

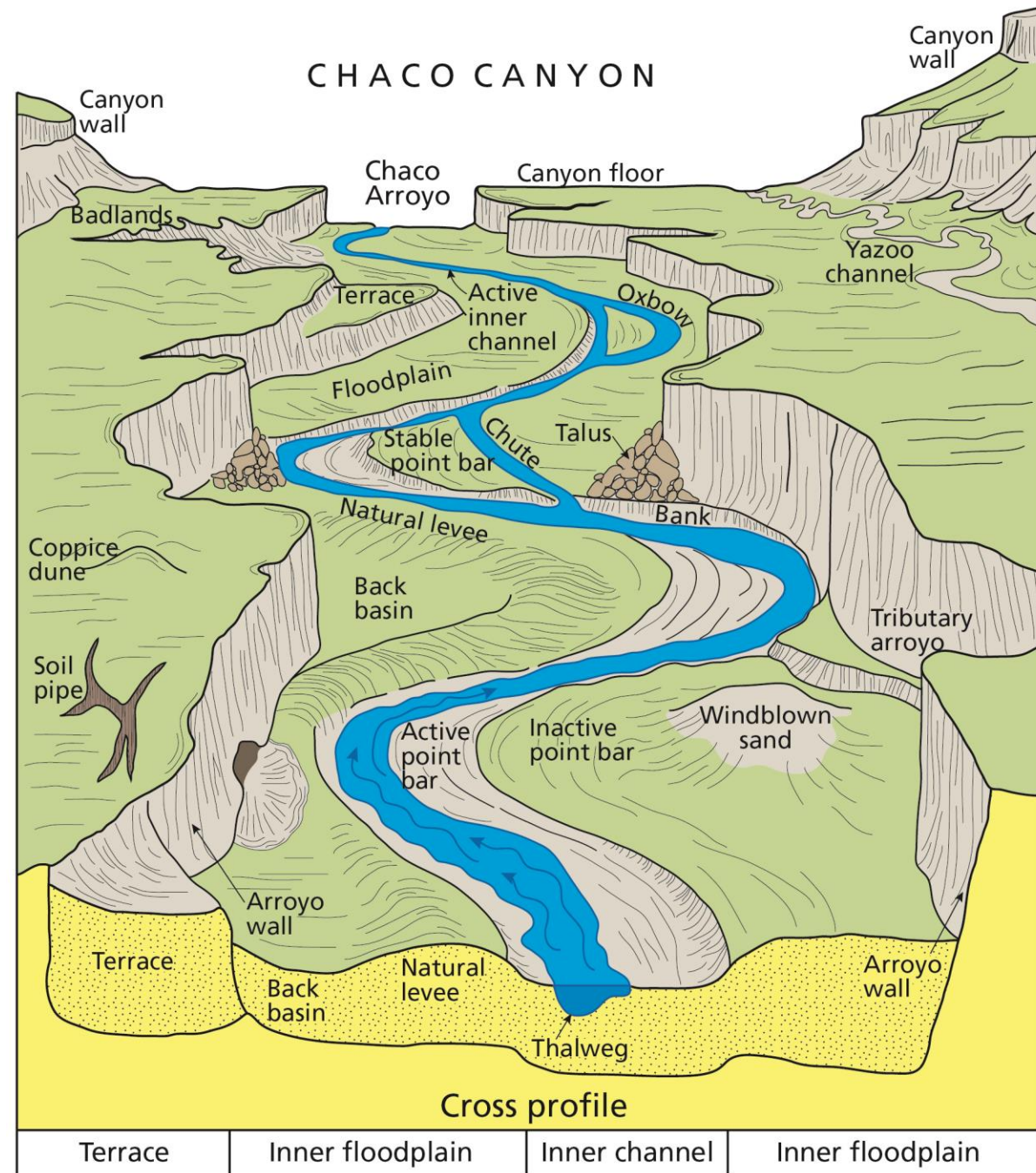


Povrchové vody (Potamológia)

Mgr. Jozef Šupinský PhD.

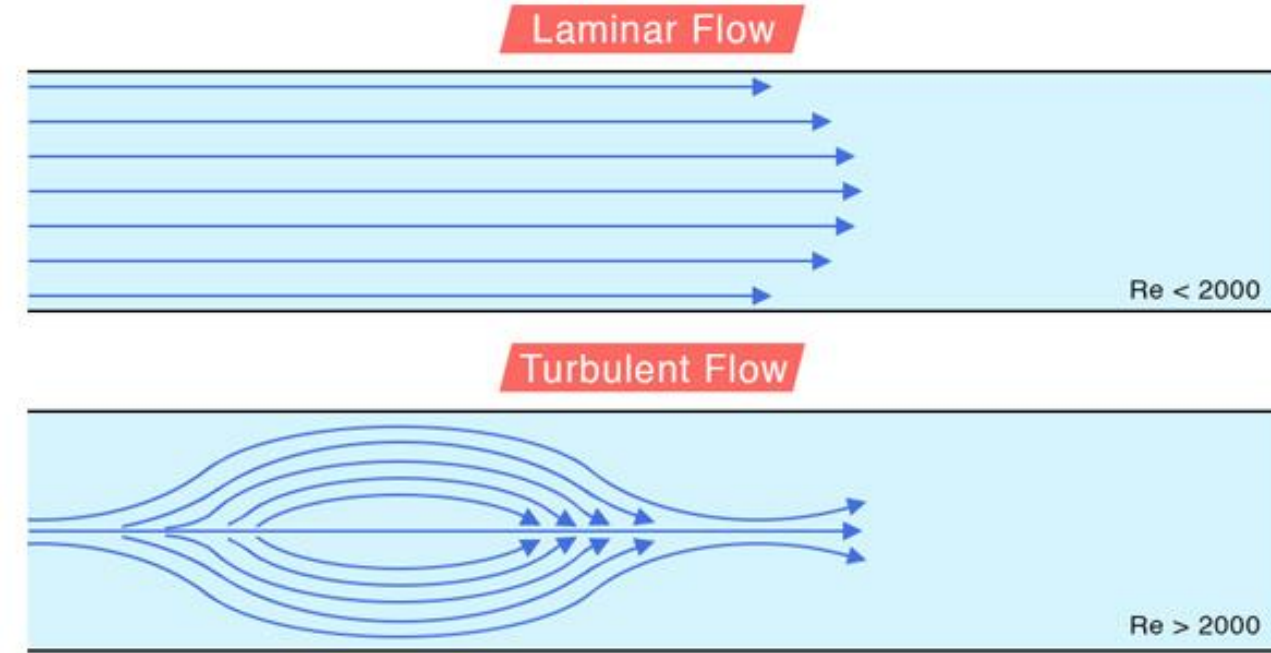
Hydraulika vodného toku

- **Povrchové vody: Stojaté (lentické)** – minimálny/žiadan pohyb
Tečúce vody (lotické)
- Výsledný **fluviálny reliéf** významne modelujú tečúce vody
- Tečúca voda môže materiál rozrušovať (**erózia**) alebo ukladať (**akumulácia**)
- **Vodný tok** - sústredený odtok vody prirodzeným alebo umelým korytom
- **Pozdĺžne prúdenie** - spôsobené gravitačnou silou v smere sklonu dna
- **Priečne prúdenie** - spôsobené nepravidelnou trasou vodného toku striedaním oblúkovitých a priamych úsekov
- Výsledkom pôsobenia oboch prúdení je **špirálovité prúdenie**



Hydraulika vodného toku

- ▶ Charakter prúdenia častíc vody je daný **hĺbkou vodného toku, rýchlosťou prúdenia a drsnosťou dna a brehov**
- ▶ 99 % vodných tokov má prúdenie **turbulentný (vírivý)** charakter - častice vody sa pohybujú chaoticky na rôznych úrovniach a vrstvách kvapaliny v smere sklonu koryta
- ▶ **Laminárne prúdenie** - v ideálnom prostredí, pri nízkych rýchlostiach, malej hĺbke a pri rovnom dne (častice by prúdili v jednotlivých vláknach alebo rovnobežných vrstvách – laminách)
- ▶ Prechod medzi týmito dvomi typmi prúdenia je daný tzv. **Reynoldovým číslom Re**



$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

ρ : Density of the fluid

V : Velocity of flow

μ : Viscosity of the fluid

L : Characterizing length of the flow system
(usually the diameter of the pipe)

Hydraulika vodného toku

- **Froudovo číslo Fr** udáva režim prúdenia vody, kde v - rýchlosť prúdenia vody, g - gravitačná konštanta a D - hĺbka vodného toku

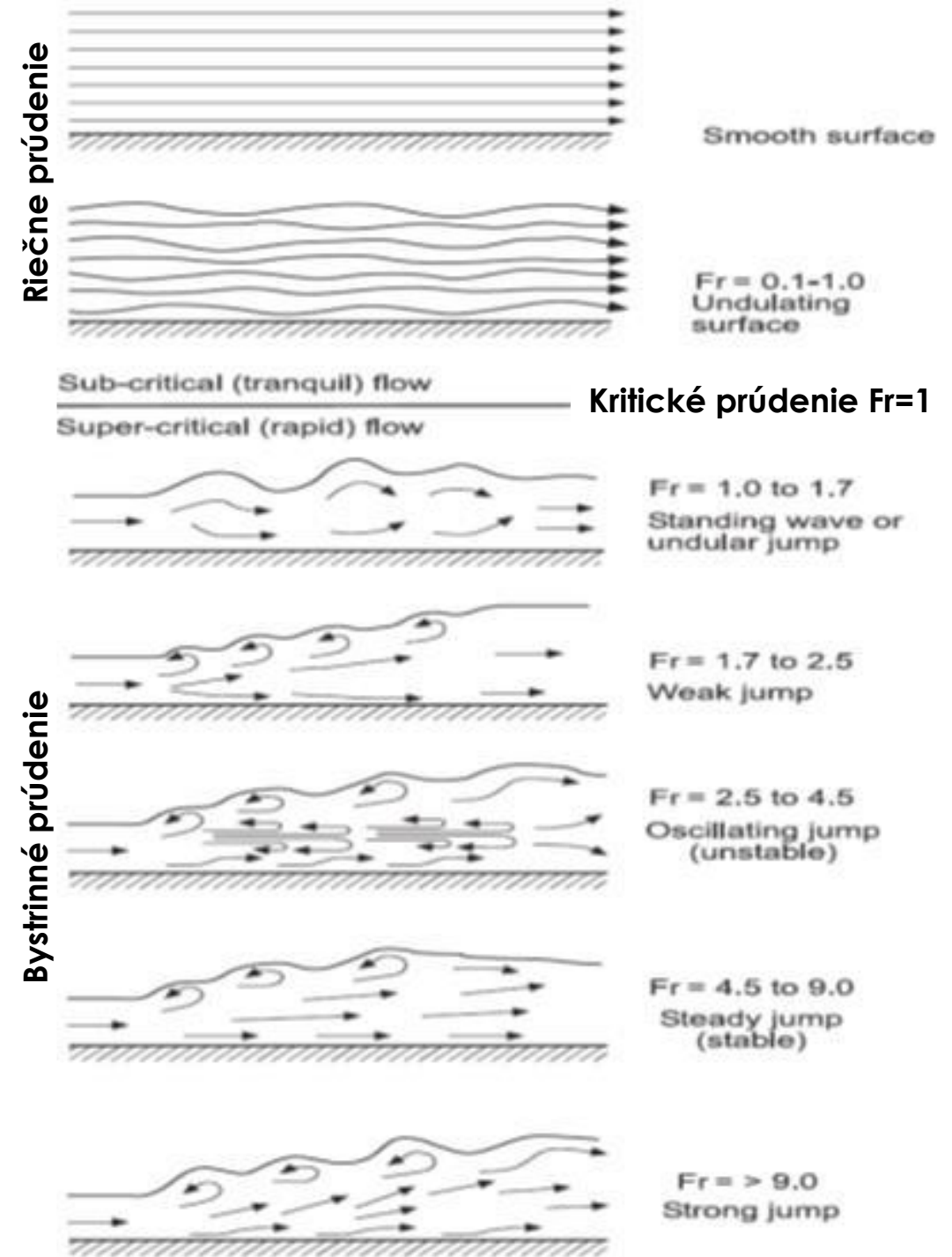
$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}}$$

- V rámci prúdenia vody v korytách rozlišujeme dva typy vodných tokov vzhľadom na turbulenciu:

Riečne prúdenie ($Fr < 1$)

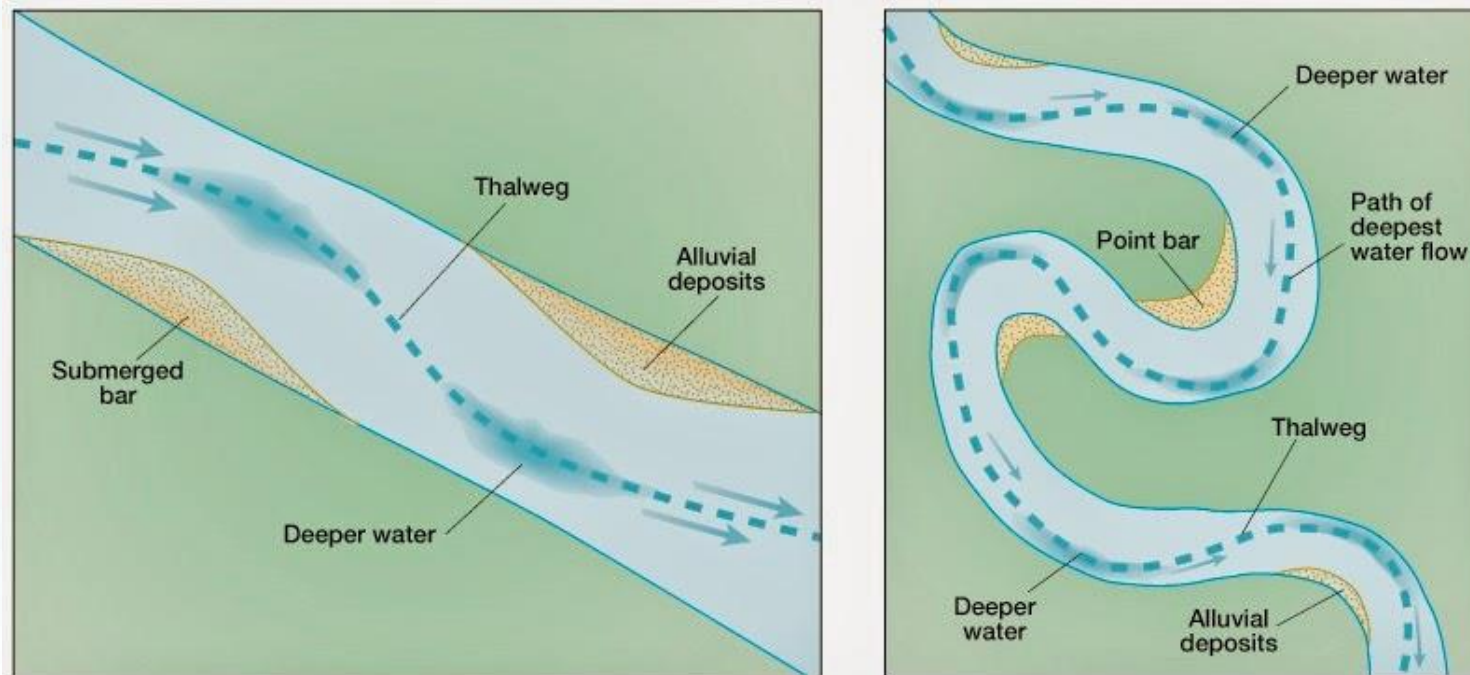
Bystrinné prúdenie ($Fr > 1$)

- Rýchlosť prúdenia vodného toku závisí od:
 - sklonu vodného toku
 - množstva a viskozity vody
 - šírky, hĺbky, tvaru a drsnosti koryta



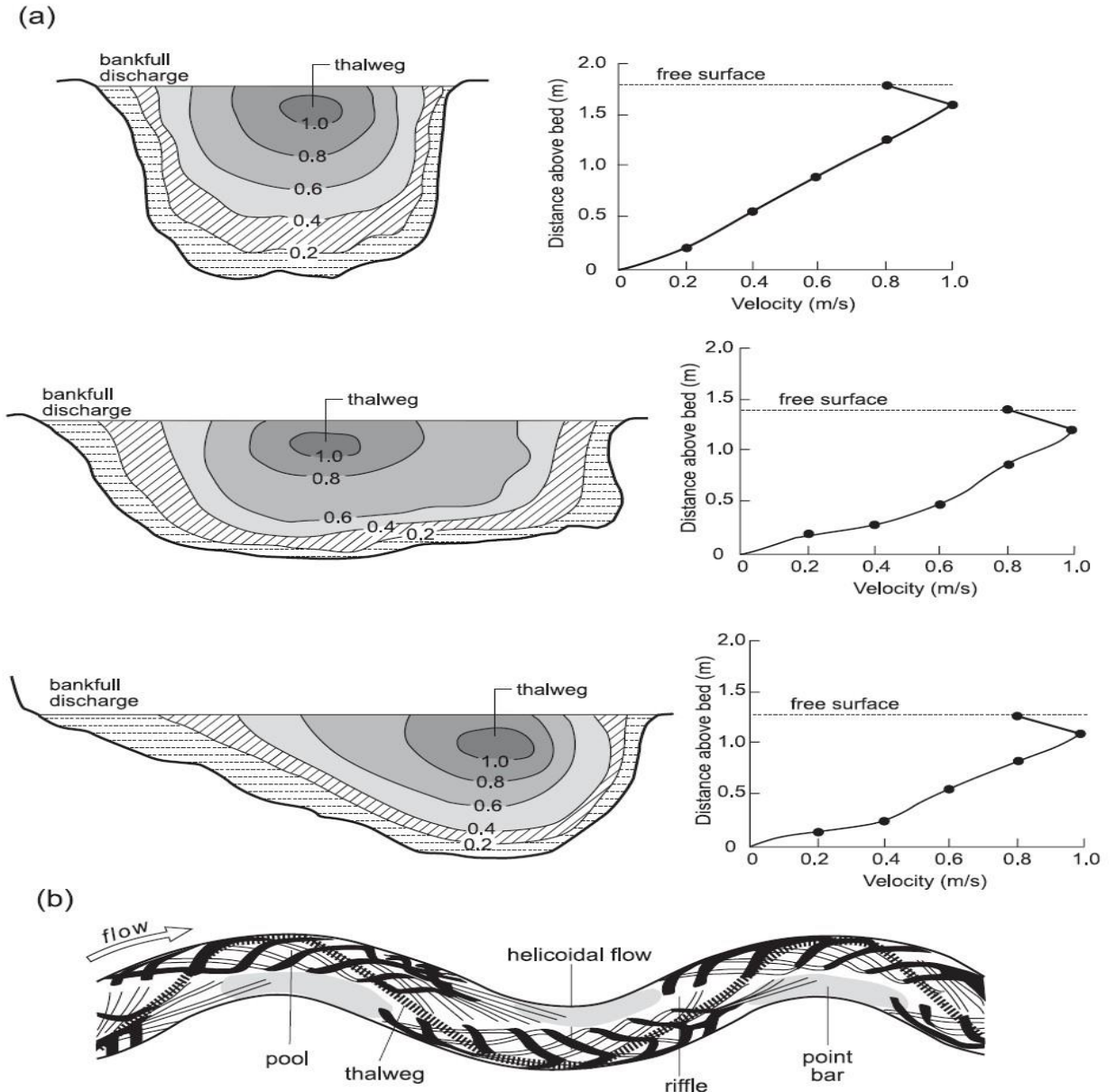
Hydraulika vodného toku

- ▶ dôležitú úlohu má **trenie**, ktoré pôsobí ako odporová sila proti prúdeniu vody podmienenému gravitáciou
- **čím drsnejšie a nepravidelnejšie** koryto, **tým pomalší tok**
- ▶ v zimnom období môže ľadová vrstva na rieke posunúť maximálnu rýchlosť prúdenia z centra vertikály bližšie k dnu toku - v dôsledku zníženia prietochnej plochy a zvýšenia trenia vzduchu nad hladinou vody
- ▶ miesta s najvyššími rýchlosťami toku spojuje myšlená čiara – **prúdnica (thalweg)**
- ▶ miesta s najnižšími rýchlosťami prúdenia v koryte sa často tvoria za prekážkami (**zátočiny - backwater**)



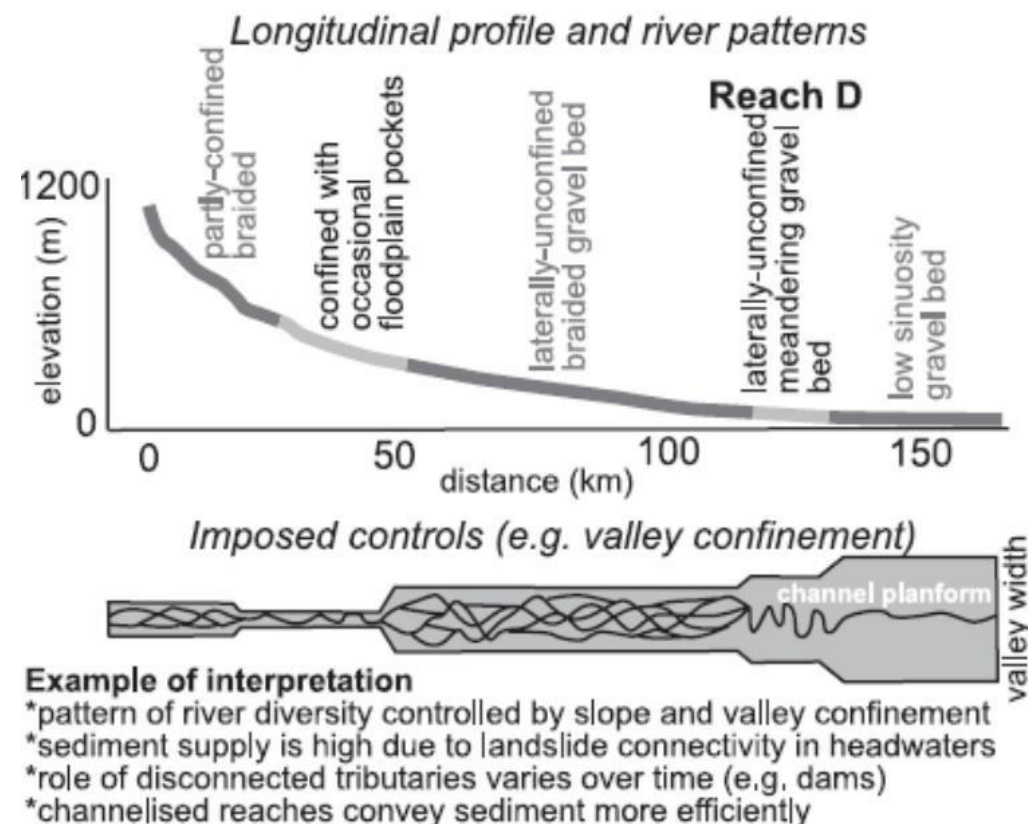
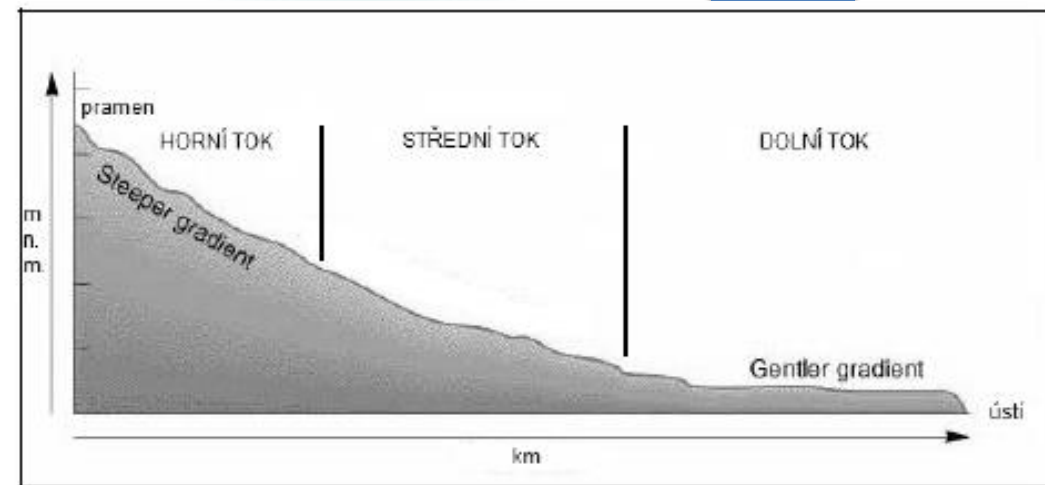
Hydraulika vodného toku

- ▶ vo všeobecnosti platí, že **najvyššia rýchlosť** prúdenia vo vodnom toku je dosiahnutá na **najhlbších miestach** dostatočne vzdialených od brehu
- ▶ **voda vo vodnom toku**, ktorá sa pohybuje v smere sklonu koryta vďaka gravitačnej sile, **neustále vykonáva prácu** - pôsobí na svoje okolie silou - najväčšia sa spotrebuje na **prekonávanie** vnútorného a vonkajšieho **trenia** (odporové sily), ďalšia časť na **eróziu** brehov a **dopravu sedimentov** (splaveniny)
- ▶ tým väčšia práca, čím väčšia **unášacia sila** - rastie s prietokom a rýchlosťou prúdenia, ktorá **narastá so sklonom hladiny** (tzn. so sklonom dna a povrchu, po ktorom sa voda pohybuje)
- ▶ Zmeny rýchlosti prúdenia vody v rôznych tvaroch priečneho profilu s grafmi charakteristických rýchlostí



