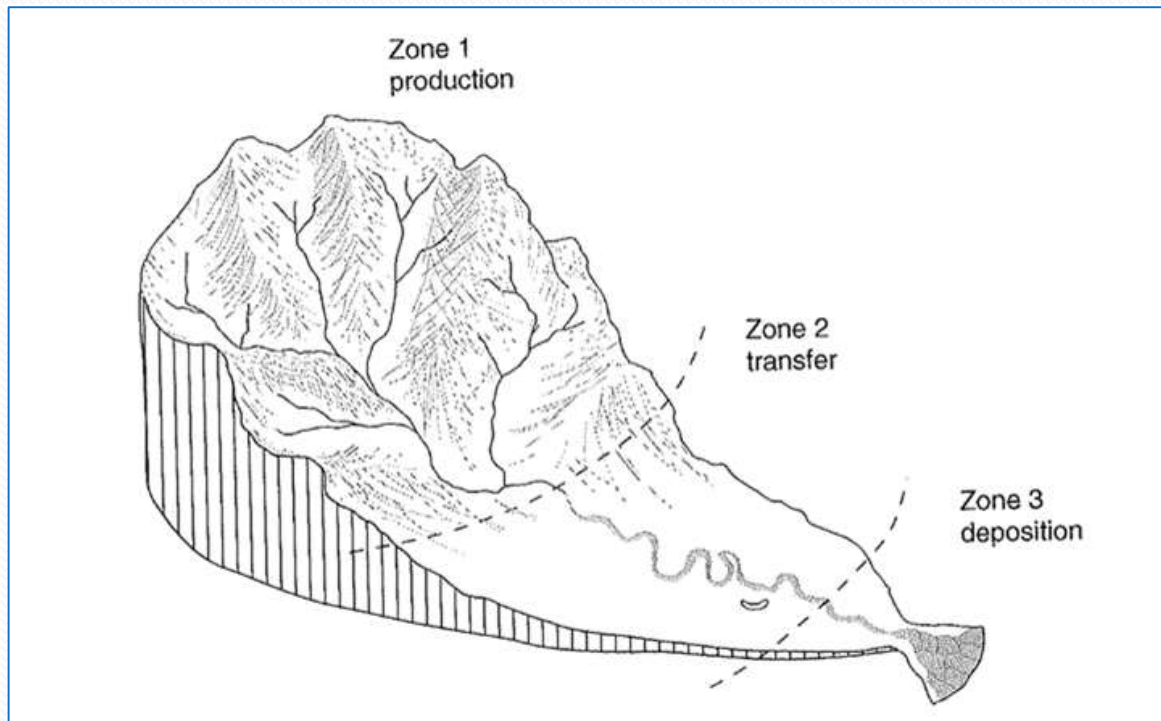
Hidromorfološki elementi kakvoće **potrebni su za određivanje „vrlo dobrog ekološkog stanja“**. Vrlo dobro stanje za specifične hidromorfološke elemente kakvoće je normativno definirano kao (ODV, 2000.):

- *Hidrološki režim* - količina i dinamika toka i iz toga proizašla veza s podzemnim vodama potpuno ili skoro potpuno odražavaju nenarušeno stanje.
- *Kontinuitet rijeke* - kontinuitet rijeke nije narušen ljudskim aktivnostima i omogućuje neometanu migraciju vodenih organizama i **pronos nanosa**.
- *Morfološki uvjeti* - oblici korita, varijacije širine i dubine, brzine toka, stanje podloge te struktura i stanje obalnih pojasa odgovaraju potpuno ili skoro potpuno nenarušenom stanju.