Vývoj vodného toku

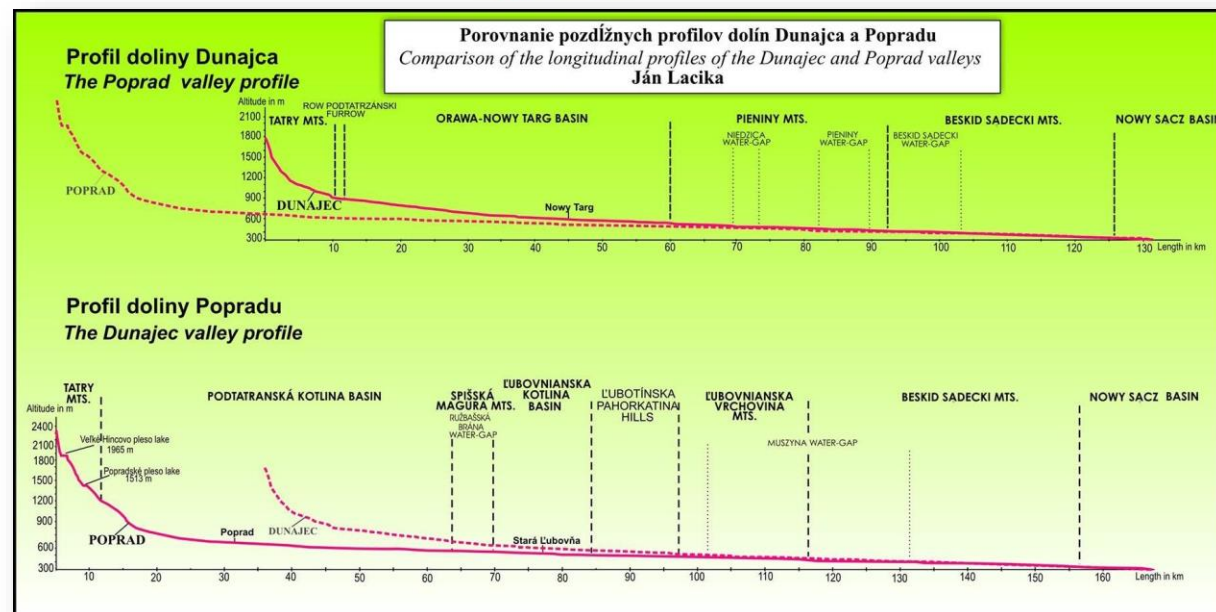
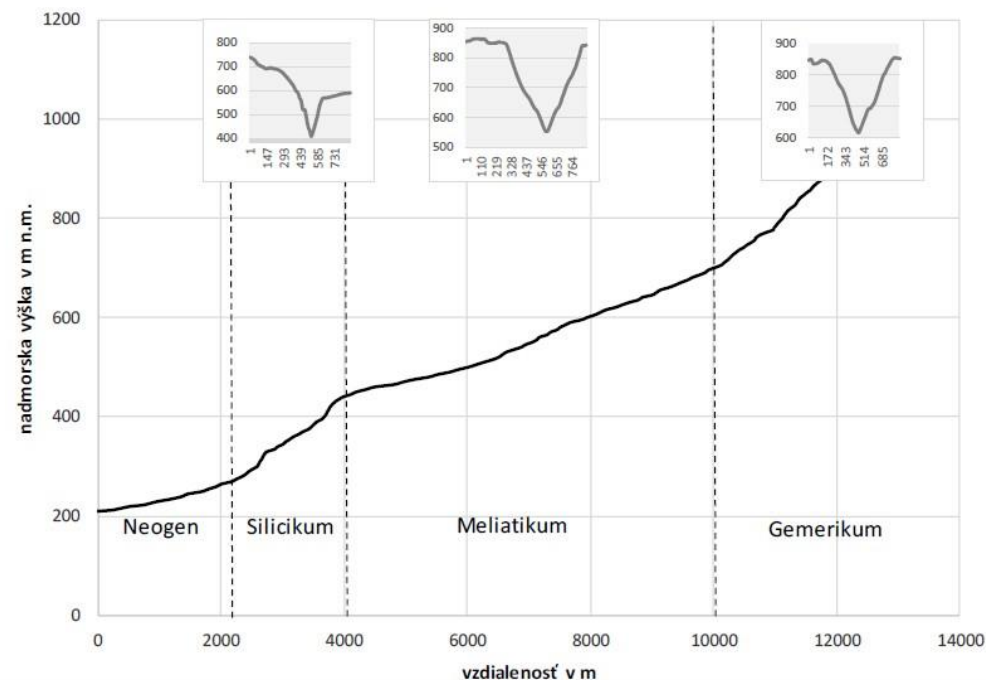
- ▶ Na **spádovej krivke** každého vodného toku môžeme zjednodušene vyčleniť 3 úseky:
 - ▶ **Horný tok** - charakteristický veľkým sklonom a vysokou rýchlosťou prúdenia - voda má najviac energie, vďaka ktorej je schopná vo veľkej miere rozrušovať dno a brehy, čím sa vodný tok prehĺbuje a rozširuje (erózia)
 - Stredný tok** - sklon aj rýchlosť prúdenia sa znižujú, čím sa znižuje aj energia vodného toku, ktorý už nie je schopný prenášať všetok transportovaný materiál z horného toku
 - ▶ **Dolný tok** - má malý sklon i rýchlosť prúdenia, vodný tok stráca svoju unášaciu schopnosť a prechádza k pasívnej činnosti vody – akumulácii transportovaného materiálu
- ▶ Eróziou sa do vodného toku dostáva materiál vo forme splavenín, ktorý je vodný tok schopný prenášať na väčšie vzdialenosti



Vývoj vodného toku

- ▶ Množstvo vodných tokov nemá vyrovnanú spádovú krivku a striedajú sa úseky s rôznou rýchlosťou prúdenia
- ▶ Miera erózie je závislá na odolnosti brehov a dna koryta a súvisí s **geológiou podložia**, tiež sa výrazne mení s narastajúcim prietokom a rýchlosťou prúdenia (napr. pri povodňových situáciách)
- ▶ **Vodný tok sa snaží dosiahnuť rovnovážny profil** - sklon, hĺbka a šírka koryta sú vyvážené s priemerným prietokom a množstvom splavenín (udržiavanie rovnováhy medzi eróziou a akumuláciou) - vodný tok v rovnovážnom stave takmer **neeroduje a neakumuluje**, na každú odchýlku potom reaguje vyrovnávaním vplyvu zmeny
- ▶ Každý vodný tok sa tak neustále vyvíja - typickým príkladom sú **oblúky a meandre**

Pozdĺžny profil Zádielskeho potoka a priečne profile v typických úsekoch



Erózia vodného toku

- ▶ Vo vodohospodárskej praxi sa stanovujú **vymývacie** a **nevymývacie** rýchlosti toku - kritické hodnoty rýchlosti prúdenia

- ▶ Priemerné nevymývacie rýchlosti pre rôzne materiály:

- ▶ V rámci činnosti tečúcej vody v koryte vodného toku rozlišujeme tieto druhy erózie:

- ▶ **Hĺbková erózia** (vodný tok sa zahlbuje)
- ▶ **Bočná erózia (laterálna)** (vodný tok sa rozširuje)
- ▶ **Spätná erózia** (vodný tok sa predlžuje)
- ▶ **Špeciálna erózia** (evorzia, eforácia)

materiál	Nevymývacia rýchlosť (v_n – m/s)
Hrubozrnný piesok	0,6
Hrubý štrk	2,3
Veľké kamene	3,8
Dlažba	8

- ▶ Na väčšine vodných tokov sa uplatňujú všetky typy erózie

- ▶ Na horných úsekoch vodných tokov viac hĺbková a zadná erózia

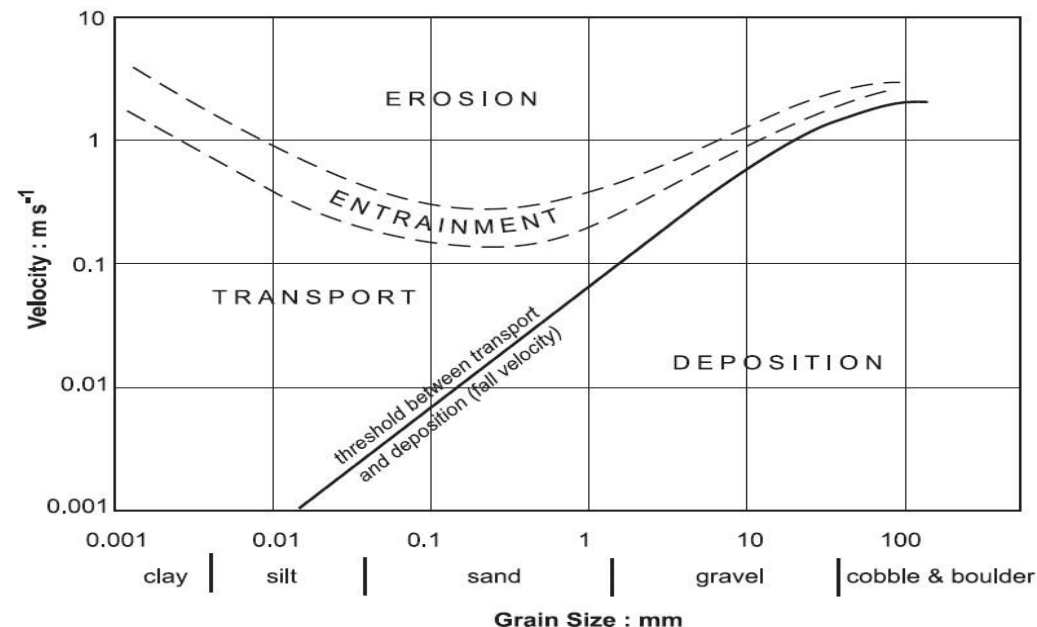
- ▶ Na stredných a dolných úsekoch prevláda bočná erózia (môže sa vyvíjať v rámci alúvií a riečnych nív)

- ▶ Spätná erózia vzniká zahlbovaním častí horných tokov a tým rieka predlžuje svoju dĺžku a často narúša povodie inej rieky - uplatňuje sa tiež na skalných stupňoch a vodopádoch

- ▶ **Evorzia (vymieľanie)** - vírivé vymieľanie dna a brehov toku úlomkami skál a zrnami piesku

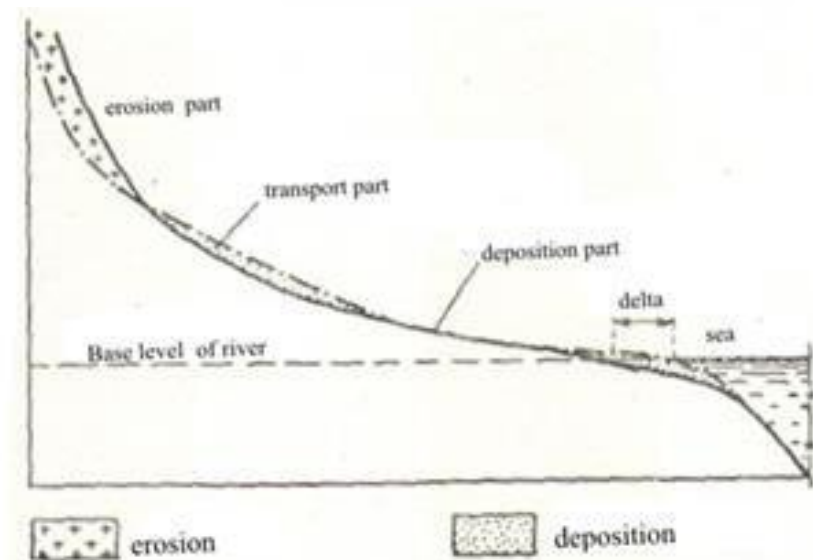
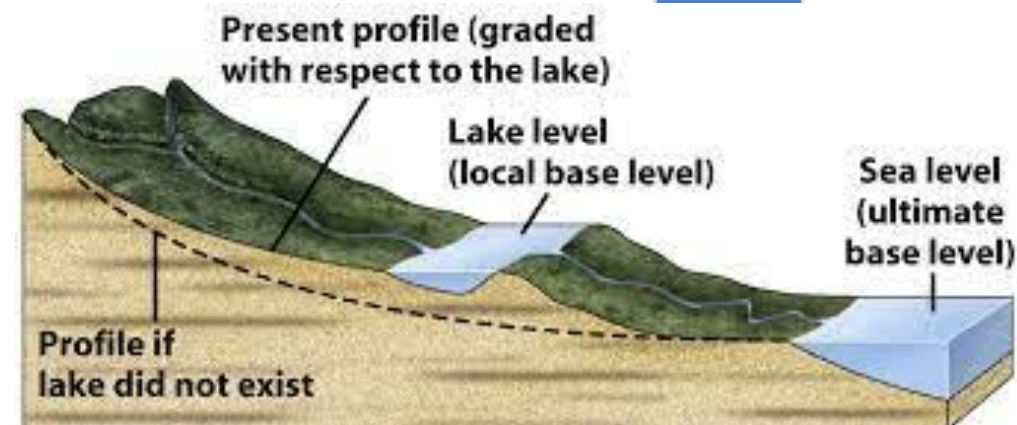
- ▶ **Eforácia** - špeciálny typ erózie, kedy dochádza k vymieľaniu stropu klasových chodieb naplnených vodou, ktorá je pod tlakom

Hjulströmov diagram - fázy sedimentácie, erózie a transportu materiálu na základe veľkosti zrn a rýchlosti prúdenia vody



Erózia vodného toku

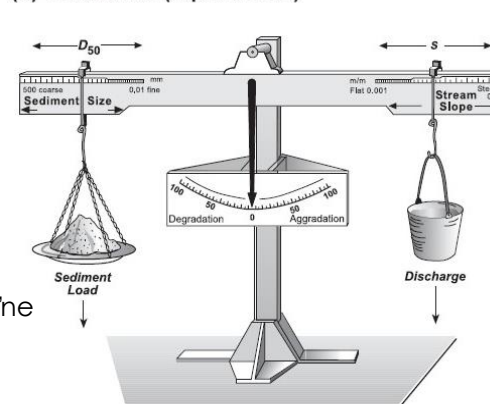
- ▶ **Teória eróznej bázy** (Powell 1875) – riečna sústava tvorí určitý typ geosystému, kde sú jednotlivé komponenty (vodné toky) na sebe závislé, pričom vodný tok vyššieho rádu vždy vytvára eróznú bázu pre vodný tok nižšieho rádu
- ▶ Erózna báza tvorí dolnú hranicu erózných procesov, pričom rozlišujeme:
 - ▶ **Hlavnú eróznú bázu** (hladina svetového oceánu)
 - ▶ **Miestu eróznú bázu** (každý bod na rieke, ktorý je miestnou eróznou bázou pre bod vyššie na toku, vrátane všetkých prítokov)
 - ▶ **Dočasnú eróznú bázu** (tvorí dočasný limit erózie, napr. v prípade odolného horninového podložia, umelých stupňov...)
- ▶ To znamená, že vodný tok sa nemôže zahĺbiť pod úroveň hlavnej eróznej bázy (hladina svetového oceánu) alebo, že sa bod nižšie na toku, ktorý tvorí miestnu eróznú bázu, nemôže zahĺbiť nad úroveň bodu umiestneného vyššie na toku
- ▶ Dočasná erózna báza sa často vytvára tam, kde je znemožnené vodnému toku pokračovať v erózii – napríklad v odolných horninách alebo na umelých stupňoch
- ▶ Erózne bázy si teda môžeme predstaviť ako určitý **reťazec maximálnych limitov erózie** na vodnom toku od jeho ústia proti prúdu, každé miesto na vodnom toku je eróznym limitom pre miesto nad ním



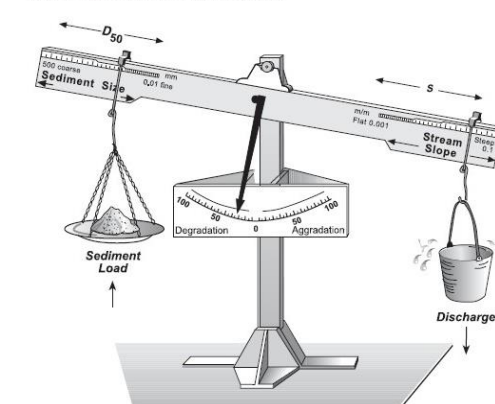
Erózia vodného toku

- Pri erózii sa do vodného toku uvoľňuje materiál, ktorý sa následne ukladá, ale môže tiež zvýšiť eróznú schopnosť rieky (napríklad hrubý materiál unášaný prúdom pomáha viac rozrušovať dno a brehy)
- Eróziou uvoľnený materiál vo vodnom toku nazývame splaveniny a rozlišujeme ich na:
 - **Plaveniny** - tvorené jemnozrnným materiálom z minerálnych častíc (piesok, jemné hliny), ktoré sú voľne unášané vodným tokom
 - **Dnové splaveniny** - hrubé častice (štrk, okruhliaky, kamene), ktoré sú prevažované alebo vlečené po dne, prípadne sú čiastočne nesené prúdom a čiastočne posúvané po dne pomocou skokov, tzv. saltácie
- V súvislosti so splaveninami hovoríme tiež o **unášacej kapacite vodného toku**, t. j. maximálnom množstve materiálu určitej veľkosti, ktoré môže tok dopravovať ako splaveniny na dne a unášacej rýchlosti, pri ktorej je vodný tok schopný po dne dopravovať rôzne veľké častice
- Najmenšie častice, ktoré sa vo vodnom toku pohybujú, sú rozpustené ióny uvoľnené zo sedimentov a podložia, najčastejšie ide o Na^+ , Ca^{2+} a K^+ .
- Veľkosť sedimentov všeobecne klesá od prameňa po ústie vodného toku
- Postupné zjemňovanie sedimentov môže byť narušené erodovaním sedimentov z brehov alebo jemnejším materiálom zo sútoku

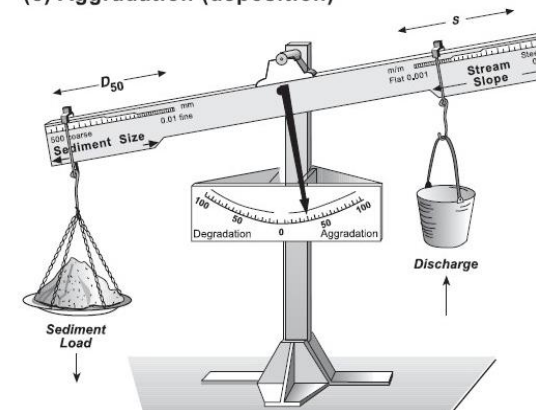
(a) In balance (equilibrium)



(b) Degradation (erosion)



(c) Aggradation (deposition)

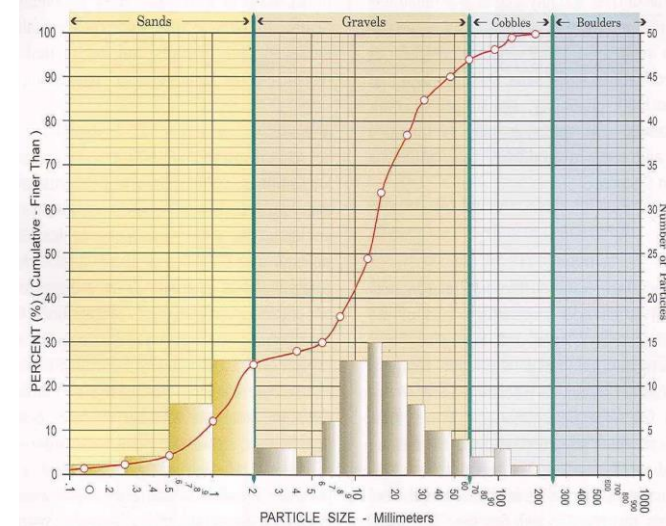
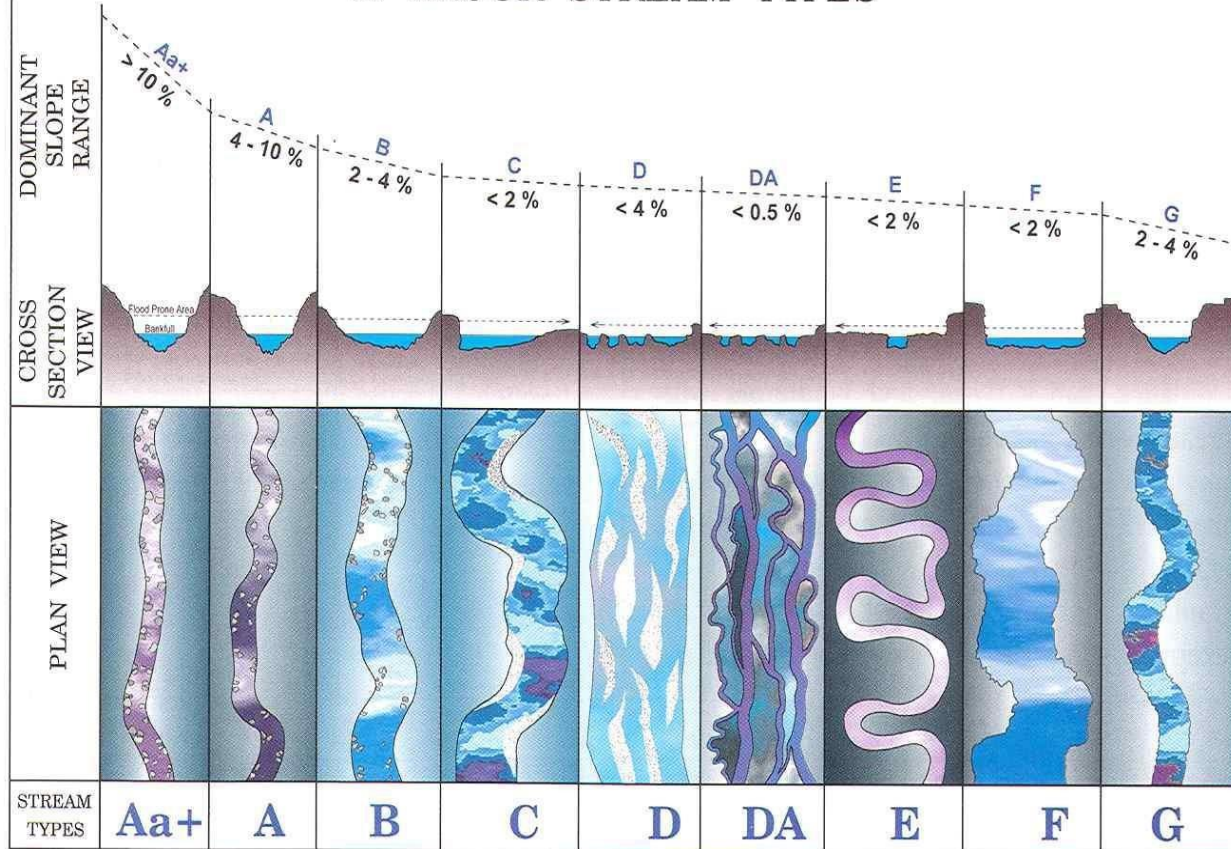


- Vzťah medzi množstvom sedimentov a prietokom je úzko prepojený so sklonom dna a zrnitosťným zložením plavenín a splavenín

Vývoj vodného toku

- Pozdĺžny profil toku, priečne profily korytom, pôdorysná vzorka koryta pre rôzne typy tokov

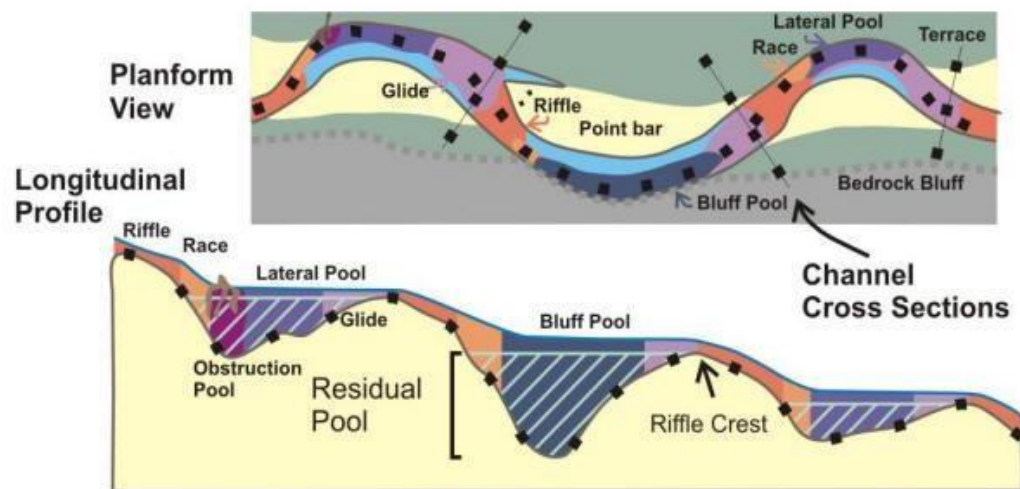
LONGITUDINAL, CROSS-SECTIONAL and PLAN VIEWS of MAJOR STREAM TYPES



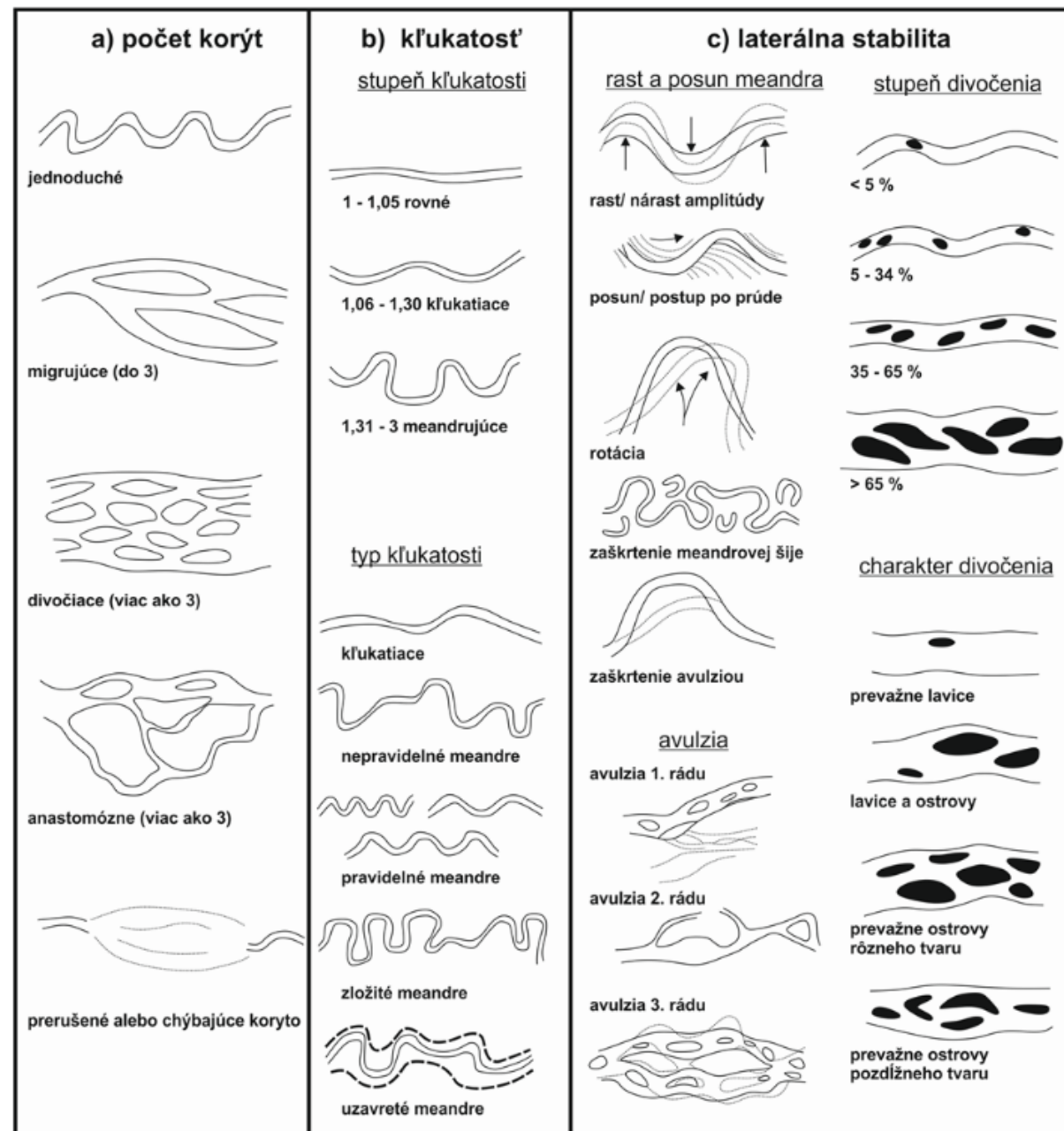
Stream TYPE →		A	B	C	D	DA	E	F	G
Dominate Bed Material	Bedrock	1	2	3	4	5	6	7	8
	Boulder	9	10	11	12	13	14	15	16
	Cobble	17	18	19	20	21	22	23	24
	Gravel	25	26	27	28	29	30	31	32
	Sand	33	34	35	36	37	38	39	40
	Silt-Clay	41	42	43	44	45	46	47	48
Entrchmnt		< 1.4	1.4 - 2.2	> 2.2	n/a	> 4.0	> 2.2	< 1.4	< 1.4
W/D Ratio		< 12	> 12	> 12	> 40	< 40	< 12	> 12	< 12
Sinuosity		1 - 1.2	> 1.2	> 1.2	n/a	variable	> 1.5	> 1.2	> 1.2
Slope		.04-.099	.02-.039	< .02	< .04	<.005	< .02	< .02	.02-.039

Morfometria koryta

- Detailný pozdĺžny profil úsekom toku a jeho pôdorysná vzorka

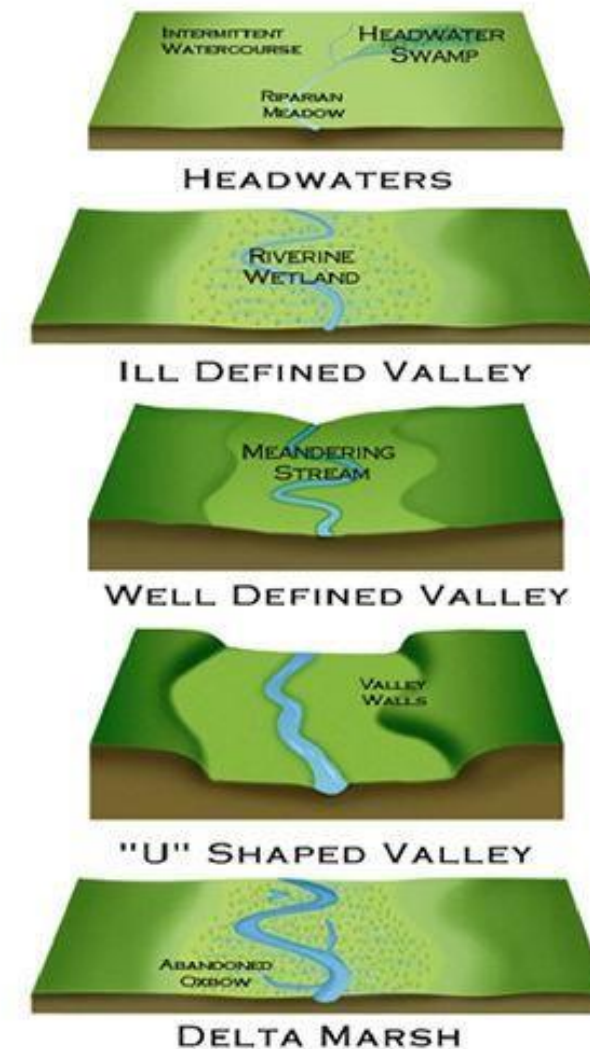
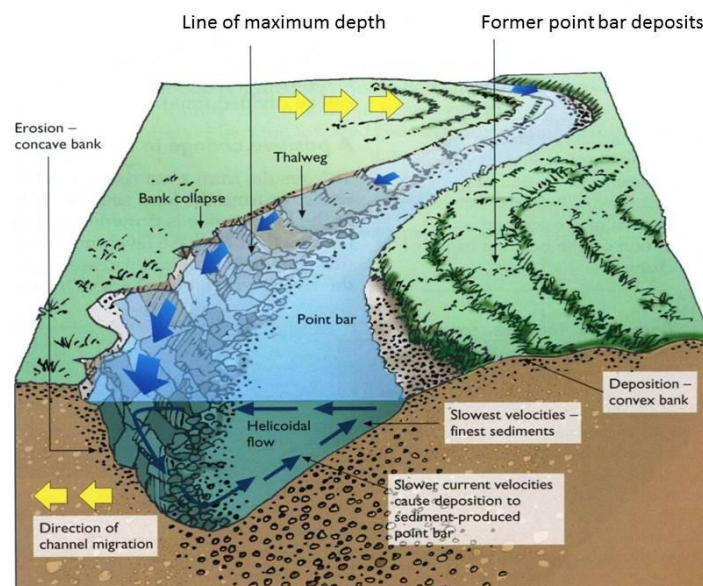
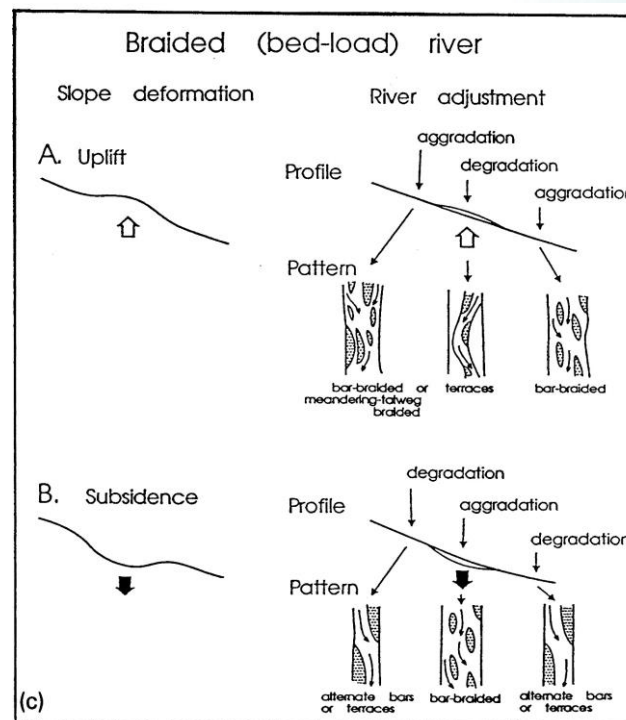


- Typológia korýt podľa počtu, kľukatosti a stability



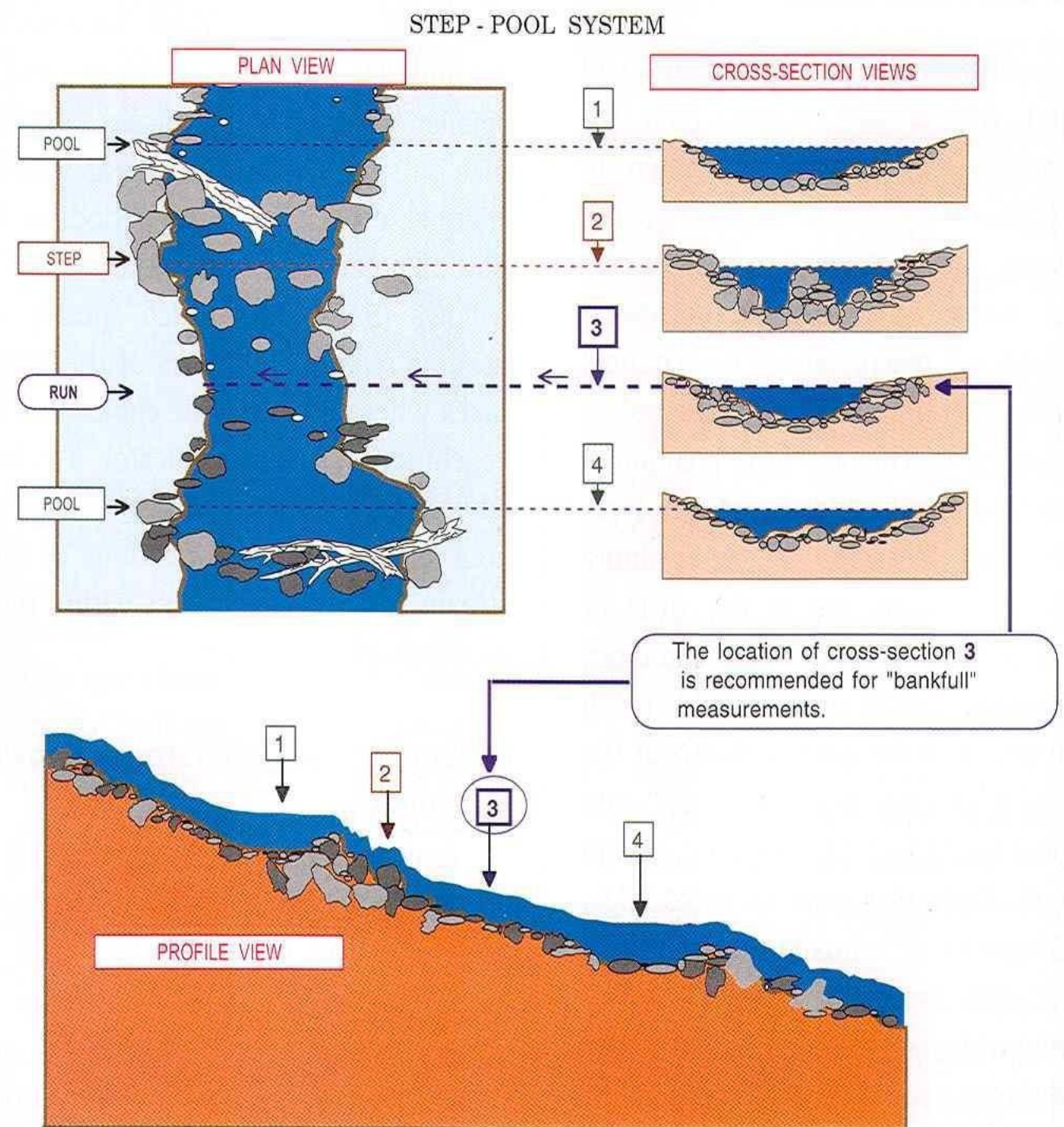
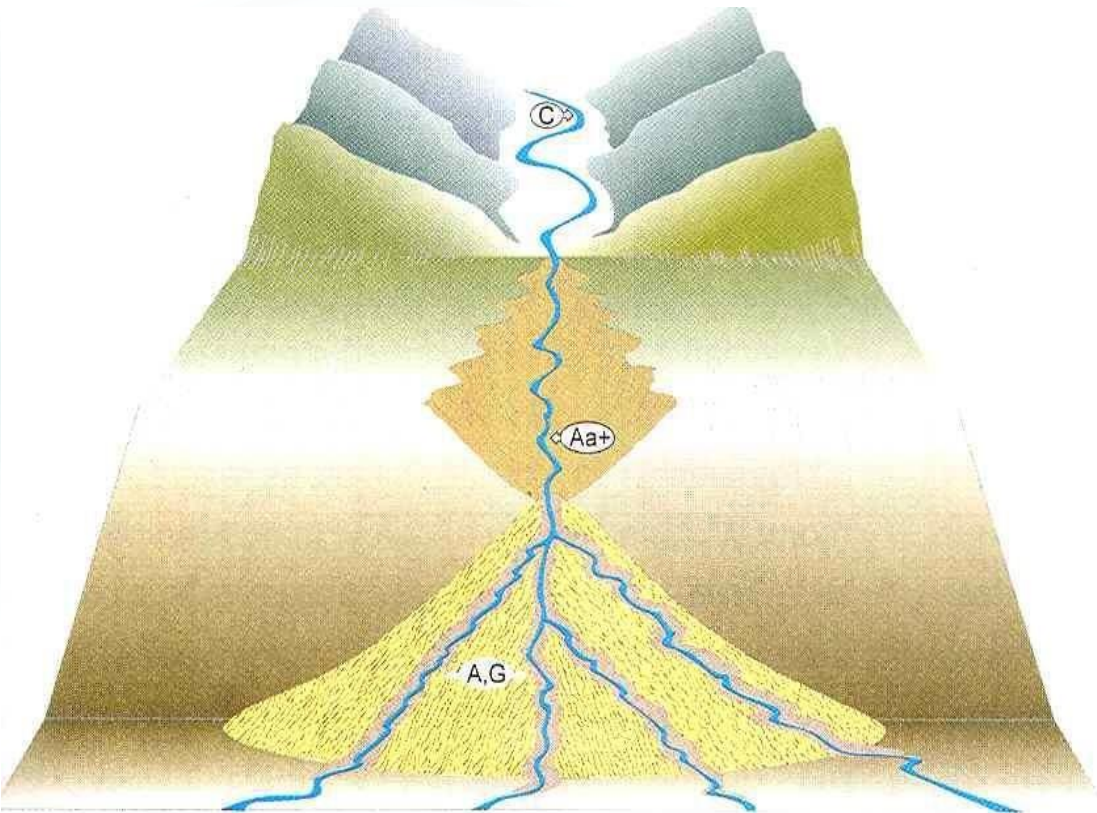
Vývoj vodného toku

- Zmeny pôdorysnej vzorky koryta pri rôznych deformáciách povrchu a s charakteristikou procesov prebiehajúcich v koryte
- Výber materiálu sa vyskytuje aj v priečnom profile:
 - **Rovné** úseky sú typické usadzovaním **jemného materiálu** (pieskov)
 - v **prelomových** úsekoch sa usadzuje **hrubý materiál**
 - **Breh** je väčšinou tvorený **jemným materiálom** a íl je ukladáný v najvyšších častiach
- Pri vysokých povodniach alebo v čase povodne rieka prekladá svoje koryto
- Opakovaním tohto procesu sa v údolí - aluviálnej rovine vytvorí plochý povrch



Morfometria toku

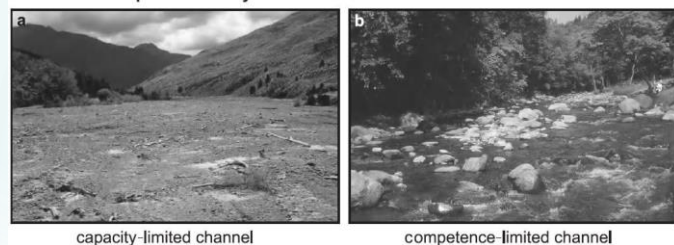
- ▶ Pôdorysná vzorka koryta s typickými formami v priečnom profile koryta
- ▶ Vplyv geologickej štruktúry na vývoj charakteru kanála v pozdĺžnom profile



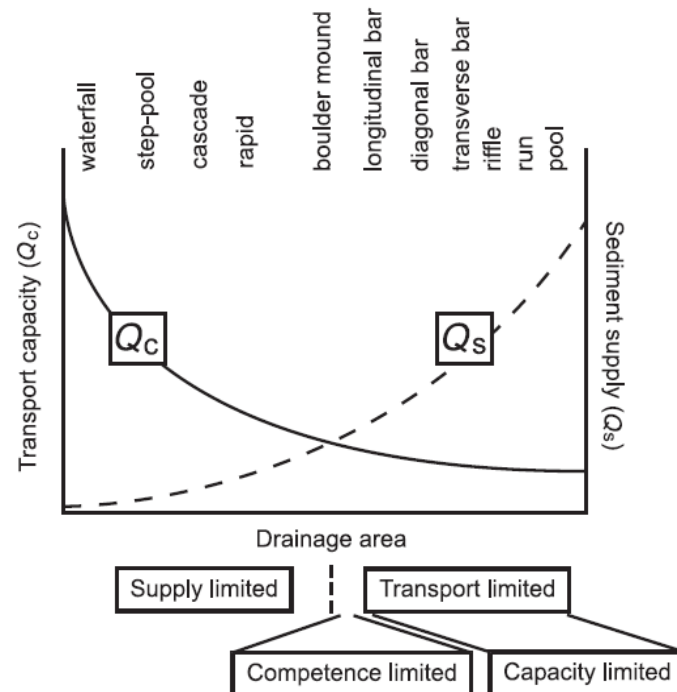
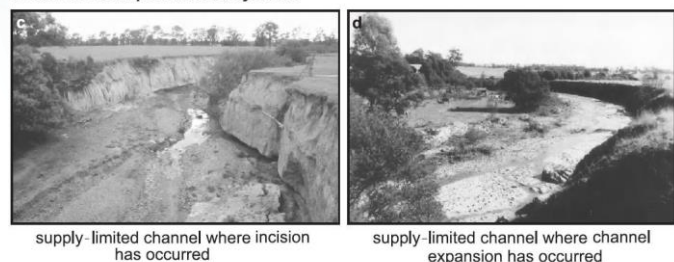
Vývoj vodného toku

- Zmeny priečných profilov v pozdĺžnom profile toku ovplyvnenom antropogénnym zásahom
- Zmeny a príčiny zmien pozdĺžného profilu nad a pod nádržou
- Vzťah medzi transportnou kapacitou toku a sedimentáciou a vplyv tohoto vzťahu na charakter a tvary foriem v pozdĺžnom profile koryta formy v koryte