Za zdrave hidromorfološke (i ekološke) uvjete potrebna je **longitudinalna**, **lateralna** (s naplavnom ravnicom) i **vertikalna** (podzemne vode) **povezanost!**



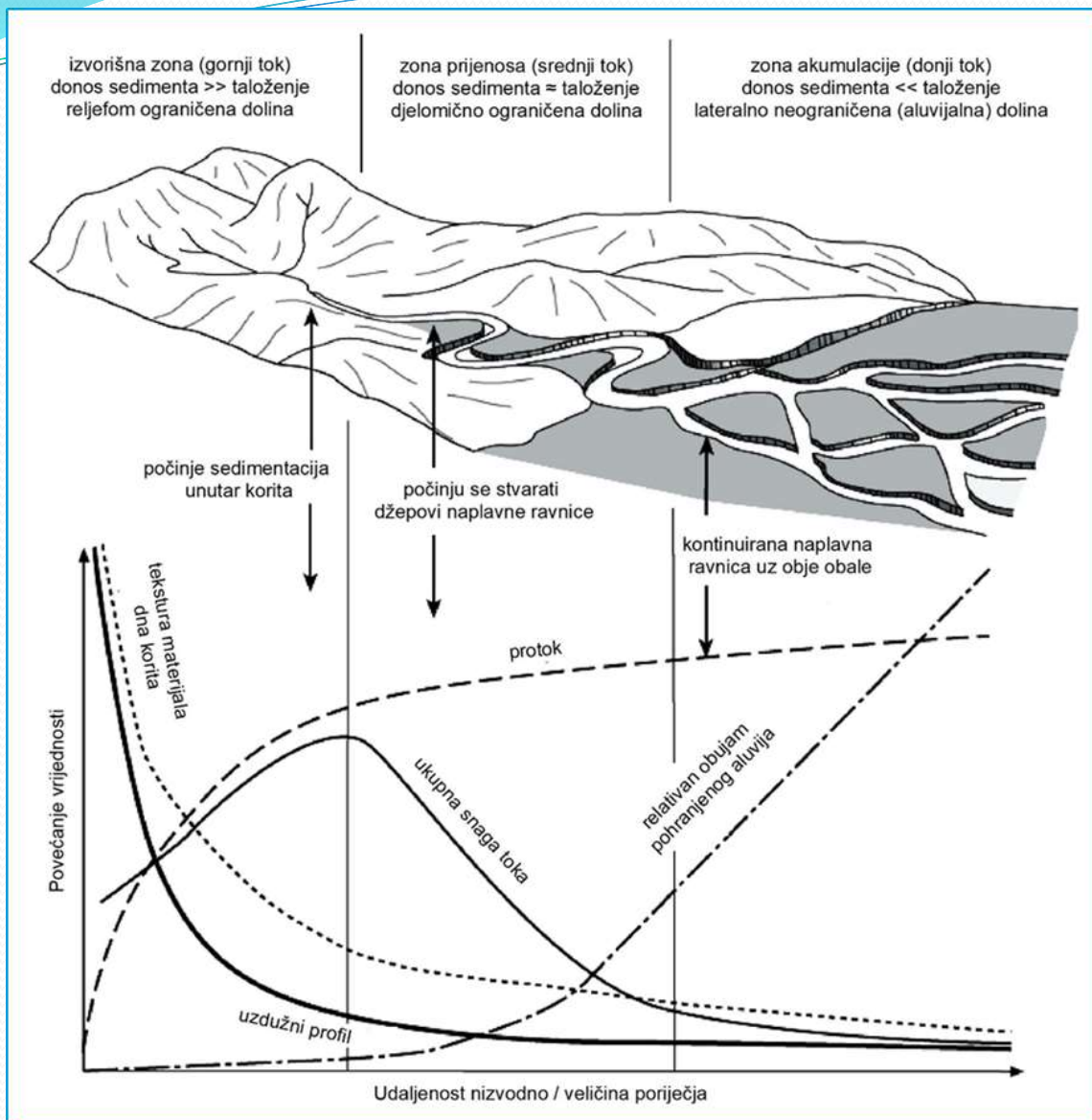
Mehanizmi otjecanja unutar poriječja



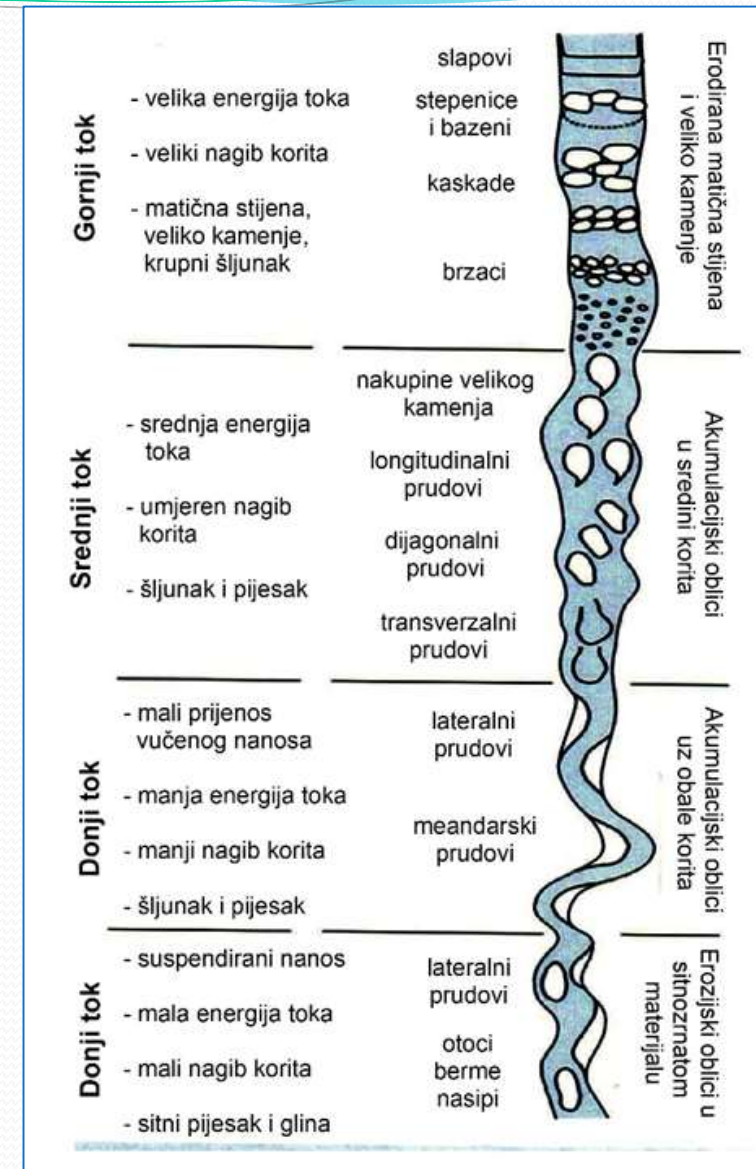
Fryirs i Brierley, 2013.

Gornji tok predstavlja **zonu proizvodnje nanosa** koju obilježava erozija ili prirodna degradacija korita. Srednji tok je **zona prijenosa nanosa**, u kojoj su istovremeno prisutni erozija i sedimentacija. Donji tok predstavlja **zonu taloženja nanosa** (sedimentacije).

Mehanizmi otjecanja unutar poriječja



Shematski prikaz odnosa između nagiba, protoka, teksture materijala dna korita, ukupne snage toka i uskladištenih naplavina duž tipičnog uzdužnog profila i povezanih prijelaza između različitih mehanizama toka i obilježja doline (prema Fryirs i Brierley, 2013).



Geomorfološka obilježja gornjeg, srednjeg i donjeg toka (prema Fryirs i Brierley, 2013)

Gornji tok obilježavaju:

- relativno veliki uzdužni padovi i nagib dna korita (pretežno iznad 1‰)
- nagle promjene hidroloških i hidrauličkih pokazatelja; često bujična obilježja
- velika energija toka i uglavnom intenzivan proces dubinske erozije; česte su nagle promjene smjera toka i pada dna korita
- korito je većinom u stjenovitom materijalu, supstrat čini matična stijena, blokovi i veće kamenje, oblutci i krupni šljunak; supstrat je u pravilu heterogen odnosno slabo sortiran
- riječna dolina je ograničena reljefom, uska sa strmim stranama („V“ profil); tlocrt korita je relativno ravan ili blago vijugav
- od geomorfoloških obilježja, kod korita u matičnoj stijeni česta je pojava stjenovitih stuba (stepenica), slapova (kaskada), brzaca i bazena; korita razvijena u koluviju (oblutci i krupni šljunak) nemaju izražene morfološke značajke, no moguća je pojava prudova i malih bazena koji nastaju zbog prepreka (nakupina blokova kamenja ili većih stabala)
- naplavna ravnica je slabo razvijena, uska i strma te građena od krupnozrnatog materijala. Obilježavaju ju prirodni nasipi od blokova i većeg kamenja, plavine od šljunka/pijeska, napuštena korita ili korita aktivna samo za visokih voda, erozijske udubine i tanki sloj sitnog aluvija izvan korita (Rinaldi i dr., 2016).