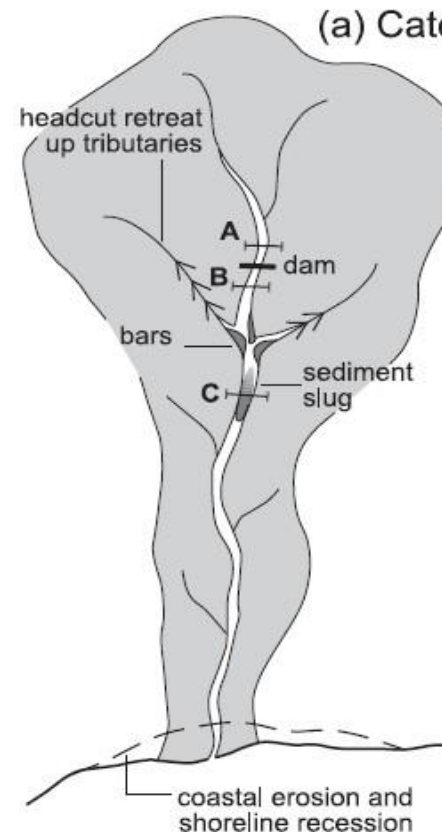
Sediment-transport-limited systems



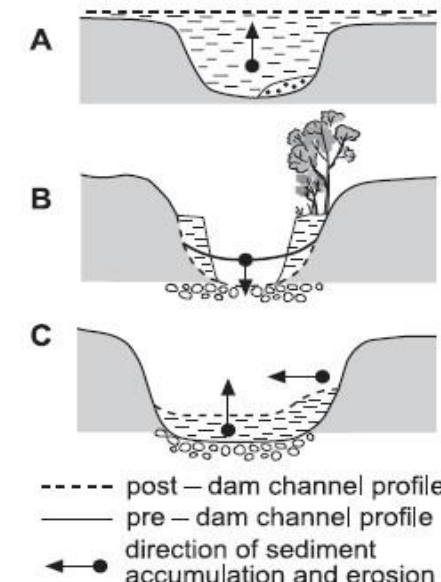
Sediment-transport-limited systems



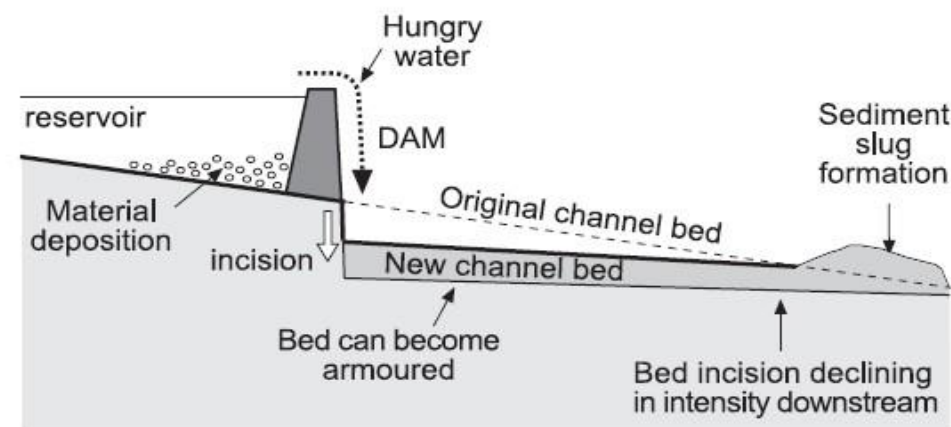
(a) Catchment-scale adjustments



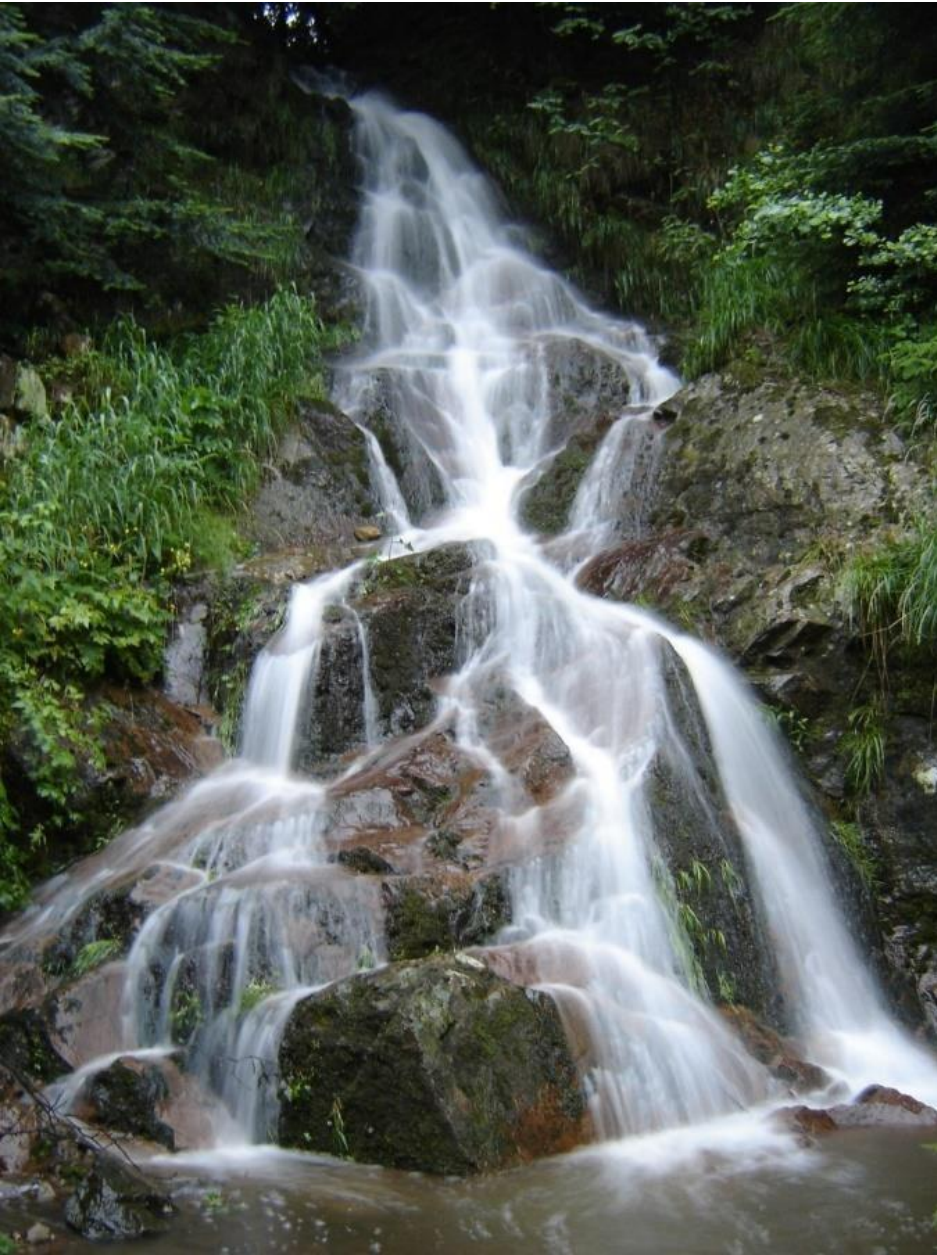
Channel cross – sections



(b) Longitudinal profile adjustments

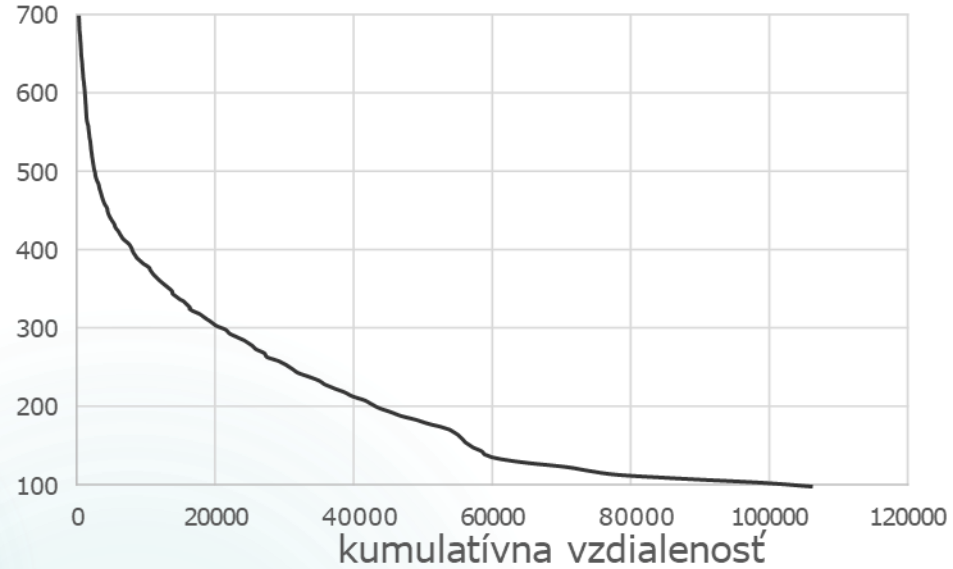


Príklady vyrovnávania pozdĺžnych profilov cez stupne

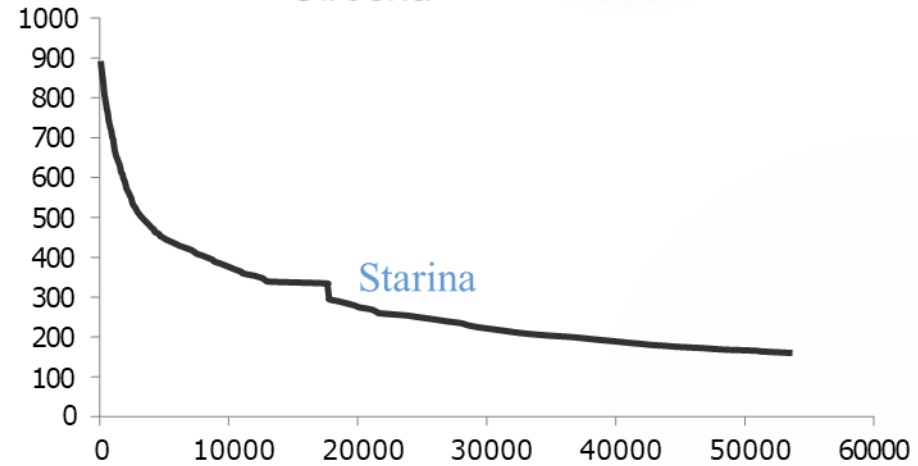


Pozdĺžne profily vybraných tokov

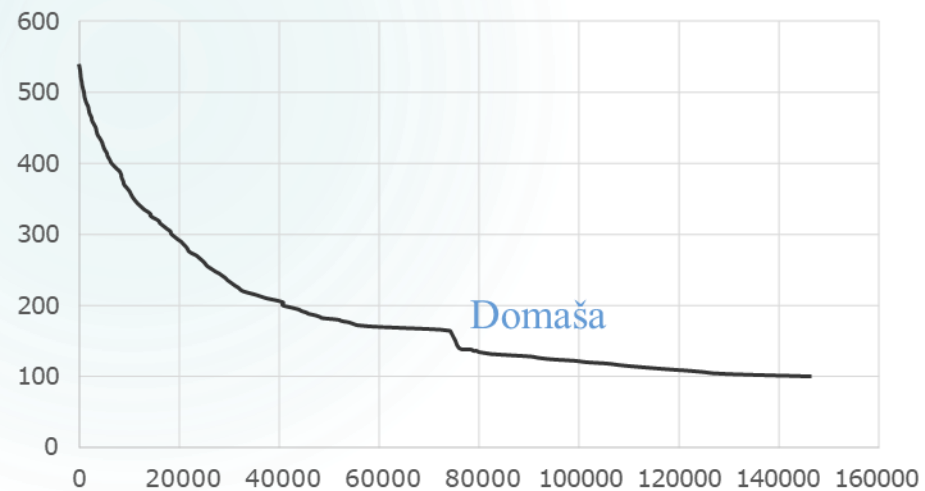
Laborec



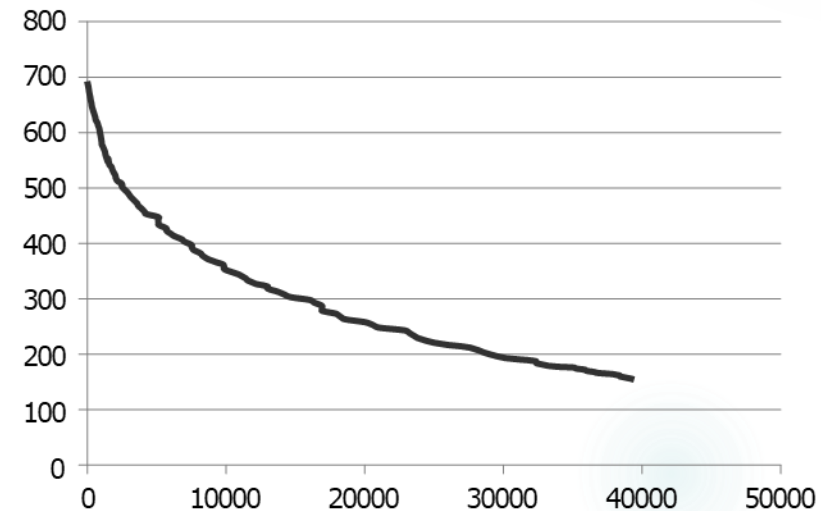
Cirocha



Ondava

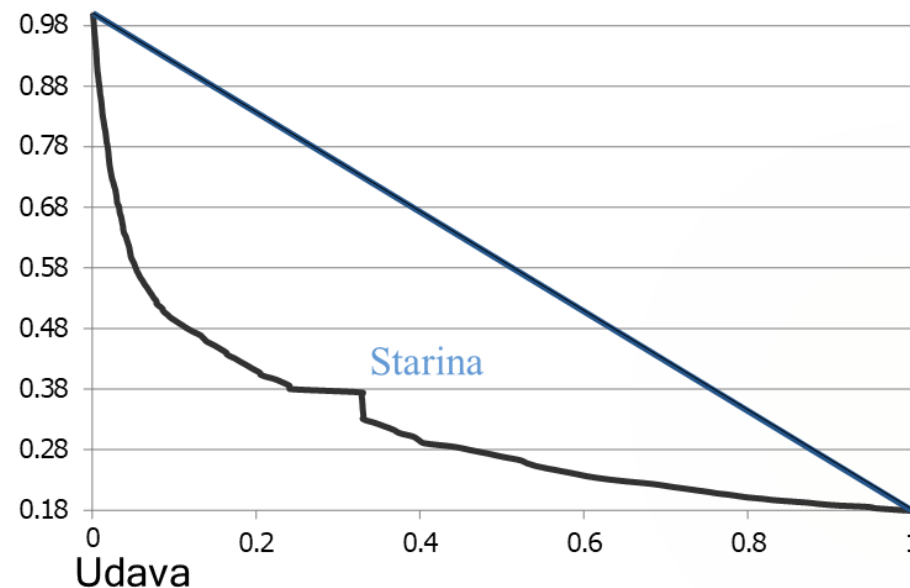
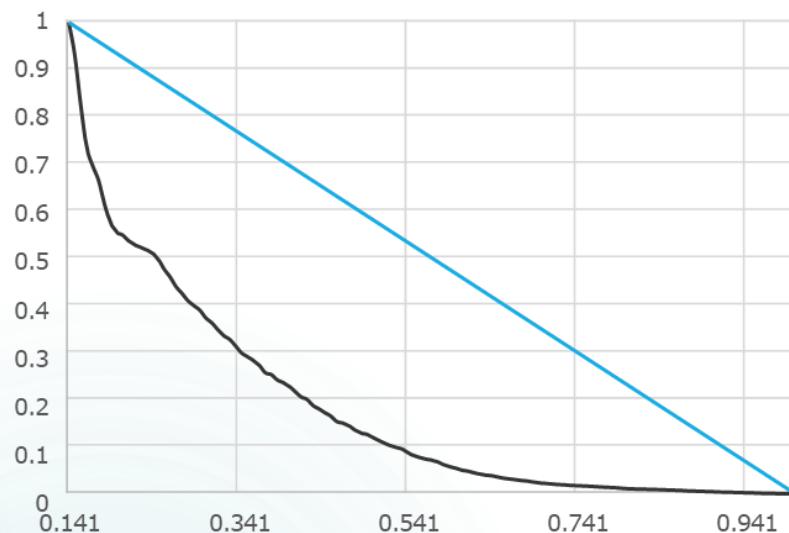


Udava

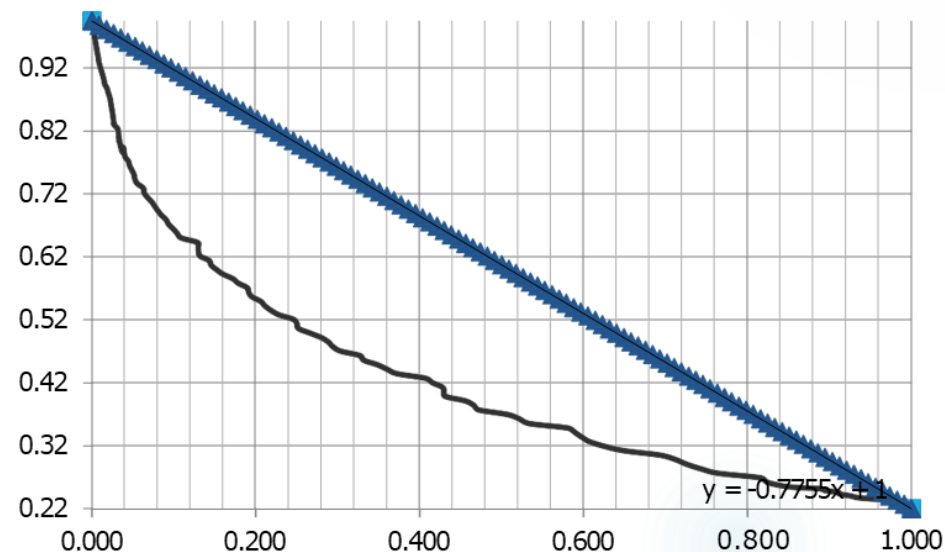
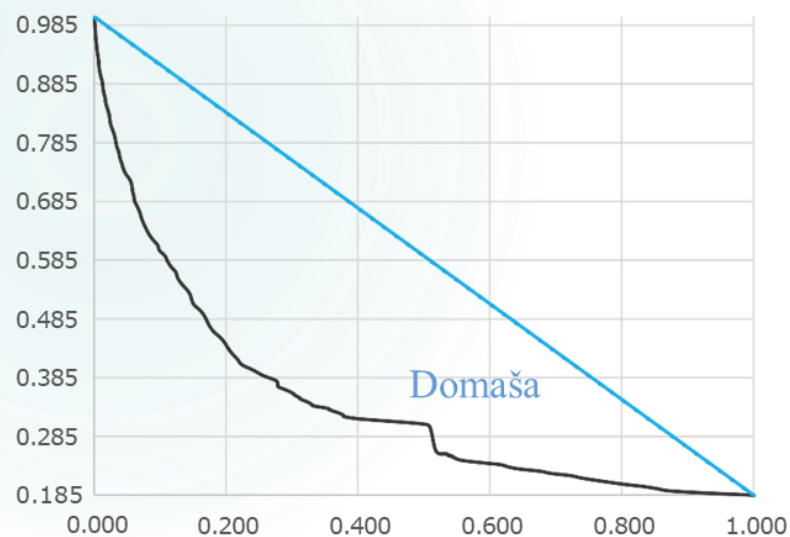


Normalizované profily vybraných toků

Laborec

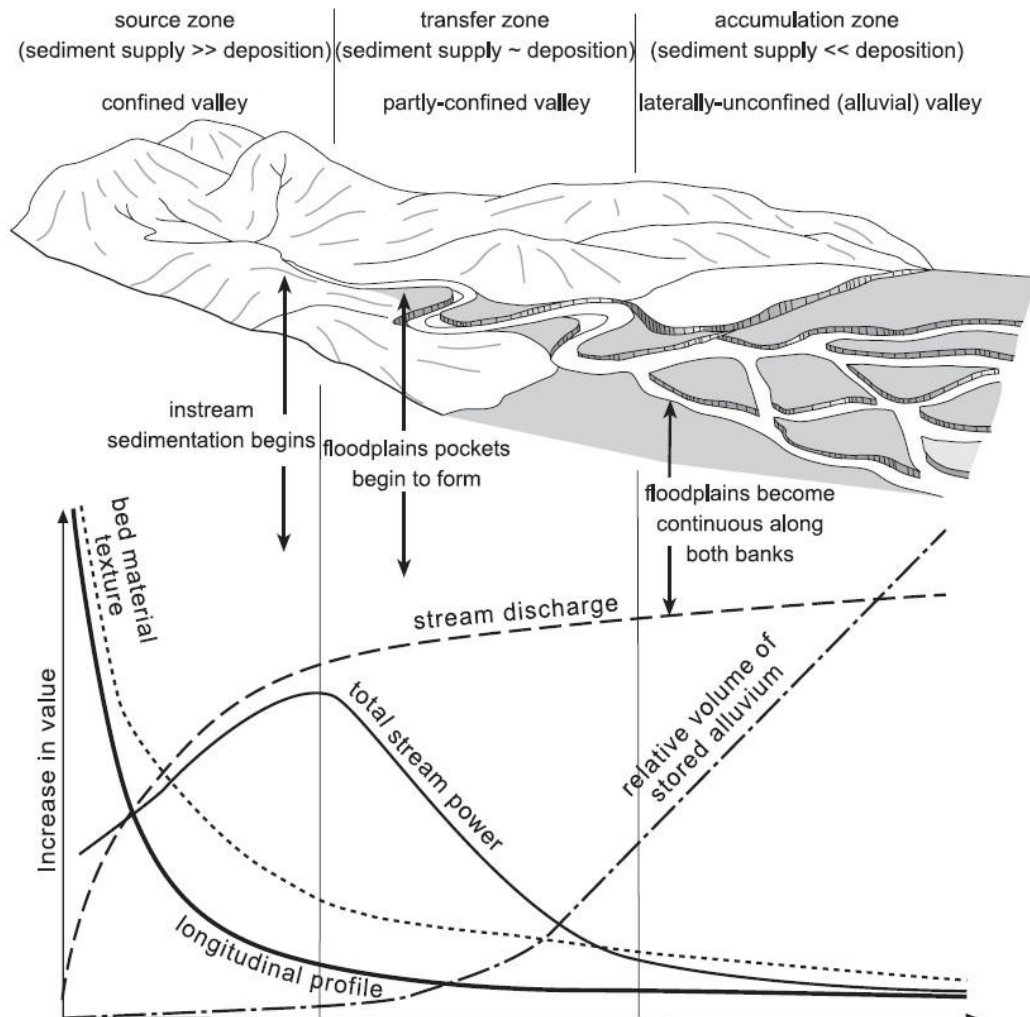


Ondava

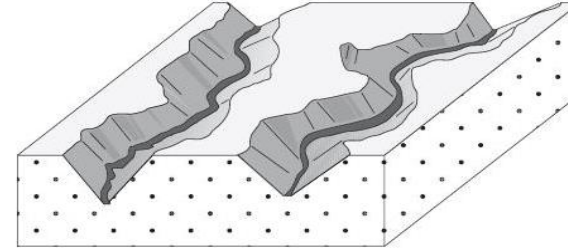


Fluviálne formy

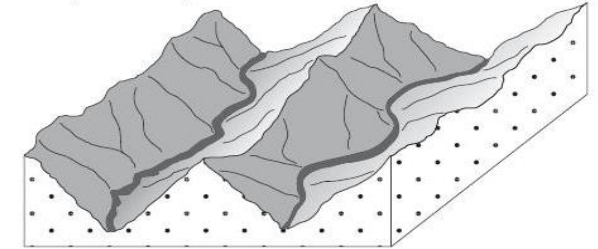
- Základné hydromorfologické jednotky v pozdĺžnom profile toku a ich vzťah k odtoku, textúre materiálu, energii toku



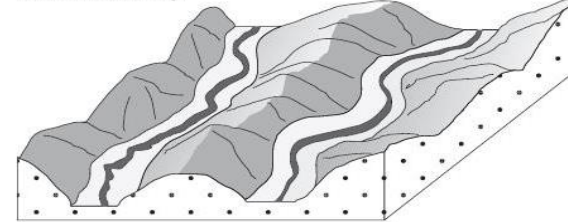
Youth



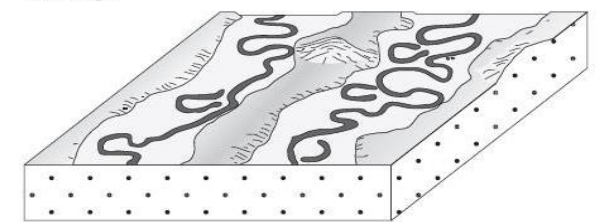
Early Maturity



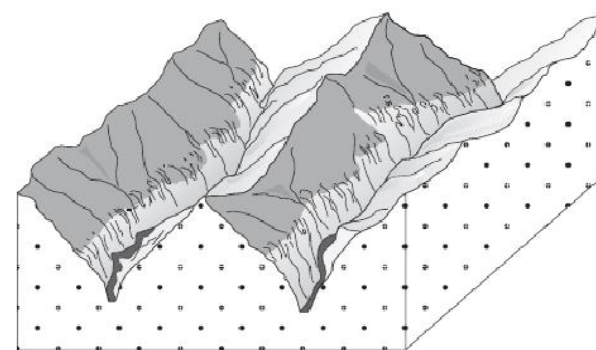
Late Maturity



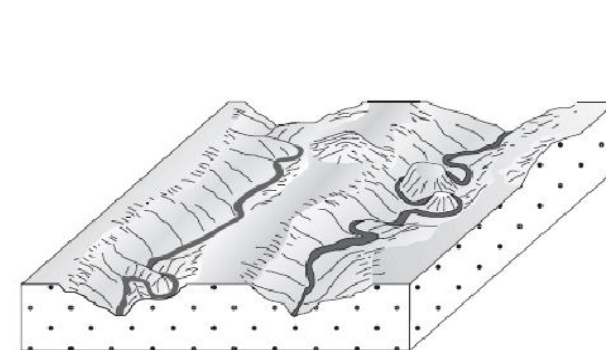
Old Age



Rejuvenation of an Early Maturity landscape



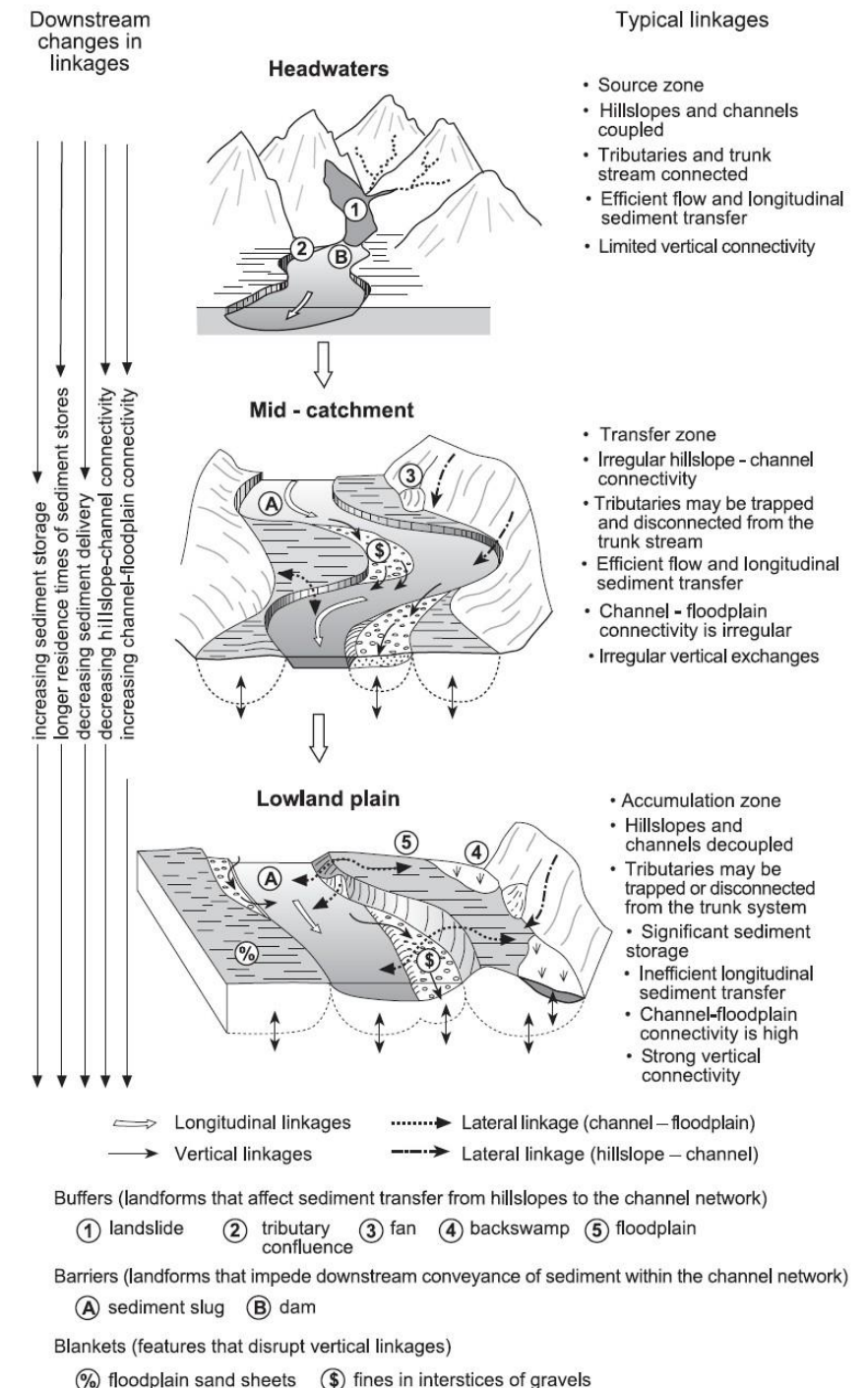
Rejuvenation of an Old Age landscape



- vývojové štádia riečneho údolia

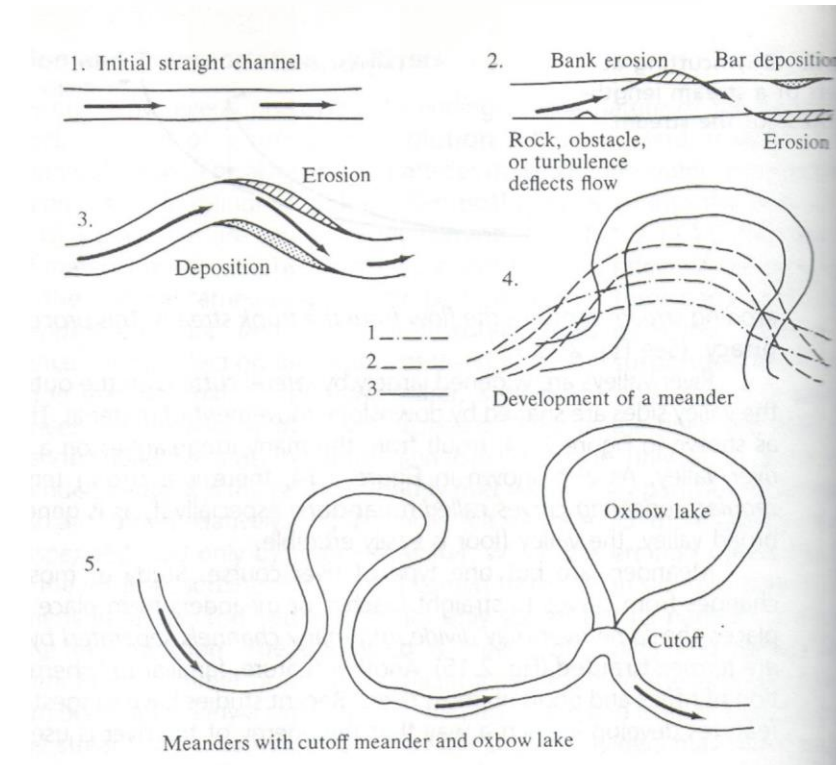
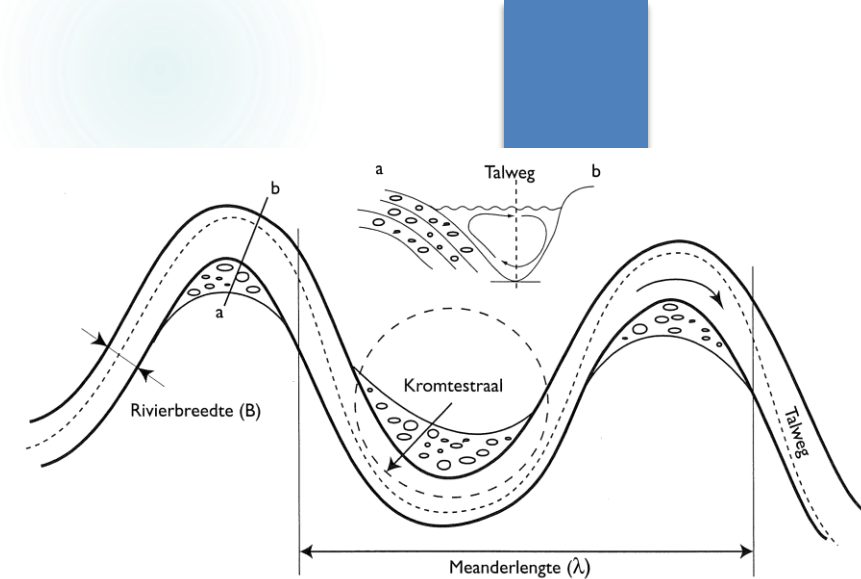
Fluviálne formy

- Hierarchický prístup k analýze krajiny zachytáva povodia ako súbor krajinných jednotiek, zásahov, geomorfologických jednotiek a hydraulických jednotiek
- Vzhľadom k vlastnostiam povodia **prebiehajú úpravy** veľkosti, materiálu lôžka na hydraulických a geomorfologických jednotkových mierkach, kanály a tvar riek sa upravujú v rozsahu stupnice dosahu a sklonu
- **Alúvium** - usadeniny riečneho pôvodu - sú typické triedením materiálu - hrubý materiál sa ukladá priamo vo vodnom toku, pri brehoch a v priľahlej nive prevažuje jemnozrnný materiál



Fluviálne formy

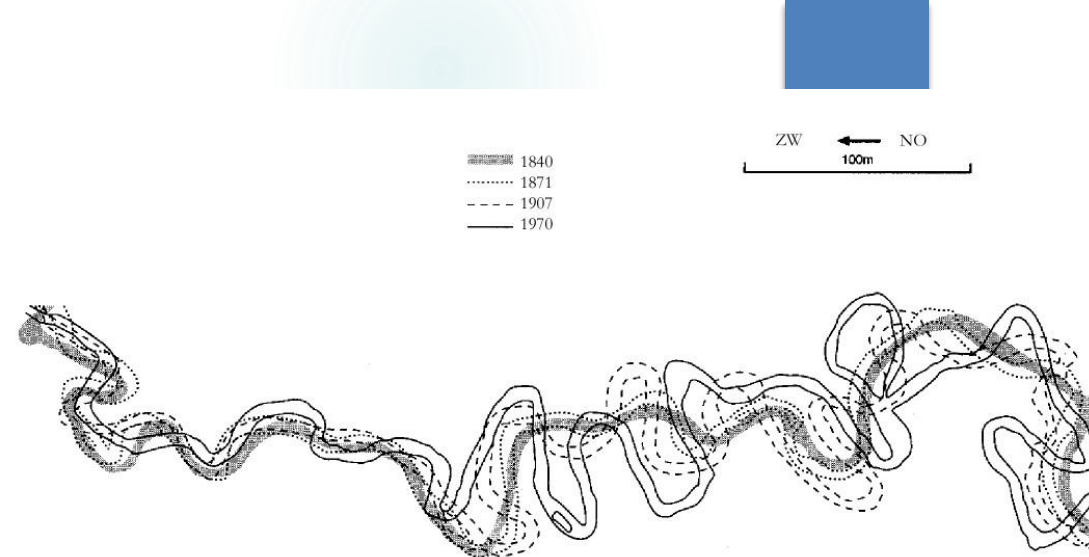
- ▶ **Oblúky a meandre** - zvlnené úseky vodných tokov, ktoré sa vytvárajú predovšetkým v riečnej nive - pri ich vývoji sa uplatňuje predovšetkým bočná erózia a hĺbková erózia (pri nárazových brehoch)
- ▶ **Meandre** sú oblúky koryta vodného toku väčšej dĺžky, než je polovica obvodu kružnice opísanej nad jeho šírkou a ich stredový uhol je väčší než 180° , vznikajú v dôsledku bočnej erózie vodných tokov
- ▶ **Meandrový pás** - spojenie niekoľkých meandrov
- ▶ V meandri rozlišujeme konvexný (**nárazový**) a konkávny (**náplavový**) breh
- ▶ Meander pozostáva z **oblúka**, **horného ramena** (z oblúka proti prúdu), **spodného ramena** (po prúde), územie ohraničené ramenami a oblúkom sa nazýva **vetvička**
- ▶ prudsie častice vody meandra narážajú na konvexný breh, ktorý narúšajú a erodovaný materiál z neho transportujú nižšie naprieč korytom na dno konkávneho brehu. Pri konvexnom brehu dochádza k erodovaniu dna, takže vodný tok tu dosahuje najväčších hĺbok
- ▶ **Odrezaný meander** sa postupne zaplňa nánosmi a vegetáciou, postupne sa úplne oddelí od vodného toku a za normálnych vodných stavov už ním nepreteká voda, čím sa z neho stáva **mŕtve rameno**
- ▶ **meandrový pás** sa postupným predlžovaním posúva smerom dolu po prúde. Intenzívne rozvíjanie meandrov nastáva v období rovnovážneho stavu rieky. Príliš prudké toky nemeandrujú



Fluviálne formy

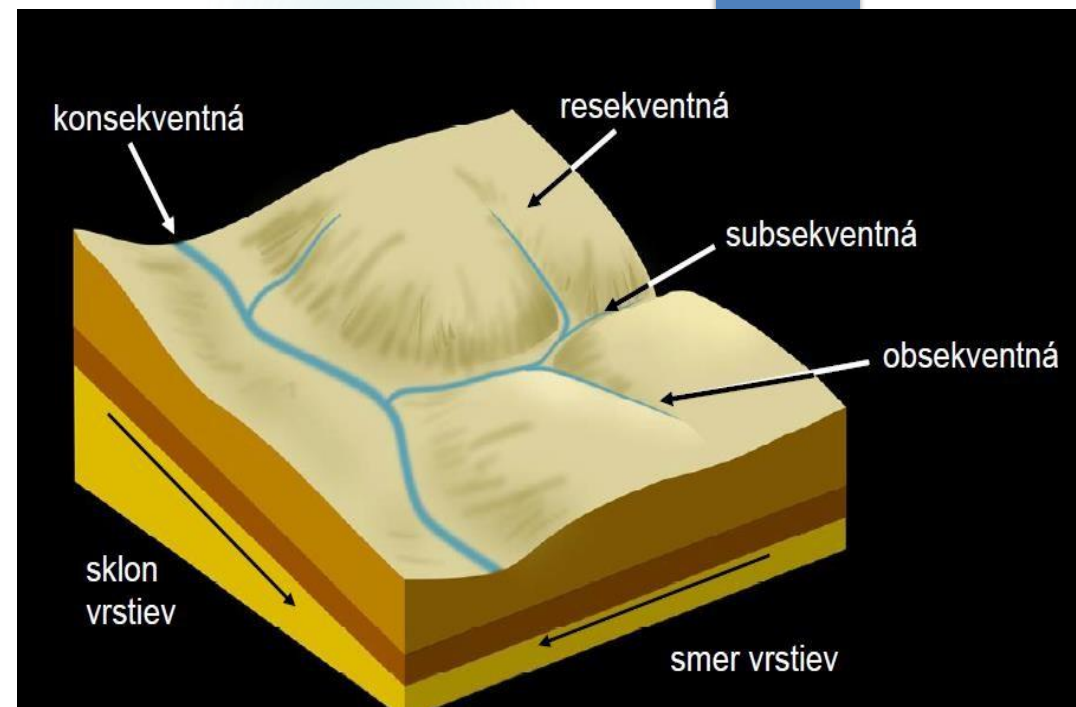
- ▶ Podľa typu podložia, v ktorom sa meander vyvíja, rozlišujeme:
 - ▶ **voľné** meandre - v širokej nive
 - ▶ **zaklesnuté** meandre - v územiach so zložitou geologickou stavbou, kde je meandrovanie podmienené rôznou odolnosťou hornín (dochádza tak k tzv. nútenej orografickej klukatosti)
- ▶ **Strž** - väčší typ eróznej ryhy, ktorá sa stále vyvíja. Má charakteristický profil v tvare písmena „V“. Široko sa tu uplatňuje hĺbková erózia, so stržami sa stretávame najčastejšie v horných úsekoch vodných tokov
- ▶ Rozlišujeme strže:
 - ▶ typu **ovrag** - hlboko zarezané, stále sa vyvíjajúce, nestabilné
 - ▶ typu **balka** - vyvinuli sa z predchádzajúceho typu a sú stabilnejšie a dno majú vyplnené sedimentmi
- ▶ V prípade väčšej hustoty strží v území môže vzniknúť charakteristický reliéf tzv. **badlands**

Vlastnosť	Ovrag	Balka	Badlands
Štádium vývoja	Počiatkové (mladé)	Neskoré (stabilné)	Pokročilé (extrémne)
Charakteristika	Úzka, hlboká, strmá	Široká, plytká	Členitý reliéf, suchý
Vegetácia	Zvyčajne žiadna	Často stabilizovaná	Takmer žiadna
Oblasť výskytu	Svahy, stepi	Svahy, stepi	Suché oblasti sveta

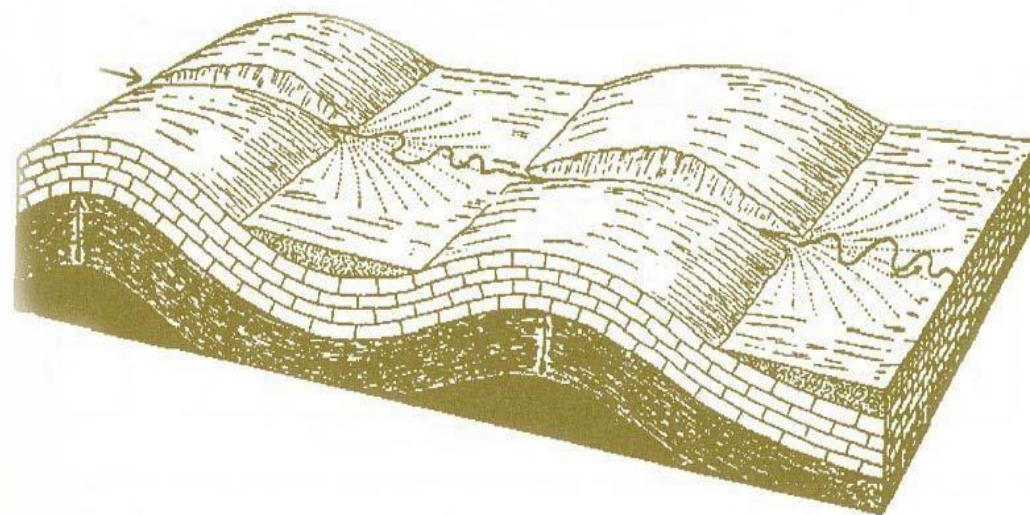


Fluviálne formy

- ▶ **Doliny** - pretiahnuté znížieniny, ktoré vznikli riečnou činnosťou a skláňajú sa v smere spádu vodného toku
- ▶ Typy dolín:
 - ▶ **Konsekventná** - ich smer je určený pôvodným sklonom georeliéfu a sú vo všeobecnosti nezávislé od morfológie
 - ▶ **Subsekventná** - je viazané na pruhy menej odolných hornín alebo tektonických čiar a vedie v smere, ktorý je konzistentný so smerom vrstiev alebo priebehom tektonických línií. Odhaľuje sa v príľahlých dolinách
 - ▶ **Resekventná** - sú orientované podobne ako konsekventné doliny, sú formované v neskoršom štádiu vývoja ako bočné paralelné údolie
 - ▶ **Obsekventné** - proti celkovému svahu krajiny je nezávislé od pôvodného smeru vrstiev a od morfológie (sklon vrstiev). Zvyčajne sú súčasťou obnaženého povrchu
- ▶ **Antecedentné doliny** - rýchla hlboká erózia, prelom Váhu pri Strečne, Dunajec v Pieninách
- ▶ **Epigenetické doliny** - v mäkkých formáciách, rovný profil (Hornád, Hron)



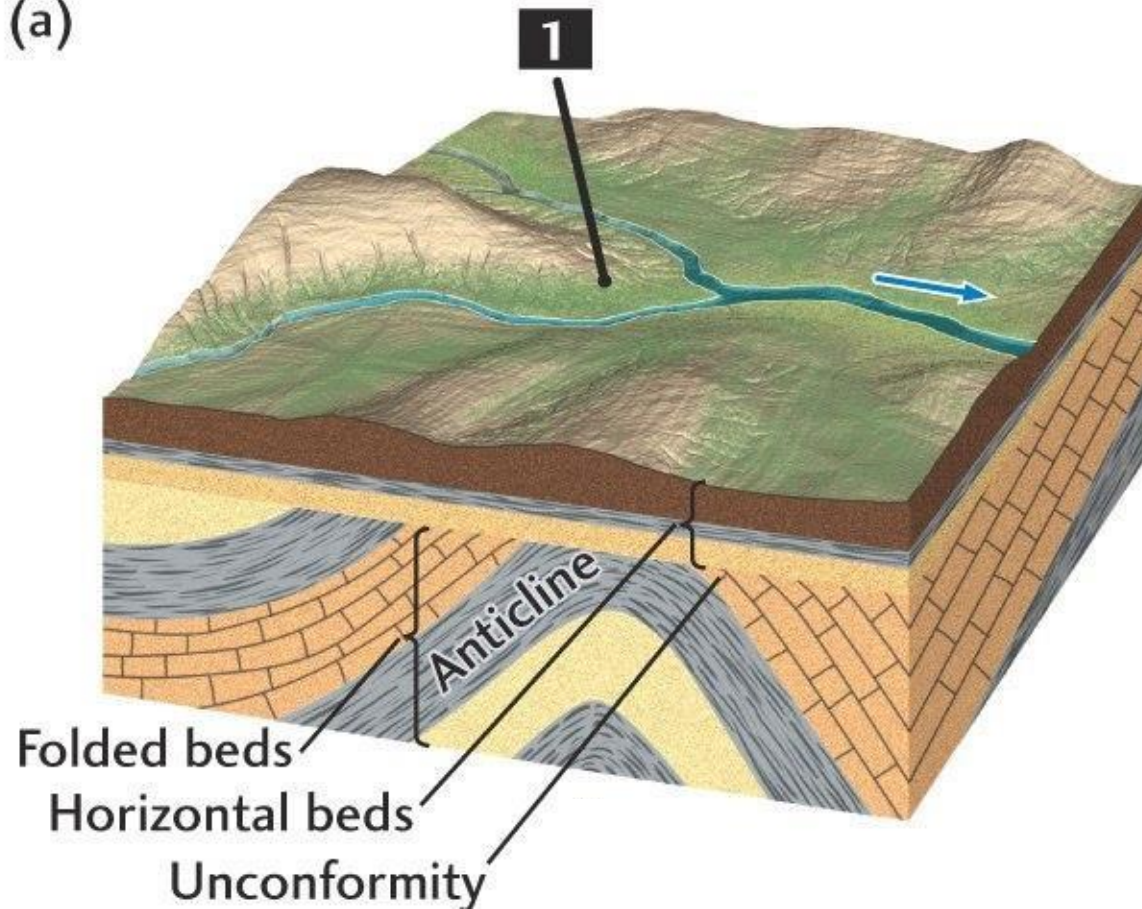
Model antecedentnej doliny



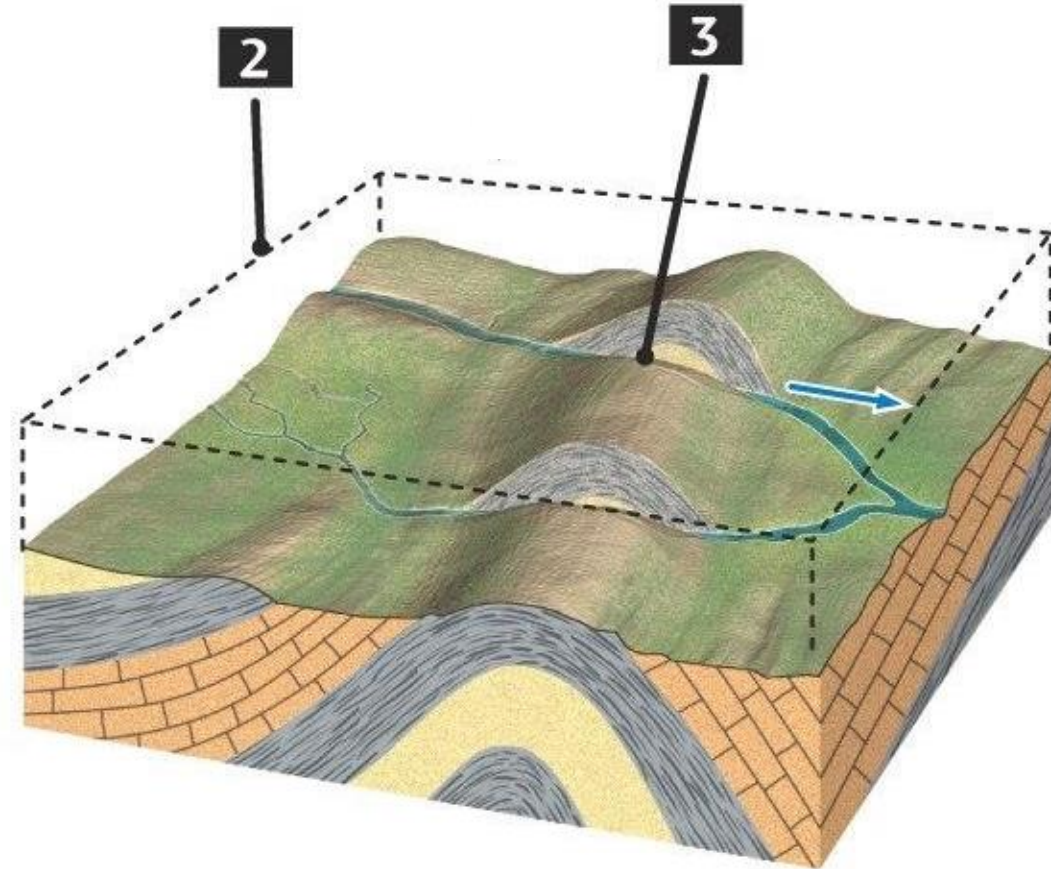
Fluviálne formy

- Príklad vzniku antecedencie

(a)

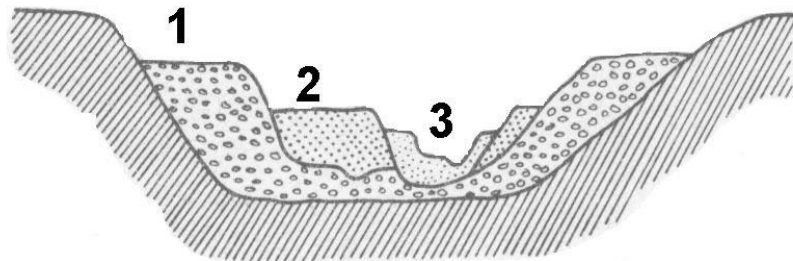


(b)

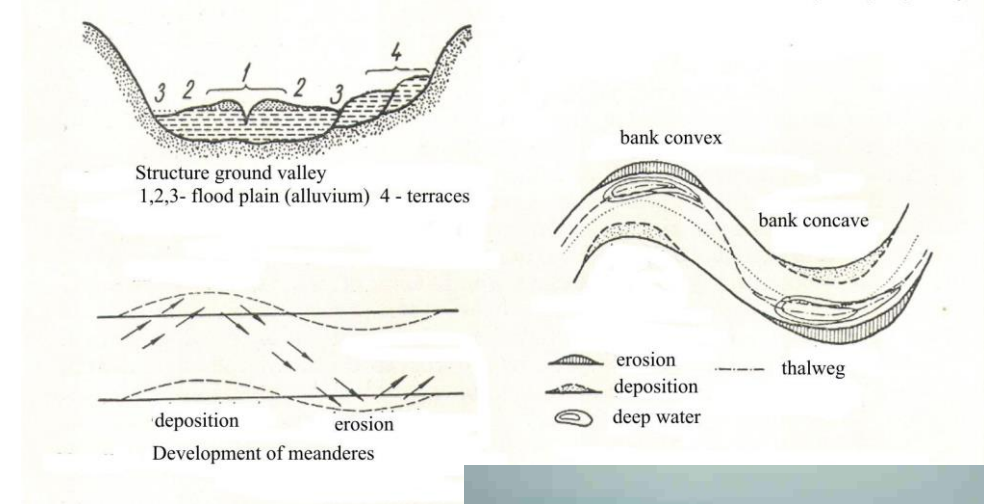


Fluviálne formy

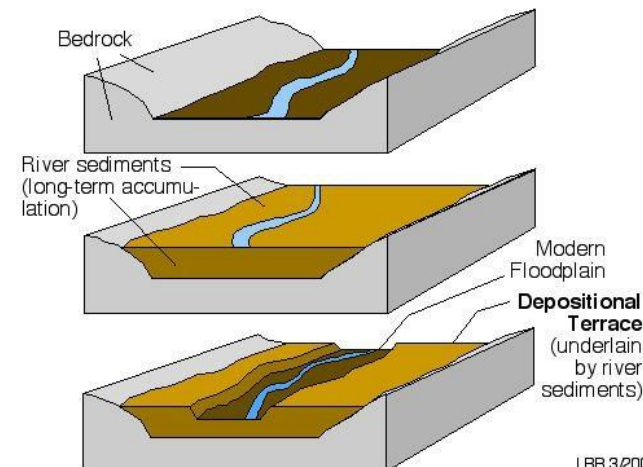
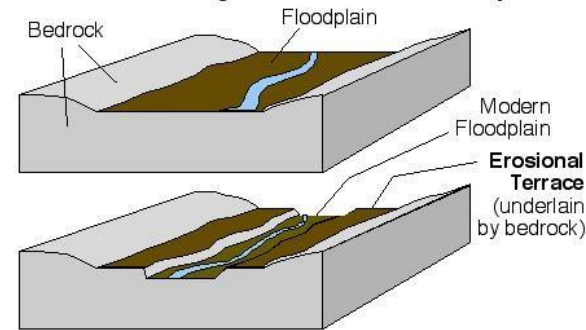
- **Riečna terasa** - bývalé dná údolí, ktoré vznikli po prerezaní vodného toku - tieto dná sa vyvinuli vo fáze vertikálnej stability a neskôr vo fáze vývoja údolí
- Riečne terasy sú morfológicky významné výškové stupne, ktoré vznikli postupným zarezaním povrchového toku na starší (predčasný) substrát
- Môžu byť vyvinuté symetricky na oboch stranách údolia alebo alternatívne na jednom alebo druhom svahu
- Rozlišujeme:
 - **Erózne terasy** – vznikajú pri korózii (hlbokovej erózii)
 - **Akkumulačné terasy** – zvyšky prúdov pri ukladaní sedimentov



Vložené riečne terasy (čísla vyjadrujú vek terás: 1 – najstaršia, 3 – najmladšia)



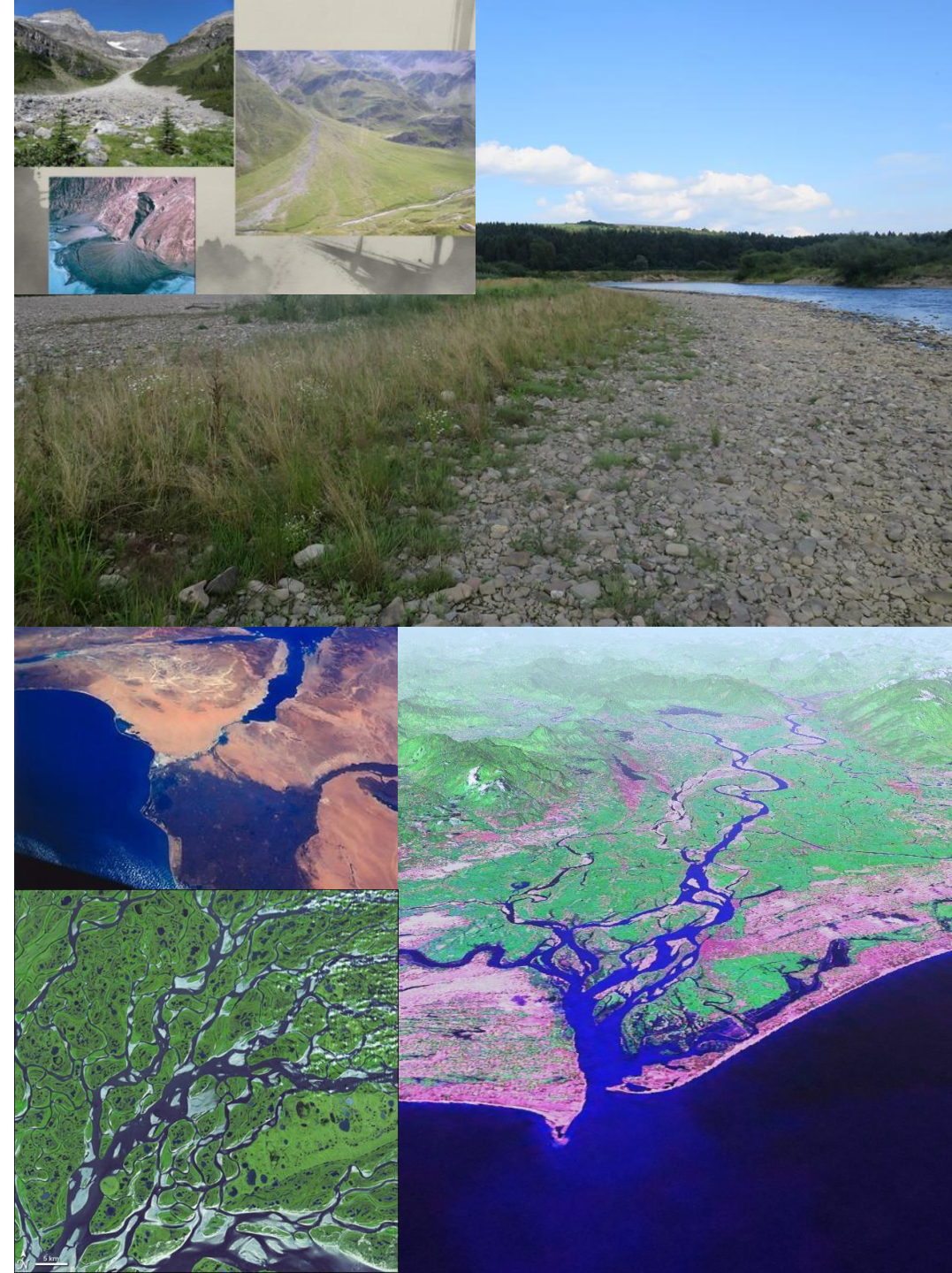
Terraces: abandoned floodplains that formed when a river flowed at a higher level than it does today.