Primjeri gornjeg toka:

Vela Rika (Suha Ričina Bašćanska) - korito u matičnoj stijeni (lijevo), Delnički potok - brzaci i naplavina krupnog šljunka (desno)



Srednji tok obilježavaju:

- blaži uzdužni padovi (oko 0,4‰) i promjene hidroloških i hidrauličkih veličina manjeg intenziteta
- korito je podložno promjenama i eroziji jer je energija toka još uvijek relativno velika; korito je razvijeno u aluvijalnim i diluvijalnim (poplavnim) dolinama, ali je mjestimično ograničeno i matičnom stijenom
- u nanosu dominira šljunčani nanos (1-5 cm) s pijeskom, a pronos nanosa je ujednačen
- javljaju se geomorfološki oblici vezani uz krupnozrnati vučeni materijal (bočni i središnji prudovi, prirodni nasipi, brzaci i bazeni); drveni ostaci se mogu zadržavati na područjima konvergencije toka (npr. prudovi) i stvarati svojevrzne brane koje zaustavljaju sediment
- dolina je šira nego u gornjem toku, a nagibi obala su blaži; omjer širine i dubine korita je veći nego u gornjem toku; tlocrt korita može biti vijugav, meandrirajući ili isprepleten
- geomorfološka obilježja meandrirajućeg korita na šljunku su bazeni, brzaci, meandarski prudovi (prudovi na unutarnjem dijelu meandra), prirodno presijecanje i migracija meandara, pojava mrtvica, rukavaca i greda (berma)
- mehanizam srednjeg toka obilježava dinamično meandriranje, a jaka erozija se prirodno javlja na vanjskom dijelu meandra (tzv. bočna erozija); jaku eroziju obilježava potkopana obala, nekompaktni sedimenti i snažna denudacija (potkopavanje, urušavanje, osipanje) (Frankenberger i Esman, 2012); međutim, na unutarnjem dijelu meandra nagibi obala su blagi (manji od 20°)
- naplavnu ravnice karakterizira lateralna migracija s bočnim zavojitim taloženjem materijala čime nastaju valovita paralelna uzvišenja i udubljenja; povremeno se javljaju i zaobalne močvare u nižim područjima (Rinaldi i dr., 2016).



Primjeri srednjeg toka:

Globoznica, Medići - drveni ostaci u koritu (lijevo) i
Drava, Štorgač - prudovi (desno)



Donji tok obilježavaju:

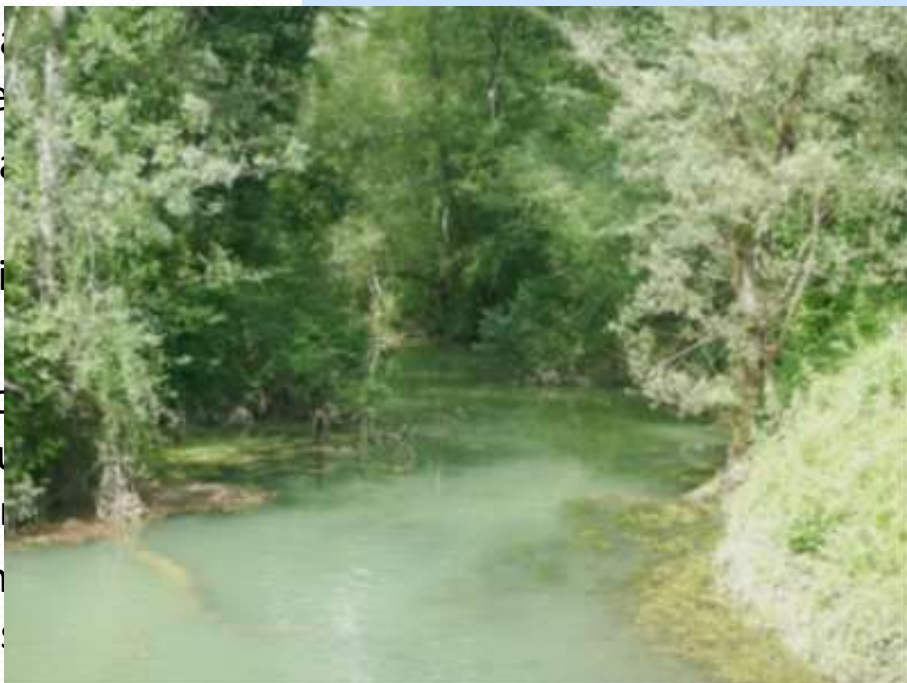
- mali uzdužni nagibi ($< 0,1\text{‰}$)