Fluviálne formy

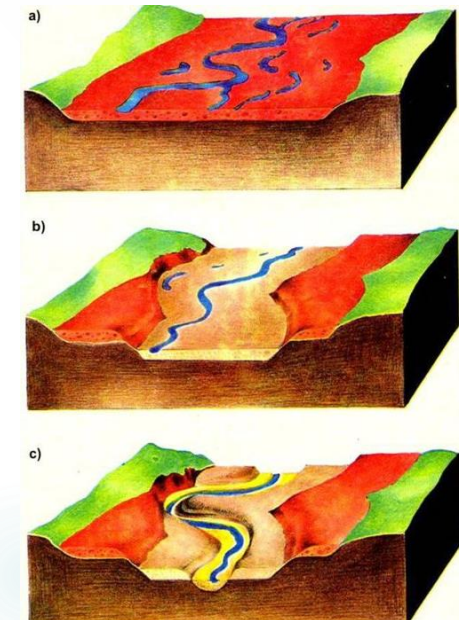
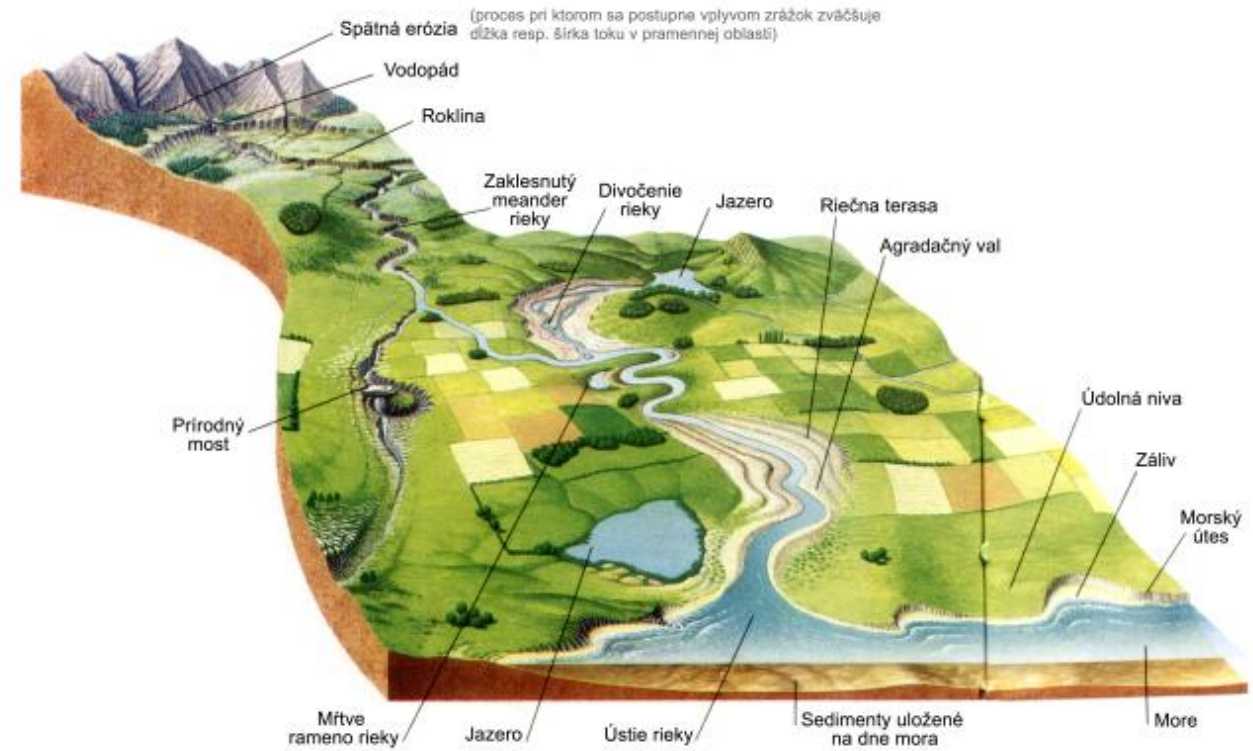
- **Štrková lavica** - tvoria ju nánosy hrubších usadenín, ktoré sa najčastejšie ukladajú pri brehu riečneho toku. Ukladajú sa pri vyšších prietokoch, keď voda stratí svoju unášaciu rýchlosť. Na štrkových laviciach sa pri opadnutí vôd zachytávajú povodňové hlinité usadeniny, čím sa podporuje rast náletovej vegetácie. Pri povodňových stavoch môže štrková lavica predstavovať prekážku v prietokovom profile
- **Nánosový kužel** - akumulčný útvar kužeľovitého profilu, ktorý vzniká z riečnych sedimentov. Formuje sa na miestach, kde sa prúdový sklon toku prudko mení. Kužel sa rozprestiera smerom do údolia. Rieka, ktorá tečie cez kužel, môže rozvetvovať svoje ramená a vytvárať viacero tokov. Tento proces nastáva v miestach, kde dochádza k rýchlej zmene sklonu toku
- **Delta** – predstavuje veľmi plochý subakválny typ náplavového kužela – príčina tvorby je náhla strata kinetickej energie rieky v mieste jej vyústenia do sedimentačného priestoru (more, jazero)

Vlastnosť	Výplňová delta	Výbehová delta	Výplňovo-výbehová delta
Dominantný proces	Sedimentácia pri ústí	Redistribúcia sedimentov prúdmi alebo vlnami	Kombinácia oboch procesov
Tvar	Trojuholníkový alebo vejárovitý	Pretiahnutý, úzky, kopíruje pobrežie	Kombinovaný, zmiešaný tvar
Poloha sedimentov	Koncentrované pri ústí	Rozptýlené pozdĺž pobrežia	Čiastočne koncentrované a čiastočne rozptýlené
Príklad	Delta Nigeru	Delta Tiberu	Delta Gangy-Brahmaputry



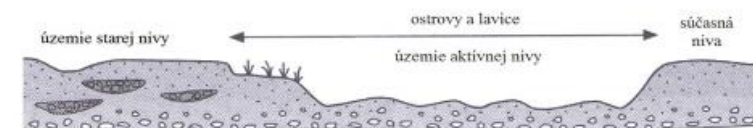
Fluviálne formy

- ▶ **Riečna niva** - akumulčná rovina pozdĺž vodného toku, ktorá je tvorená fluviálnymi sedimentmi a počas povodní býva spravidla čiastočne alebo úplne zaplavovaná. Nachádza sa teda v inundačnej (záplavovej) oblasti.
- ▶ Údolná niva sa od iných častí reliéfu líši tým, že je oddelená hranou údolného svahu alebo riečnej terasy. Jej hranice závisia od miestnych podmienok.
- ▶ Rozlišujeme dva typy údolných nív:
 - ▶ **Konkávne nivy**, ktoré vznikajú v blízkosti vodných tokov v dôsledku sedimentácie väčších častíc (**agradáčné valy**)
 - ▶ **Konvexné nivy**, ktoré sú v strednej časti povodia menej výrazné, ale tvoria ich jemné povodňové sedimenty a pravidelné záplavy
- ▶ **Šírka riečnej nivy sa zväčšuje s dĺžkou toku.** V rámci riečnych nív sa môžu vytvárať rôzne erózne a akumulčné formy reliéfu:
 - ▶ **Korytové fácie** (týkajúce sa štrku a piesku)
 - ▶ **Povodňové fácie** (usadeniny pri povodniach)
 - ▶ **Fácie brehových valov** (jemné sedimenty s vysokým obsahom humusu)
 - ▶ **Fácie mŕtvych ramien** (sedimenty jazier)
- ▶ Oblasť riečnej nivy sa dynamicky mení a jej štruktúra je často formovaná prírodnými procesmi alebo zásahmi človeka. Nivy môžu byť významnými súčasťami kultúrnej krajiny alebo plniť ekologické funkcie.
- ▶ Počas povodní má sa rieka vylievať do svojho **inundačného koryta** s čím sú spojené potenciálne škody na majetku

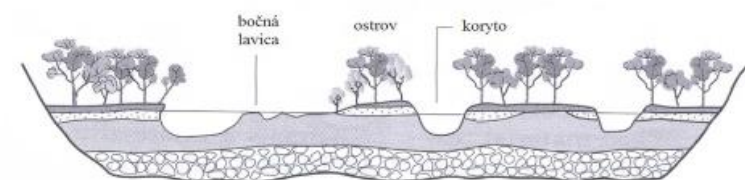


Riečna krajina

- ▶ Vodné toky chápeme ako prirodzenú súčasť krajiny. Samotné vodné toky však vytvárajú vo svojom okolí unikátne podmienky, vďaka ktorým sa okolo riek vyvíjajú špecifické formy reliéfu, ale taktiež špecifické biologické spoločenstvá a špecifické ekosystémy
- ▶ Vodný tok je tak nielen súčasťou krajiny, ktorou preteká, ale vytvára krajinu celkom novú, ktorá je na ňom absolútne závislá. Túto krajinu nazývame „riečna krajina“ (River landscape) - termín vznikol v 80. rokoch 20. storočia a jeho autorom je olomoucký profesor Otakar Štěrba. Ten definuje riečnu krajinu ako „ekologický systém (supraekosystém), ktorý je tvorený ekosystémom samotnej rieky a príslušnými ekosystémami, ktoré sú touto riekou vytvorené alebo zásadným spôsobom ovplyvnené“
- ▶ Riečna krajina je vyvinutá od prameňov riek až k ich ústiu
- ▶ V priečnom profile je riečna krajina rozložená na pôdoryse aluviálnych náplavov, chránená pravou a ľavou riečnou terasou
- ▶ Pokiaľ riečne terasy nie sú vyvinuté, riečna krajina sa v profile vymedzuje úpäťm údolných svahov alebo skál
- ▶ Vertikálne je riečna krajina vymedzená povrchovými časťami (stromy, stavby atď.) a spodnými časťami sedimentu až po spodné vody
- ▶ Zatiaľ čo v pramennej časti riek je riečna krajina široká sotva niekoľko decimetrov (často len samotné koryto a brehová časť), na dolnom toku dosahuje jej šírka až niekoľko kilometrov (údolná niva, delta)



a) Priečný profil divočiejej rieky



b) Priečný profil migrujúcej rieky



c) Priečný profil anastomóznej rieky

Riečna krajina

- ▶ Hlavné funkcie riečnej krajiny podľa O. Štěrbu (2008) sú:
 - ▶ geofyzikálna (tvorba geomorfologických tvarov, nivy, riečnej siete, erózie atď.)
 - ▶ pôdotvorná (okolo vodných tokov sa z nánosov tvoria nové pôdy, najčastejšie fluvizémy)
 - ▶ klimatická (vplyv na mikro a mezoklímu)
 - ▶ hydrologická (infiltrácia, zvýšenie hladiny podzemnej vody, vedenie vody, zadržiavanie vody, zdroj vody pre organizmy)
 - ▶ ekologická (životné prostredie, migrácia, samočistenie, produkcia biomasy, biodiverzita)
 - ▶ spoločensko-ekonomická (rekreačná, ekonomická, obytná...).
- ▶ Okrem klasických riečnych krajín existujú aj špeciálne typy:
 - ▶ riečne krajiny podzemných krasových riek
 - ▶ ľadovcových riek, ktoré pretekajú pod ľadovcom alebo meandrujú priamo v ľadovci
 - ▶ periodické vodné toky púští a polopúští (creeks, wadi)



Režim vodných tokov

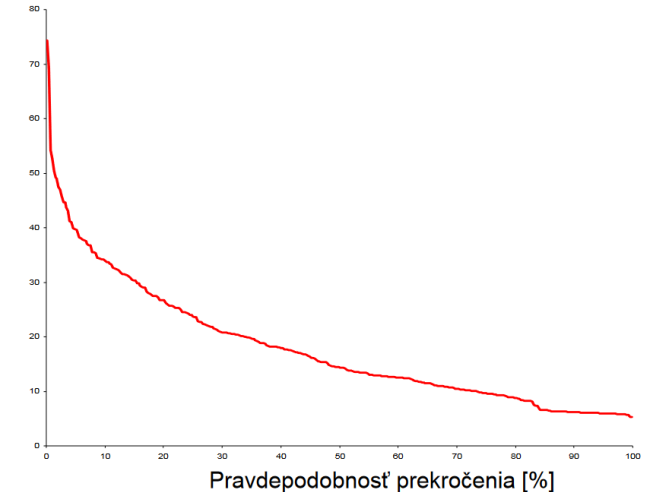
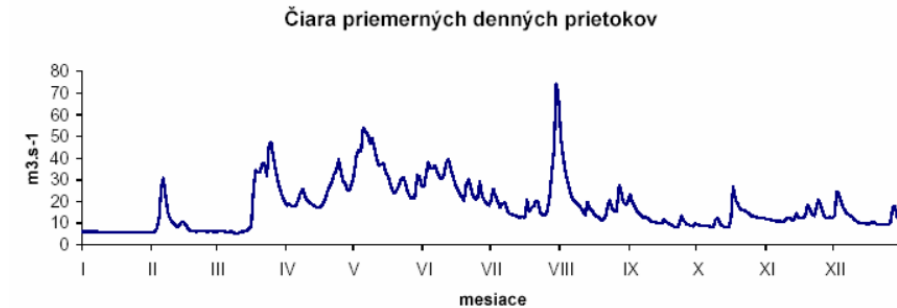
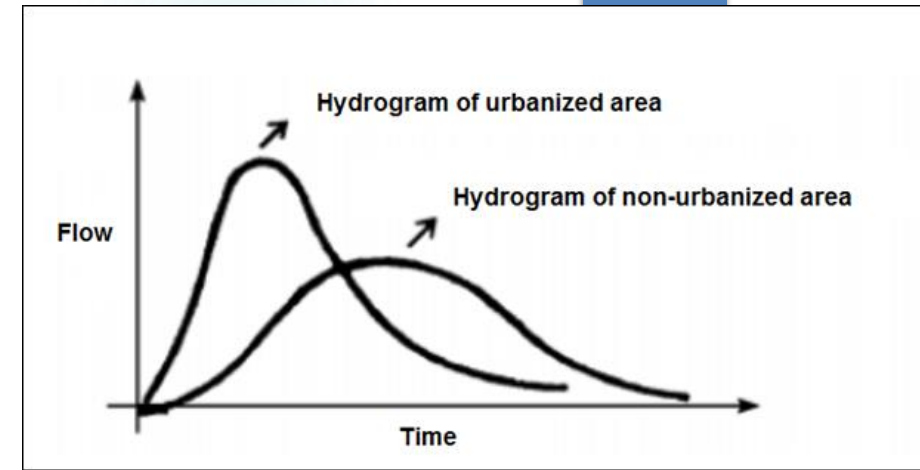
- ▶ Hydrologickým režimom chápeme zákonitosti zmien hydrologických prvkov v čase a priestore, spôsobených fyzikogeografickými činiteľmi (zrážky, teplota vzduchu atď.), prípadne umelými zásahmi
- ▶ Rozlišujeme: **prirodzený** (nie je ovplyvnený umelými zásahmi)
ovplyvnený (znížením hladiny vôd vodnej stavby alebo zmenou teploty vody vo vodnom toku v dôsledku existencie vodnej nádrže na rieke)
- ▶ Podľa jednotlivých hydrologických prvkov môžeme definovať režim vodných stavov, režim prietokov, teploty a ľadový režim riek
- ▶ Merné jednotky odtoku:
 - ▶ **Prietok (Q)** - základná jednotka odtoku vody v koryte
 - ▶ **Špecifický odtok (q)** - prietok vody vzťahovaný na jednotku plochy povodia; určuje sa v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ alebo v $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$; používa sa pre posúdenie vodnosti a celkových podmienok pre odtok v jednotlivých povodiach alebo ich častiach; špecifický odtok závisí na geografických a klimatických podmienkach
 - ▶ **Odtok (V_o)** - objem vody, ktorý odteká z povodia alebo vodného útvaru za daný časový úsek (deň, mesiac, rok), vyjadruje sa v m^3 , prípadne km^3
 - ▶ **Odtoková výška (H_o)** – predstavuje výšku vrstvy vody, ktorá by sa vytvorila pri rovnomernom rozprestretí množstva odtekajúcej vody po ploche povodia, vyjadruje sa v mm a je vzťahovaná k danému časovému intervalu (rok)
 - ▶ **Výška zrážok (H_z)** - vyjadruje výšku vrstvy vody zrážok, ktorá by sa vytvorila pri rovnomernom rozprestretí množstva zrážok spadnutých na plochu daného povodia, vyjadruje sa v mm a je vzťahovaná k danému časovému intervalu (rok)
 - ▶ **Výpar (H_e)** – predstavuje výšku vrstvy celkového výparu, ktorá by sa vytvorila pri rovnomernom rozprestretí množstva výparu z plochy daného povodia, vyjadruje sa v mm a je vzťahovaná k danému časovému intervalu (rok)
 - ▶ **Súčiniteľ odtoku (ϕ)** – číselná hodnota, ktorá vyjadruje celkové podmienky pre odtok v povodí bez vplyvu geografických činiteľov prostredia v povodí; ide o podiel výšky odtoku a výšky zrážok; uvádza sa ako bezrozmerná veličina alebo sa môže vyjadriť v %. Číslo vyjadruje, aké percentuálne množstvo zrážok z povodia odteká

Režim vodných tokov

- ▶ Hodnotenie prietoku:
- ▶ Režimom prietokov sa rozumejú typické zmeny vodnosti riek v daných časových úsekoch (dni, mesiace, roky, desaťročia a pod.)
- ▶ **Druh režimu odtoku** je výsledkom pôsobenia mnohých činiteľov, ktoré pôsobia v celom povodí a ovplyvňujú nielen odtok z plochy, ale aj odtok priamo v riečnom koryte. Zdroje vodnosti riek súvisia s časovým rozložením odtokov vody z povodí v priebehu roka
- ▶ **Základnými zdrojmi vodnosti** sú **voda z dažďov**, z periodickej **snehovej pokrývky**, z **ľadovcov** alebo **trvalé snehové pokrývky**, ako aj **snehová** či **dažďová voda** a **podzemné vody**
- ▶ **Prietok (Q)** - množstvo vody, ktoré pretečie za jednu sekundu priečnym prierezom koryta
- ▶ **Denné prietoky (Q_d)** - môžu byť označené aj ako priemerný denný prietok len v prípade, ak boli stanovené na základe limnigrafického záznamu. Na základe meraných kriviek prietokov sú pre väčšinu vodomerných profilov udávané denné prietoky. Z denných prietokov sa stanovujú **mesačné prietoky (Q_M)** a **ročné prietoky (Q_R)**. Dôležité je ale aj stanovenie dlhodobého **priemerného prietoku (Q_a)**, ktorý sa nazýva normál, a vyjadruje priemernú vodnosť rieky za určité časové obdobie, napr. 1961–1991
- ▶ Stanovenie dlhodobého **priemerného ročného prietoku (Q_{Ra})**:
 - ▶ Ak je pre daný profil toku k dispozícii dostatočne dlhý rad pozorovaní, vypočítame tento aritmetickým priemerom,
 - ▶ ak nie je k dispozícii dostatočne dlhý rad pozorovaní, tak máme niekoľko možností, napr. predĺžime radu priemerných ročných prietokov (Q_R) grafickou extrapoláciou (približne a subjektívne) alebo použijeme štatistické metódy, napr. korelácie, t.j. rad ročných prietokov (Q_R) (minimálne 10 členov) nebolo predlžované pomocou korelačného vzťahu s dostatočne dlhým radom v inej povodí (profily a pod.),
 - ▶ hodnotu (Q_{Ra}) pri nedostatku pozorovaní v danom profile môžeme vypočítať tiež z bilančných rovníc povodia

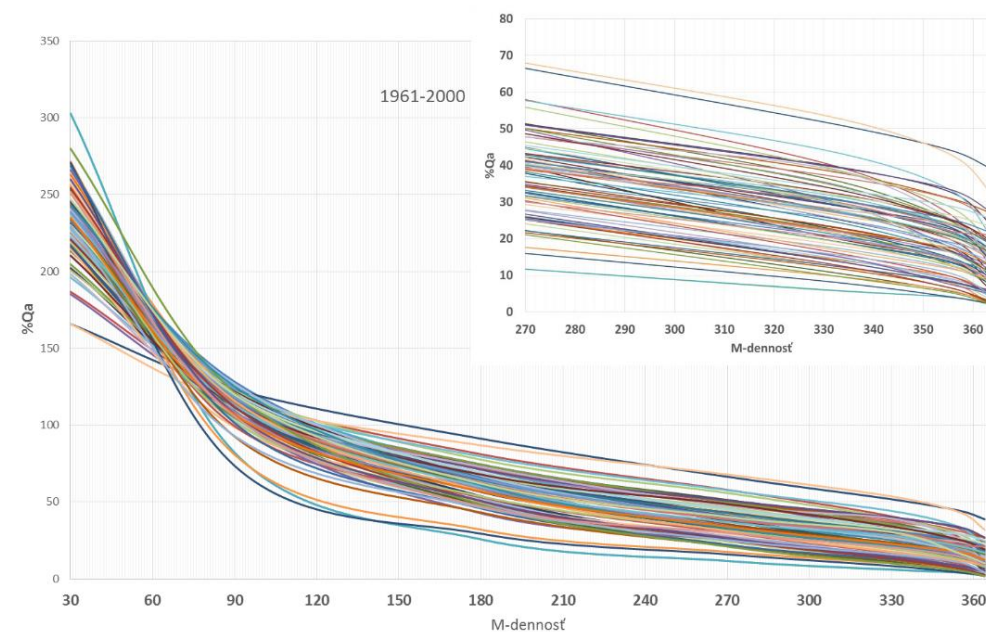
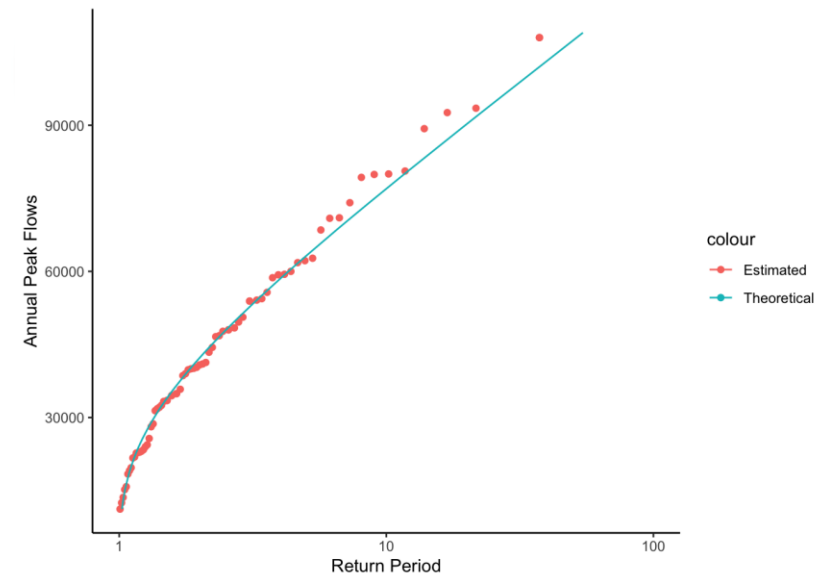
Režim vodných tokov