- na ovom dijelu vodotoka općenito se talože velike količine sitnijeg nanosa (pijeska); korito je u potpuno razvijenom aluviju, a tok je stalan i ujednačen, s u pravilu sporijim promjenama vodostaja; drveni ostaci se javljaju u manjim količinama, vezani su uz obale i obalnu vegetaciju te su manje značajni za biotu

- općenito se javlja meandrirajući tip korita; lateralna stabilnost korita ovisi o sedimentu od kojeg su građene obale; ako je sediment ne-kohezivan (pijesak), korito je lateralno nestabilno i s izraženom, uglavnom slabom, bočnom erozijom

- mogući geomorfološki oblici su meandarski prudovi, mikrodine (riplovi) i dine, a očekivani procesi su migracija meandara i lateralno zavojito taloženje. Primjeri donjeg toka: Stari tok Mirne (lijevo) i Odra, Lekenik (desno)

- kod meandrirajućeg tipa korita, obala l...
dijelu me...
- površina...
površine...
udaljeniji...
područja...
- ako su d...
se javljaju...
kompaktni...
- naplavni...
korita na...



n obala l...
kom dij...
zvišenji...
) su čest...
sto loše...
glina), k...
la. Obal...
ra erozij...
su omeđ...
štenih k...



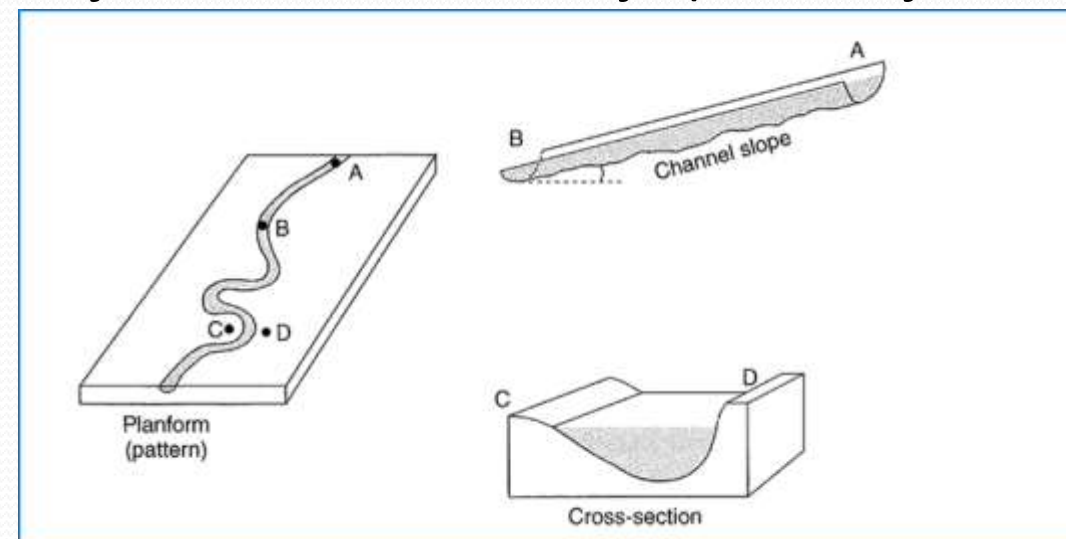
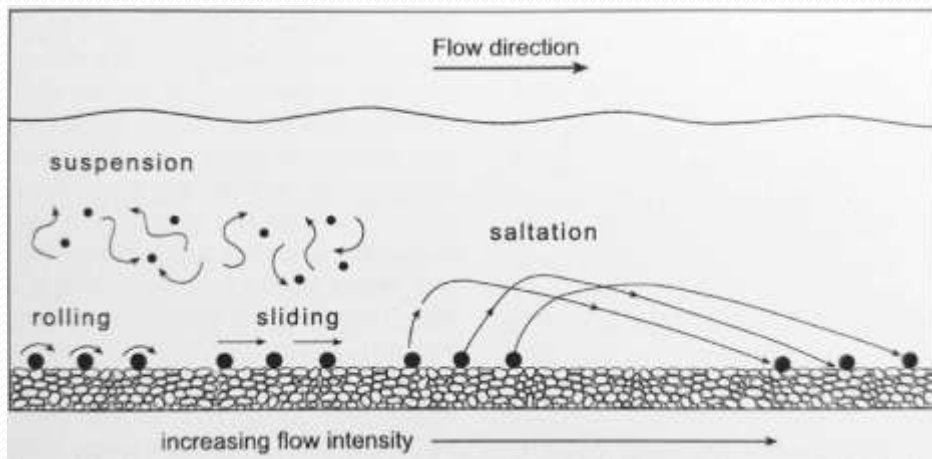
m...
ale...
te...
su...
na i...