- ▶ Hodnotenie prietoku:
- ▶ **Hydrogram** - časové zmeny v profile vyjadrené chronologickou čiarou prietokov; je odvodená z meraných vodných stavov; z hydrogramu zistíme nielen maximálnu a minimálnu hodnotu sledovaného hydrologického radu, ale aj zmeny prietokov v priebehu roka, ich kolísanie a veľkosť amplitúdy
- ▶ Čiara rozdelenia početnosti výskytu (**histogram**) je závislosť medzi hodnotami prietokov a absolútnou početnosťou výskytu
- ▶ Priemerné denné prietoky sa rozdelia do triednych intervalov a zisťuje sa počet výskytov v jednotlivých intervaloch
- ▶ V histograme sa určuje **modus** - hodnota prietoku, ktorá sa za dané obdobie vyskytla najčastejšie
- ▶ **Čiara prekročenia prietokov** - závislosť medzi hodnotami prietokov a kumulatívnou početnosťou, t.j. počtom dosiahnutí alebo prekročení týchto hodnôt za uvažované obdobie. Spracováva sa:
 - ▶ čiara prekročenia **priemerných denných prietokov**: v danom roku z priemerných denných prietokov
 - ▶ čiara prekročenia **dlhodobých priemerných denných prietokov**: za dlhodobé obdobia, za radu rokov (z priemerných dlhodobých denných prietokov)



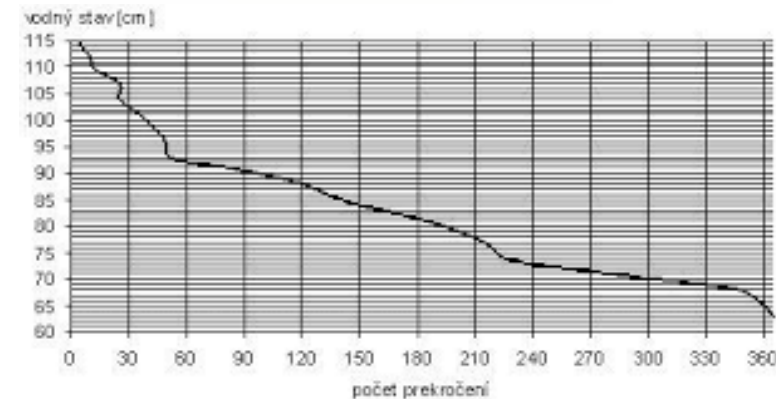
Režim vodných tokov

- ▶ **Z čiar prekročenia prietokov** sa určuje medián alebo obyčajný prietok - priemerný denný prietok, ktorý je 50 % výskytu dosiahnutých alebo prekročených hodnôt
- ▶ **M-denný prietok (Q_{Md})** - priemerný denný prietok, dosiahnutý alebo prekročený po M dní vo zvolenom časovom období - obvykle sa za dĺžku časového obdobia volí hydrologický rok (napr. $Q_{30} = 28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ znamená, že po dobu 30 dní v roku bol dosiahnutý alebo prekročený prietok $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, po zvyšok roku bol prietok nižší)
- ▶ **P-percentný denný prietok** - priemerný denný prietok dosiahnutý alebo prekročený po P % počtu dní v zvolenom časovom období. Pravdepodobnosti $p = 1, 2, 5, 10, 20, 50, 80, 90, 95, 99, 99.72\%$ sa určujú z čiar prekročenia prietokov
- ▶ **Extrémne hodnoty prietokov:**
 - ▶ **Maximálny prietok (Q_{\max})** - najvyšší (kulminačný) prietok pozorovaný v určitom období (deň, mesiac, rok, rada rokov)
 - ▶ **N-ročný maximálny prietok ($Q_{\max N}$)** - najvyšší (kulminačný) prietok, dosiahnutý alebo prekročený raz za N rokov ($Q_1, Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}$)
 - ▶ **Minimálny prietok (Q_{\min})** - najnižší priemerný prietok v určenom období (deň, mesiac, rok, rada rokov)
 - ▶ **N-ročný minimálny prietok ($Q_{\min N}$)** - najnižší priemerný denný prietok, ktorý je dosiahnutý alebo nedosiahnutý priemerne raz za N rokov



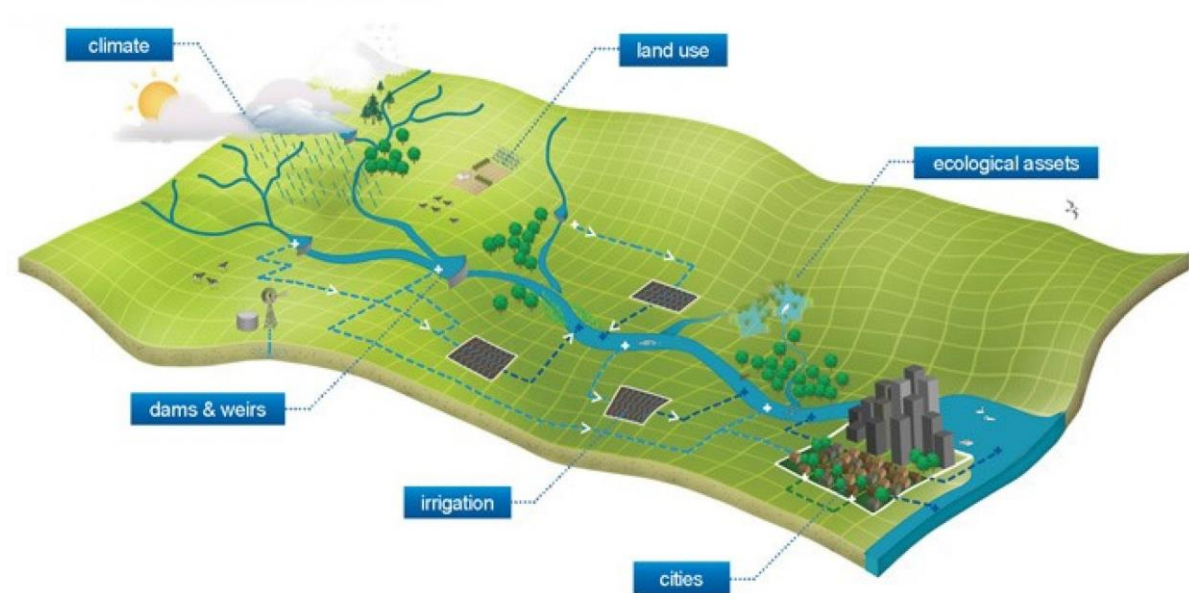
Hodnotenie vodných stavov

- ▶ po stanovení hodnôt vodných stavov je základným spôsobom ich vyjadrenia **chronologická čiara vodných stavov za určité časové obdobie** - z množiny nameraných dát sa týmto spôsobom stáva **hydrologická rada** (os x čas, os y hodnoty príslušných nameraných alebo vypočítaných vodných stavov)
- ▶ z chronologickej rady sa dá zistiť **maximálny a minimálny vodný stav** – ich rozdiel predstavuje **variačné rozpätie (amplitúda)**
- ▶ pomocou jednoduchých štatistík získavame ďalšie hodnoty nielen pre spracovanie dát prietokov, ale aj pre aritmetický priemer (mesačný, ročný, dlhodobý), modus a medián...
- ▶ pri analýze ročného chodu vodných stavov je v hydrologickej praxi nutné poznať, ako dlho bol na sledovanom vodnom toku určitý vodný stav prekročený
- ▶ podobne ako pri prietoku sa konštruuje aj čiara prekročenia - M-denné vodné stavy
- ▶ najmenší počet prvkov hydrologickej rady vodných stavov je 365 dní - ten sa najprv rozdelí do intervalov pravidelného alebo nepravidelného rozsahu, najčastejšie 10 až 20 pravidelných intervalov (najnižšia chybovosť) – zistí sa koľko vodných stavov zo sledovanej rady patrí do príslušného intervalu a vypočíta kumulatívna početnosť
- ▶ Na základe týchto hodnôt vykreslíme čiaru prekročenia vodných stavov tak, že na os x vynášame hodnoty kumulatívnej početnosti a na os y hodnoty vodných stavov (hornú hranicu intervalu)
- ▶ Z tohto grafu môžeme zistiť dobu (počet dní), po čas ktorých je dosiahnutá alebo prekročená určitá hodnota vodného stavu.



Hydrologické modely

- ▶ Hydrologické modely umožňujú simulovať skutočný hydrologický proces, ale aj predpovedať správanie povodí v rôznych extrémnych situáciách
- ▶ Matematický model zrážkovo-odtokového procesu existuje už od 60. rokov 20. storočia s plným využitím od 80. rokov
- ▶ Vlastnosti hydrologických modelov:
 - ▶ nesmú byť príliš zložité
 - ▶ nesmú byť duplicitou reality
 - ▶ prílišná jednoduchosť znižuje význam modelovaného javu
 - ▶ musia vierohodne popisovať hlavné vlastnosti modelovaného javu
- ▶ Aplikácie modelov v hydrológii:
 - ▶ pohyb vody v riečisku
 - ▶ prenos hmoty vo vode
 - ▶ chemické zloženie
 - ▶ Znečistenie
 - ▶ odtok vody z povrchu
 - ▶ erózne modely
 - ▶ model vytvárania a topenia snehovej pokrývky
 - ▶ zrážkovo-odtokový model
 - ▶ model simulujúci fungovanie nádrží
 - ▶ model prúdenia vody korytom



Hydrologické modely

► Delenie hydrologických modelov podľa účelu využitia:

- **modely v operatívnej hydrológii** – okamžité dáta zo staníc a radarov, krátkodobá predpoveď vodných stavov a prietokov v profile – predpovedný systém FFS (Flood Forecasting System)
- **modely pre návrhovú a projekčnú činnosť vo VH** – dlhodobejšie predpovede, povodňové ochrany, technické stavby
- **modely určené na výskum** – experimentálne povodia, podrobnejší výskum jednotlivých komponentov zrážkovo-odtokového procesu a ich presnejší popis

► Modely podľa priestorovej diskretizácie:

- **celistvé modely** („lumped models“) - parametre charakterizujúce povodie (veličiny i časové rady) sú vzťahované k celému alebo čiastkovému povodiu, dáta bodovo merané (stanice), prepočítané pomocou geoštatistických metód na plošné hodnoty
- **distribúované modely** - distribuované parametre, priestorová variabilita vstupných a výstupných parametrov, rozdelenie povodí v gride (štvorcová či trojuholníková sieť, max. do 1 km²) na elementárne odtokové plochy, pre každú bunku charakteristická hodnota parametra
- **semi-distribúované modely** - rozdelenie povodí na elementárne odtokové plochy (hydrotypy), ktoré sa vyznačujú homogénnymi priestorovými parametrami (rovnaký pôdny druh, vegetačný kryt atď.) - **najviac využívané**

Hydrologické modely – vstupné údaje

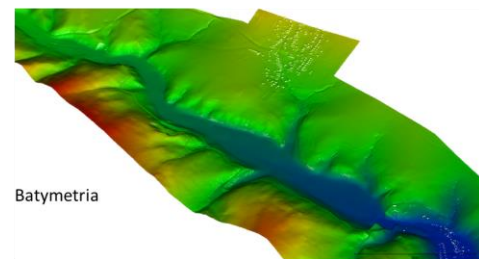
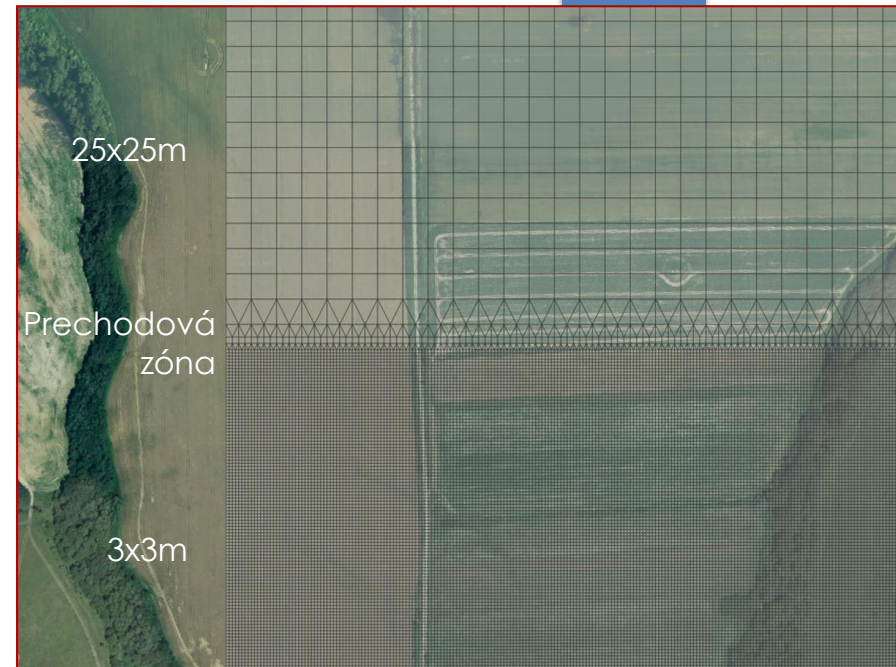
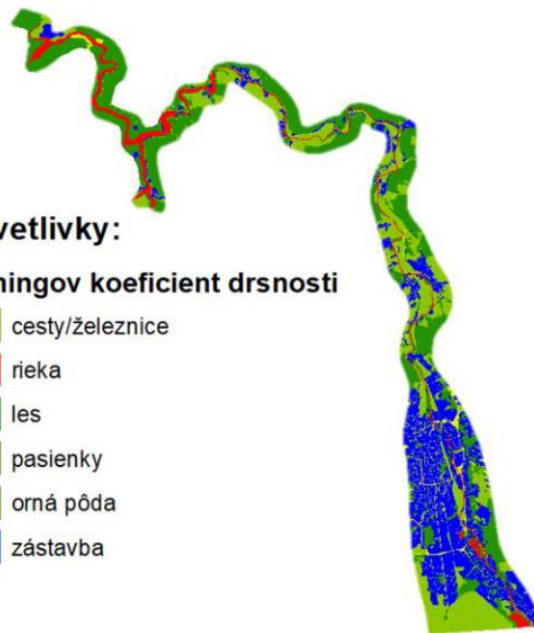
- ▶ Vzhľadom k použitému modelu je potrebná
2D / 3D pravidelná / nepravidelná výpočtová sieť
- ▶ Vstupné údajové vrstvy napr.:
 - ▶ Batymetria
 - ▶ Drsnosť povrchu
 - ▶ Infiltrácia podložia
 - ▶ Viskozita vody

Krajina	Manningov koeficient drsnosti
Les	0,043
Orná pôda	0,06
Zástavba	0,08
Pasienky	0,036
Rieky	0,011
Cesty/železnice	0,03

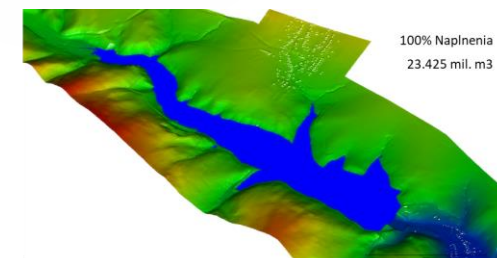
Vysvetlivky:

Manningov koeficient drsnosti

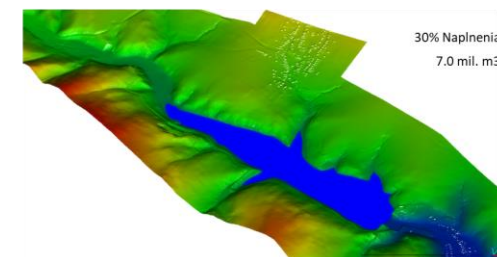
- cesty/železnice
- rieka
- les
- pasienky
- orná pôda
- zástavba



Batymetria



100% Naplnenia
23.425 mil. m³



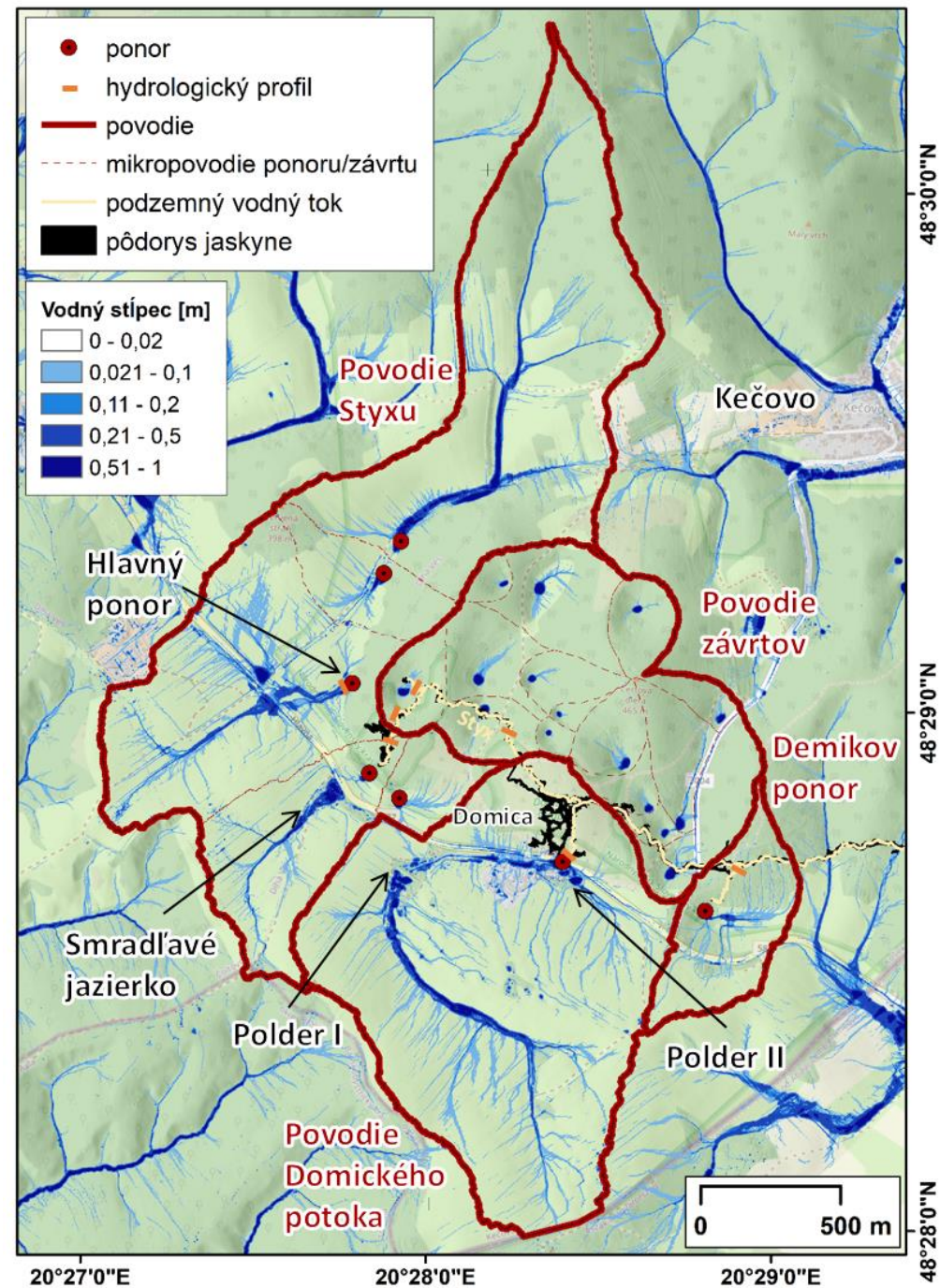
30% Naplnenia
7.0 mil. m³

Hydrologické modely - príklad

- ▶ Opakované povodne v jaskyni Domica
- ▶ Simulovaný povrchový odtok počas zimnej povodne

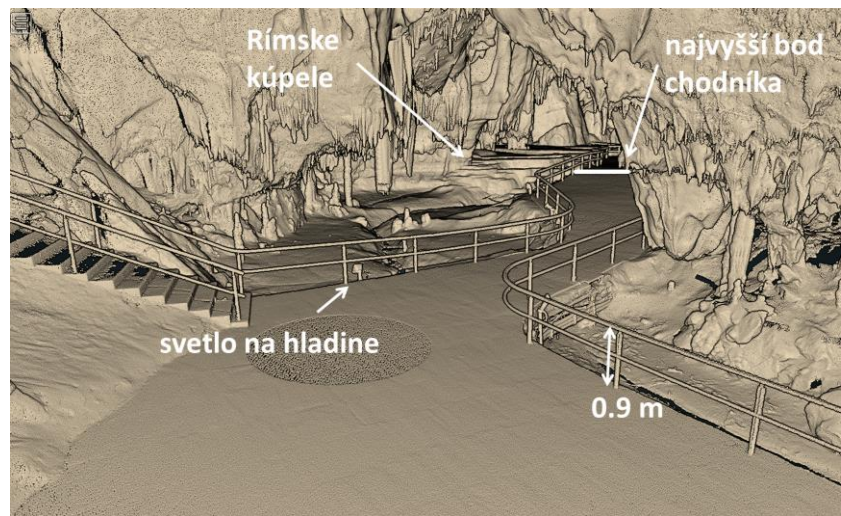


Povodeň 19.07.2021 (Zdroj: noviny.sk)

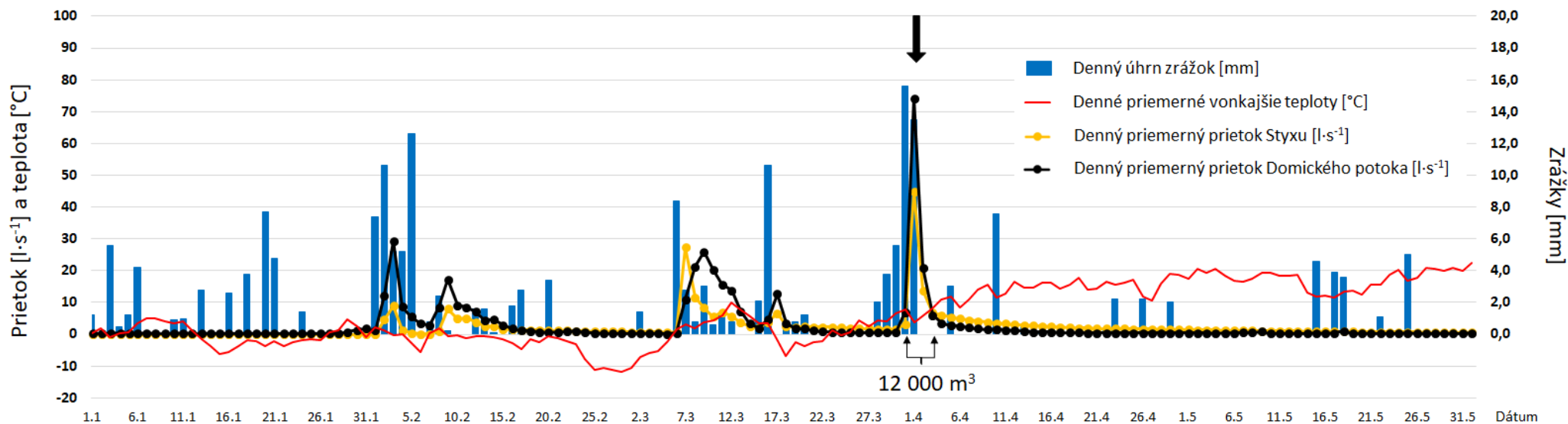


Hydrologické modely - príklad

- Obmedzenie prevádzky sprístupnenej časti
- Riziko poškodenia infraštruktúry a výzdoby