- na nekim područjima s malom energijom toka, primjerice u poljima u kršu, može doći do pojave složenih anastomozirajućih korita (Pavlek i Faivre, 2020), koja su međusobno odijeljena otocima obraslima vegetacijom

Potrebno je naglasiti da se mehanizam gornjeg, srednjeg i donjeg toka ne odnose nužno na udaljenost dijela tekućice od izvora. U prirodi se javljaju slučajevi, posebice u krškim krajevima, kada se mehanizam donjeg ili srednjeg toka javlja u izvorišnim dijelovima tekućica te se do ušća mehanizmi raznoliko izmjenjuju.

Ključan je nagib/pad korita (doline) odnosno hidraulički gradijent.

Najjača snaga geomorfoloških procesa u rijeci se odvija za visokih vodostaja (vodostaj do vrha korita – eng. bankfull stage)



Hidromorfološki monitoring (praćenje) u Hrvatskoj

Vodič za hidromorfološki monitoring i ocjenu stanja rijeka u Hrvatskoj - rezultat projekta G2G 'Capacity Building for Hydromorphological Monitoring and Measures in Croatia' (**MEANDER**) – **2013**.

→ Hrvatske vode, DZZP, DHMZ i Waterschap Brabantse Delta.

Metodologija za monitoring i ocjenjivanje hidromorfoloških pokazatelja → preveden standard EU *Water quality — Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology* (EN 15843:2010) u travnju **2016**.

→ Vodnim gospodarstvom u Hrvatskoj još uvijek dominiraju stručnjaci hidroinženjeri te hidrotehnički (inženjerski) način razmišljanja i pogledi na vode u Hrvatskoj!

Hidromorfološki monitoring tekućica u Hrvatskoj



- od početka 2017. do 2020. u HR su se provodili projekti sustavnog ispitivanja hidromorfoloških elemenata kakvoće u rijekama za potrebe vrjednovanja ekološkog stanja tekućica sukladno ODV-u
- projekt financirale Hrvatske vode, a provodili ga konzorcijski partneri tvrtka Elektroprojekt d.d. i Geografski odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu
- interdisciplinarna skupinu istraživača: geografa (hidrologa, geomorfologa, GIS analitičara), biologa i hidrotehničara
- prvi projekt hidromorfološkog monitoringa u Hrvatskoj sukladno ODV-u koji se temelji, uz kabinetski rad, na terenskom istraživanju

Pokazatelji analizirani prilikom hidromorfološkog praćenja

Skupina		Pokazatelj
1. Hidrologija		1.1. Učinci umjetnih građevina u koritu unutar vodnog tijela
		1.2. Učinci promjena širom slijeva na obilježja prirodnog protoka unutar vodnog tijela
		1.3. Učinci promjene u dnevnom protoku unutar vodnog tijela
		1.4. Utjecaj građevina i zahvata na povezanost podzemnih i površinskih voda
2. Uzdužna povezanost		2.1. Uzdužna povezanost vodnog tijela pod utjecajem umjetnih građevina s aspekta migracije biote i pronosa sedimenta
3. Morfologija	3.1. Geometrija korita	3.1.1. Promjena tlocrtnog oblika vodnog tijela
		3.1.2. Poprečni i uzdužni presjek korita na odsječku i vodnom tijelu
	3.2. Podloga	3.2.1. Količina umjetnih tvrdih materijala u koritu (ispod razine vodnog lica) na istraživanom odsječku
		3.2.2. Prirodnost sedimenta na istraživanom odsječku
		3.2.3. Struktura sedimenta i promjene na pokosu obale odsječka i vodnog tijela
	3.3 Vegetacija i organski ostaci u koritu	3.3.1. Uklanjanje/ održavanje vodene vegetacije na odsječku i vodnom tijelu
		3.3.2. Količina drvenih ostataka u koritu na odsječku i vodnom tijelu (ako se isti očekuju)
		3.3.3. Obilježja erozije/taloženja na odsječku i vodnom tijelu
		3.3.4. Vrsta/struktura vegetacije na obalama i na okolnom zemljištu unutar zadane buffer zone (10 m) na odsječku i vodnom tijelu
		3.3.5. Korištenje zemljišta (u prirodnoj poplavnoj zoni) i s time povezana obilježja na odsječku i vodnom tijelu
	3.4. Interakcija korita i poplavnog područja	3.4.1. Lateralna povezanost rijeke i prirodnog poplavnog područja (dužinski iznos) na cijelom vodnom tijelu
		3.4.2. Stupanj lateralnog kretanja riječnog korita na vodnom tijelu



		NAZIV		Mura-Mursko Središće	
		ŠIFRA MJERENE POSTAJE		29220	
		ŠIFRA VODNOG TIJELA		CDR0003_003	
		TIP		Sb: Nizinske vrlo velike tekućice u silikatnoj i vapnenačkoj podlozi – Donji tok Mure i srednji tok Drave i Save	
		DATUM OCJENE		12.7.2017.	
		ODSJEČAK		UKUPNO VODNO TIJELO	
HIDROMORFOLOŠKO OBILJEŽJE KOJE SE OCJENJUJE		Ocjena	Obrazloženje	Ocjena	Obrazloženje
1. HIDROLOGIJA (hidrološki režim)		2,00		2,00	
1.1.	Učinio umjetnih građevina u kortu unutar dionice	B 1	Građevine unutar vodnog tijela ne djeluju na obilježja toka ili djeluju tek neznatno	B 1	Građevine unutar vodnog tijela ne djeluju na obilježja toka ili djeluju tek neznatno
1.2.	Učinio promjena širine sliva na karakter prirodnog toka	B 3	Protok je umjereno izmijenjen	B 3	Protok je umjereno izmijenjen
1.3.	Učinio promjene u dnevnom protoku	A n.o.	Element se ne ocjenjuje jer nema promjena u dnevnom protoku vodnog tijela odnosno nema hidroelektrana	A n.o.	Element se ne ocjenjuje jer nema promjena u dnevnom protoku vodnog tijela odnosno nema hidroelektrana
1.4.	Utjecaj građevina i zahvata na povezanost podzemnih i površinskih voda	DA	Postoji utjecaj na povezanost podzemnih i površinskih voda	DA	Postoji utjecaj na povezanost podzemnih i površinskih voda
2. UZDUŽNA POVEZANOST		1,00		1,00	
2.1.	Uzdužna povezanost pod utjecajem umjetnih građevina	B 1	nema hidrotehničkih građevina ili ako su prisutne nemaju utjecaja na slobodnu migraciju vrsta	B 1	nema hidrotehničkih građevina ili ako su prisutne nemaju utjecaja na slobodnu migraciju vrsta
3. MORFOLOGIJA		2,25		2,42	
3.1.	Geometrija korta				
3.1.1.	Tločni oblik	A 5	>75% dužine dionice s prom. tločnim oblikom	A 3	15-35% dužine dionice s prom. tločnim oblikom
3.1.2.	Presjek korta (uzdužni i poprečni presjek)	A 3	15 - 35% dužine dionice s prom. presjekom korta	A 4	>75% dužine dionice s prom. presjekom korta
3.2.1.	Količina umjetnih tvrdih materijala ispod razine vodnog lica	A 1	0-1% tvrdog umjetnog materijala	A 1	0-1% tvrdog umjetnog materijala
3.2.2.	Prirodnost sedimenta na istraživanom odsječku	B 1	Gotovo prirodna mješavina	B 1	Gotovo prirodna mješavina
3.2.3.	Struktura sedimenta i promjene na pokosu obale odsječka i vodnog tijela	A 3	Obale pod utjecajem > 15 - 35% teških, ili > 50 - 100% mekih, tvrdih materijala	A 4	Obale pod utjecajem > 35 - 75% teških tvrdih materijala
3.3.	Vegetacija i organski ostaci u kortu				
3.3.1.	Uklanjanje/održavanje vodene vegetacije na odsječku i vodnom tijelu	B 1	Vodena vegetacija se ne uklanja iz korta	B 1	Vodena vegetacija se ne uklanja iz korta
3.3.2.	Količina drvenih ostataka, na odsječku i vodnom tijelu (ukoliko se leži očekuju)	B 1	Gotovo prirodna količina i veličina drvenih ostataka, nema aktivnog uklanjanja ili dodavanja	B 1	Gotovo prirodna količina i veličina drvenih ostataka, nema aktivnog uklanjanja ili dodavanja
3.3.3.	Obilježja erozije/taloženja na odsječku i vodnom tijelu	B 3	Elementi erozije/taloženja odražavaju umjereno odstupanje od gotovo prirodnog stanja (odsutno 10% do 50% očekivanih elemenata)	B 3	Elementi erozije/taloženja odražavaju umjereno odstupanje od gotovo prirodnog stanja (odsutno 10% do 50% očekivanih elemenata)
3.3.4.	Vrsta/struktura vegetacije na obalama i na okolnom zemljištu unutar zadane buffer zone (10 m) na odsječku i vodnom tijelu	A 1	Neprekinuti pojas drvenaste i zeljaste vegetacije	A 1	Neprekinuti pojas drvenaste i zeljaste vegetacije
3.3.5.	Korištenje zemljišta (u prirodnoj poplavnoj zoni) i s time povezana obilježja na odsječku i vodnom tijelu	A 2	> 5 - 15% neprirodnog zemljišnog pokrova iza obalnog pojasa	A 2	5 - 15% neprirodnog zemljišnog pokrova iza obalnog pojasa
3.4.1.	Lateralna povezanost rijeke i poplavnog područja (dužinski iznos) na cijelom vodnom tijelu	A 1	0 - 5% vodnog tijela pod utjecajem nasipa ili ostalih mjera koje sprječavaju plavljenje poplavnog područja (npr. regulacija korta i obale)	A 4	35 - 75% vodnog tijela pod utjecajem nasipa ili ostalih mjera koje sprječavaju plavljenje poplavnog područja (npr. regulacija korta i obale)
3.4.2.	Stupanj lateralnog kretanja riječnog korta	A 5	> 75% odsječka ograničeno	A 4	35 - 75% odsječka ograničeno
UKUPNA OCJENA ODSJEČKA/VODNO TIJELO		2,13	Neznatno promijenjeno	2,27	Neznatno promijenjeno
ODSJEČAK REPREZENTATIVAN ZA HIDROMORFOLOŠKU OCJENU		DA	Istraživani odsječak je reprezentativan i srednja ocjena vrijedi i za cijelo vodno tijelo		
KATEGORIJA VODNOG TIJELA			PRIRODNO VODNO TIJELO		

A-Kvantitativna ocjena; B-Kvalitativna ocjena