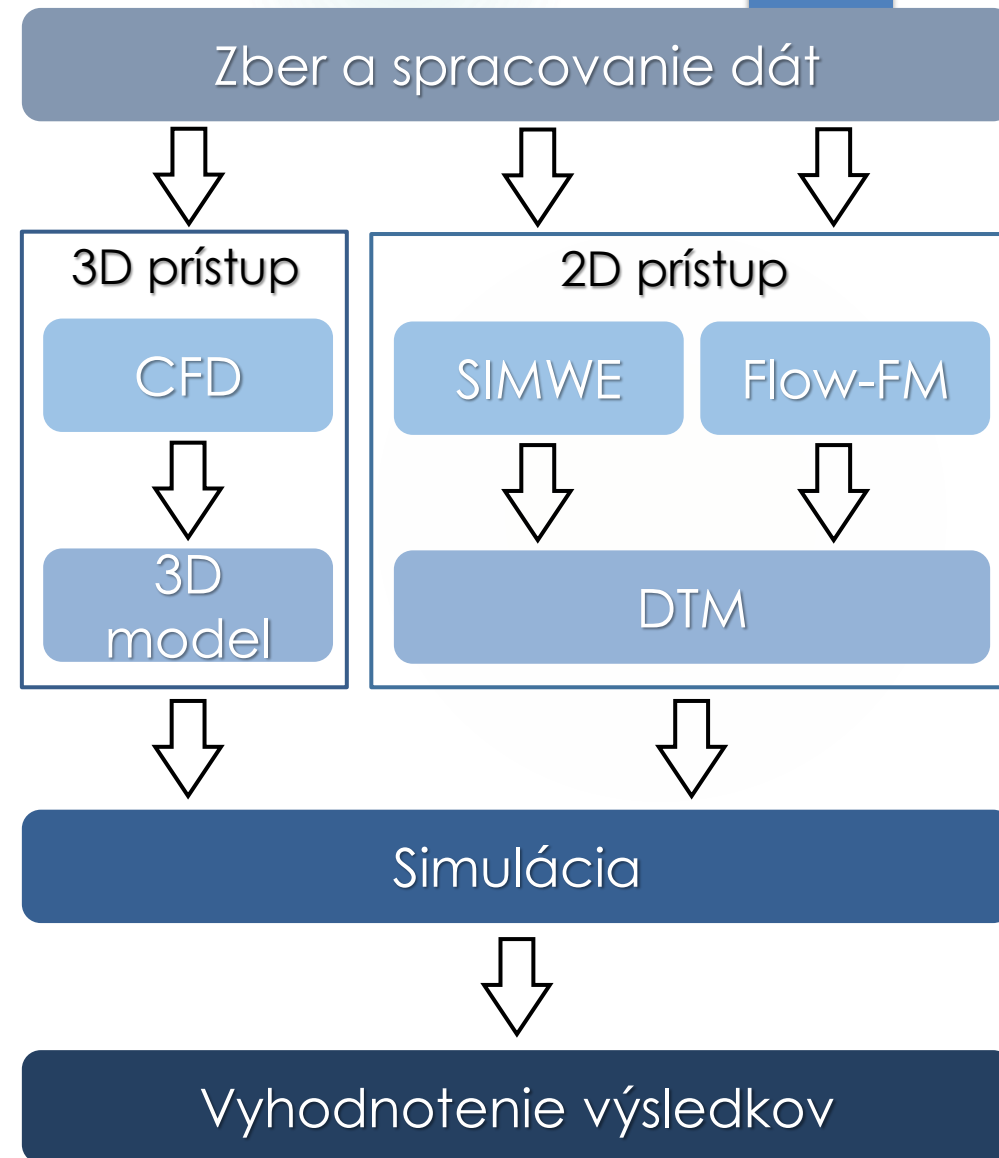
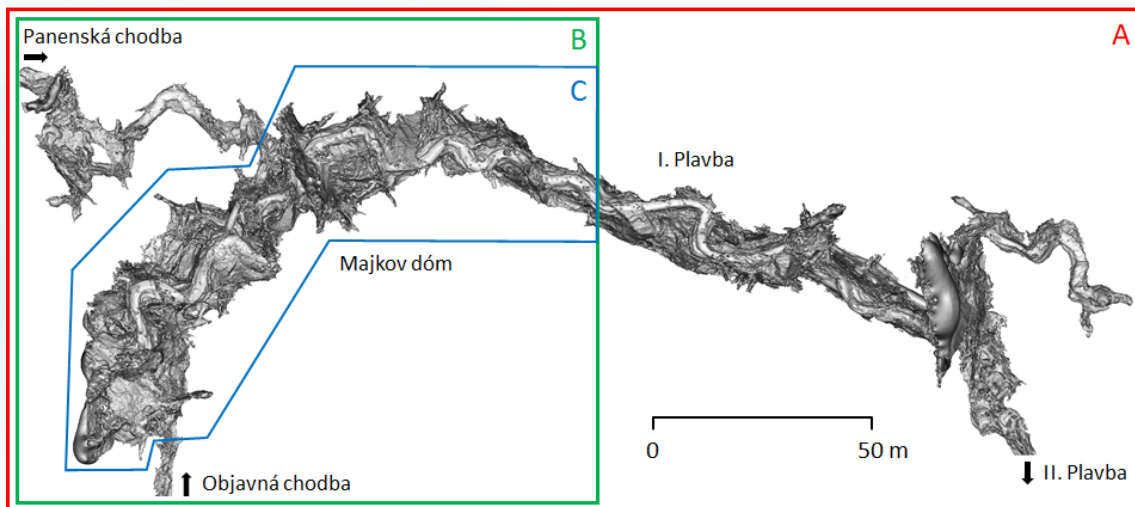


Povodeň 10.02.2016 (Foto: Z.Hochmuth)



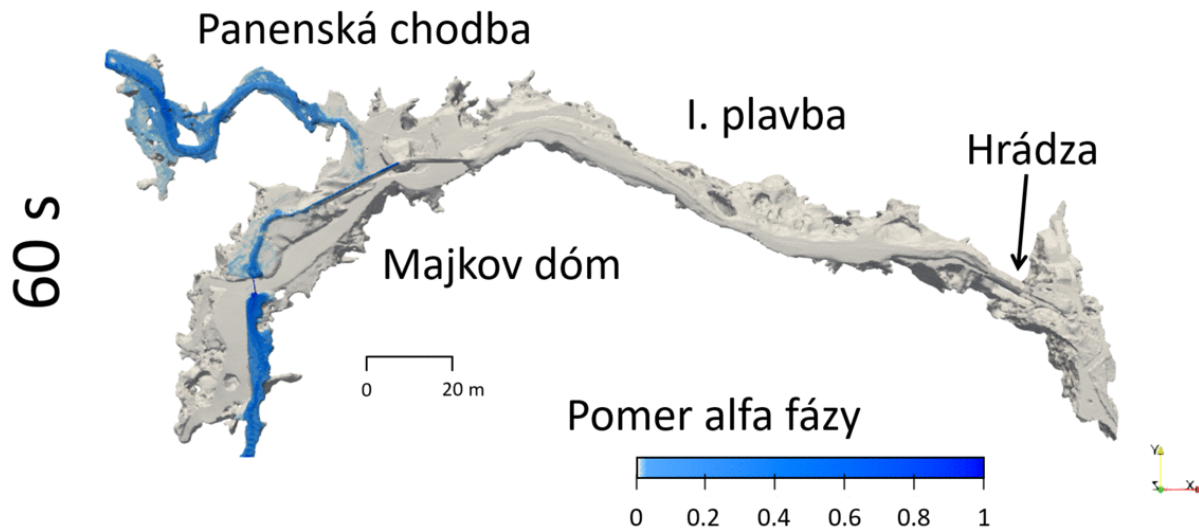
Hydrologické modely - príklad

- ▶ Modelovanie sa zvyčajne realizuje vo forme hydrogramov a zásobníkových modelov
- ▶ Výber z fyzikálnych hydrodynamických metód



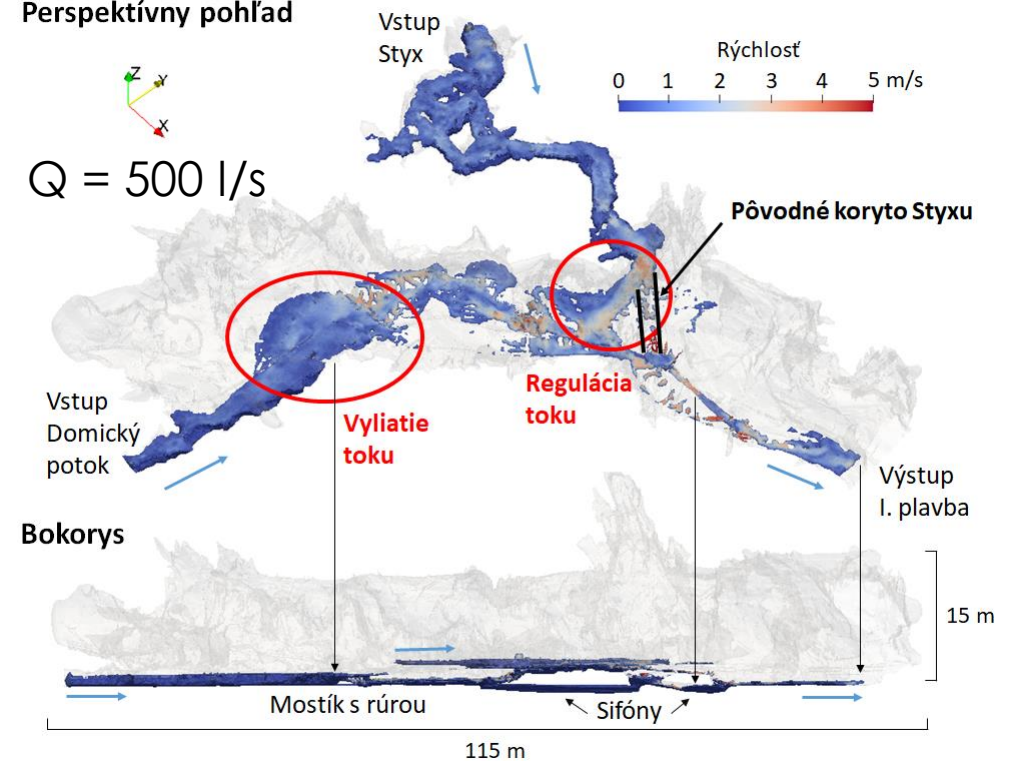
CFD - InterFoam

- Komplexný výpočtovo náročný 3D prístup
- Manuálna príprava geometrie objektov
- Odvodenie hexaédrového modelu
- Nastavenie hraníc a vstupov



1,6 mil. výpočtových buniek, rozlíšenie 1 až 0,06 m

Perspektívny pohľad

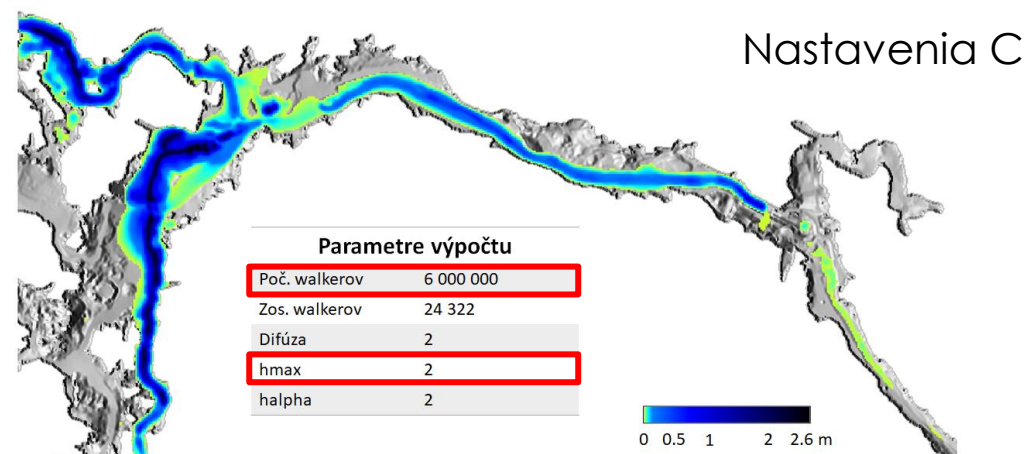
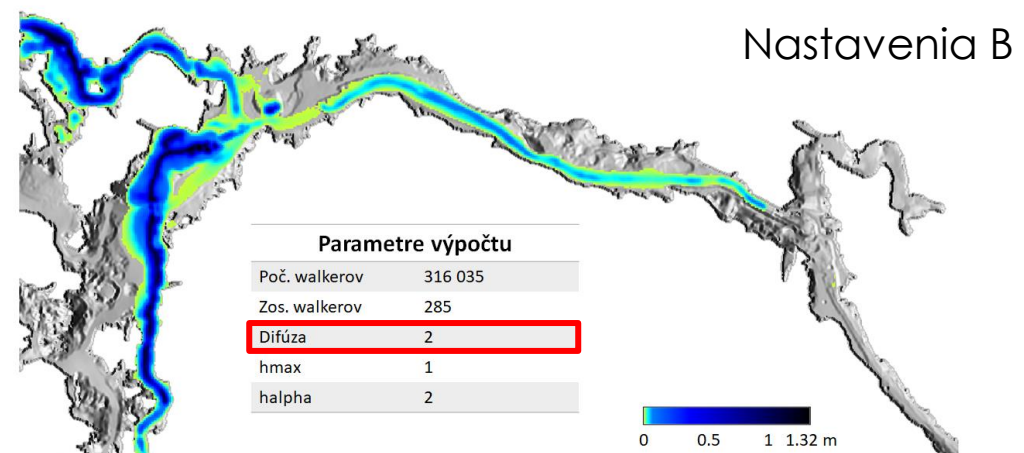
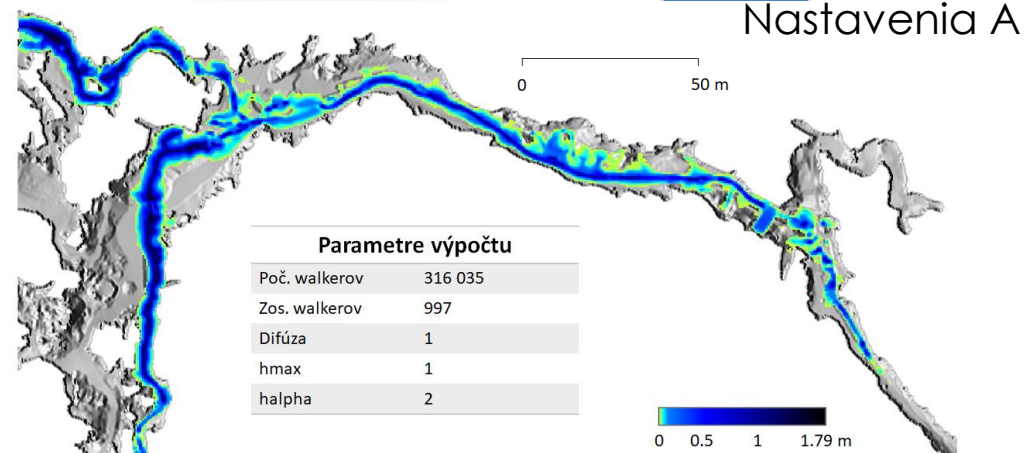
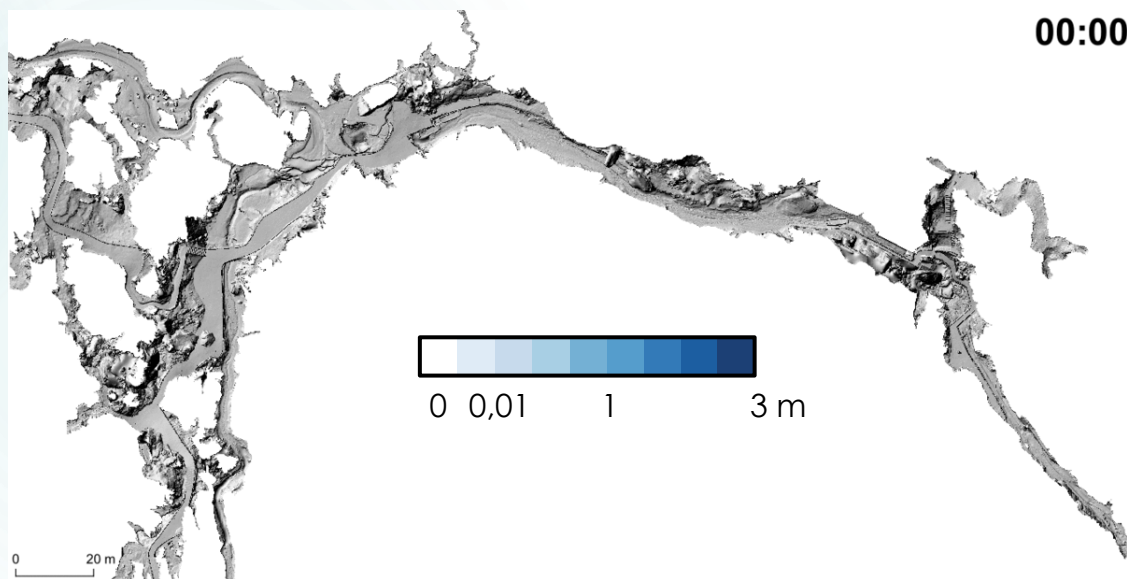


- Reálna povodňová vlna = 10 h
- 1s = 1 000 iterácií = 36 mil. iterácií
- 1h = 4s simulácie = **375 dní**
- **1h simulácie = 1 090h (45 dní)**

Pre optimalizáciu: Silnejší hardvér, zmena rozlíšenia, vytváranie zón, zníženie presnosti premenných, zmenšenie regiónu, zvýšenie C, prikázať Δt – nestabilita = pády simulácie

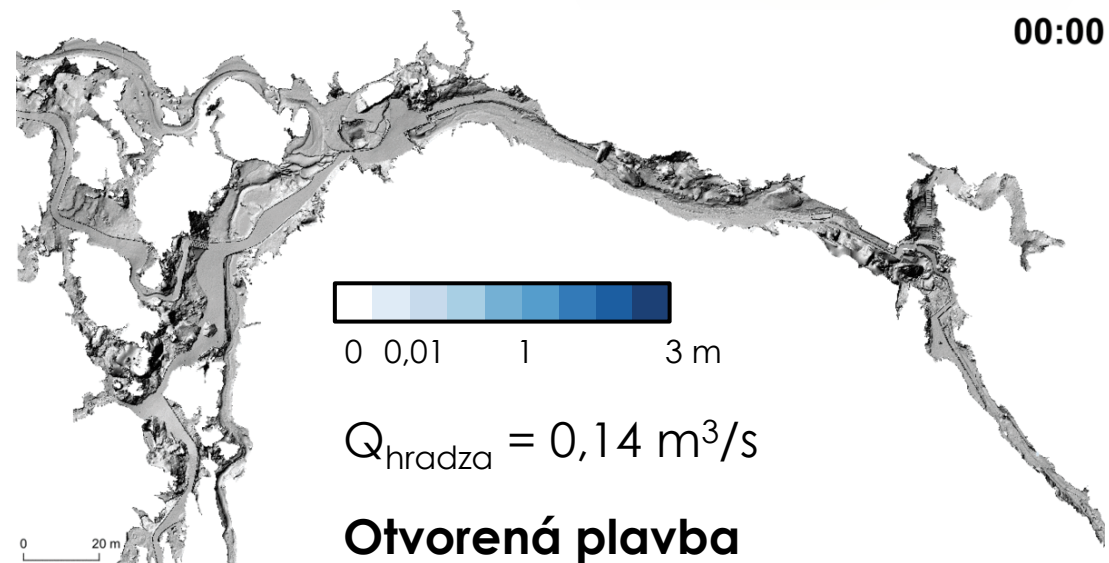
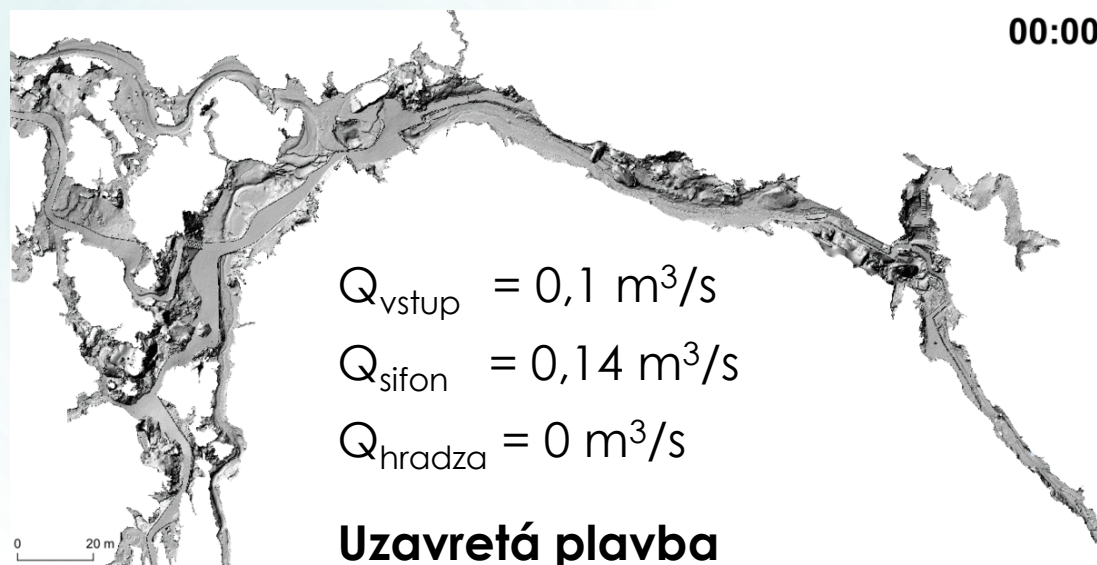
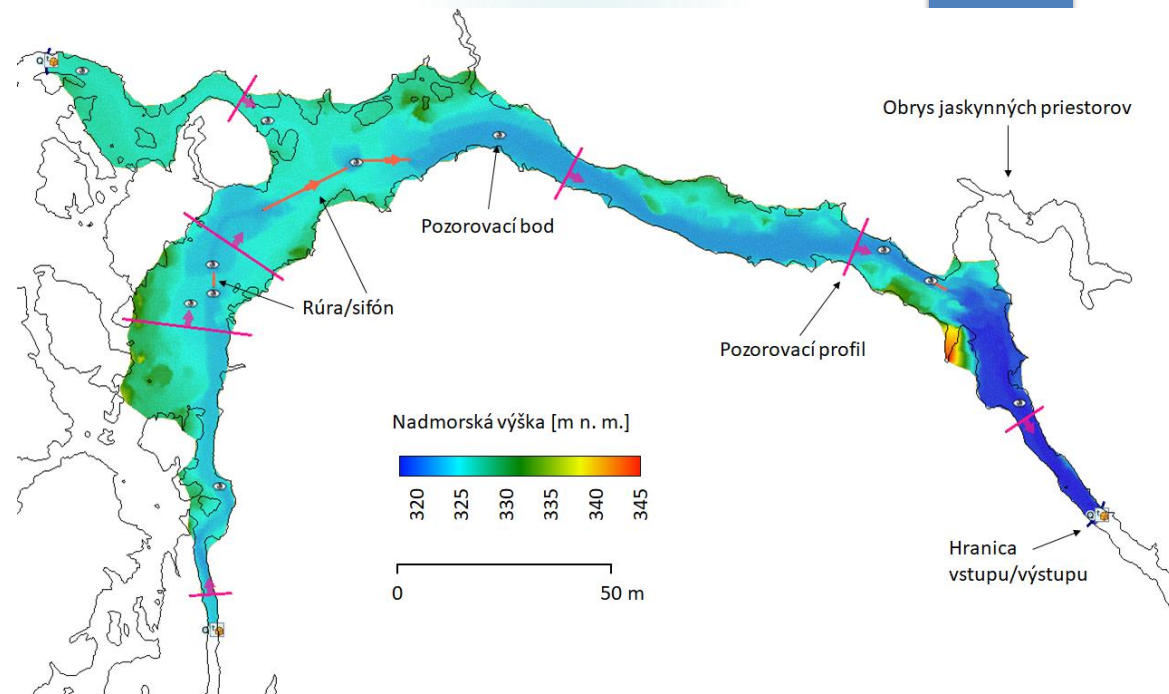
Grass GIS - SIMWE

- ▶ Aproximačný 2D prístup
- ▶ DTM jaskynnej podlahy z TLS
- ▶ Problémy so vstupom, parameter difúzie
- ▶ Výpočtová efektivita



Delft3D FM - FlowFM

- ▶ Hydrologický korektný model
- ▶ DTM jaskynnej podlahy z TLS
- ▶ Konverzia na výpočtový grid
- ▶ Kontrolné objekty

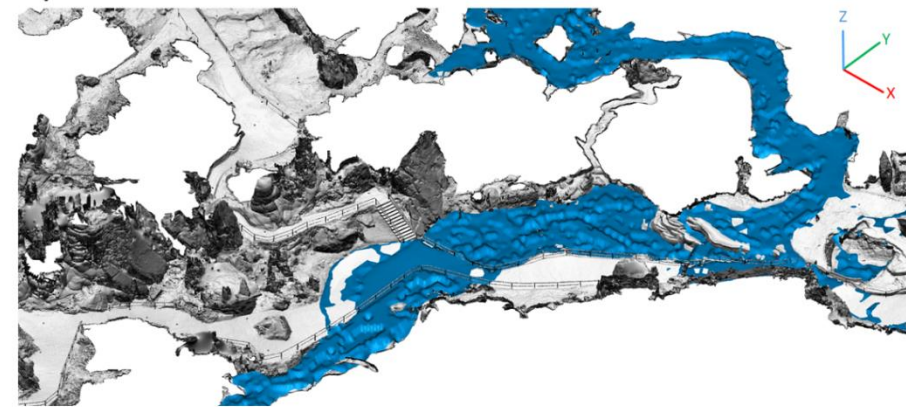


Zhrnutie

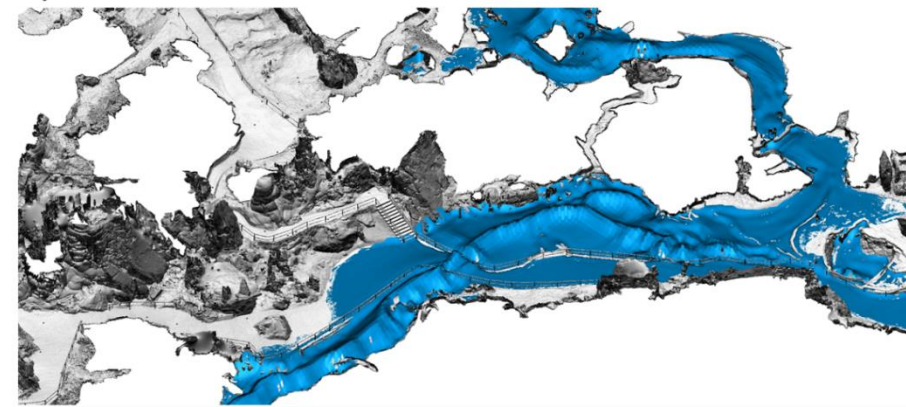
	CFD	SIMWE	FlowFM
Selekcia vodnej hladiny	-	+	+
Výpočtová efektivita	-	+	+
3D prístup	+	-	-
Nastavenie vstupného prietoku	+	-	+
Kontrolné objekty	-	-	+
Hodnovernosť	-	-	+
Celkové hodnotenie	-	-	+

- Podzemnú povodeň je možné modelovať za podmienky optimalizácie vstupných dát

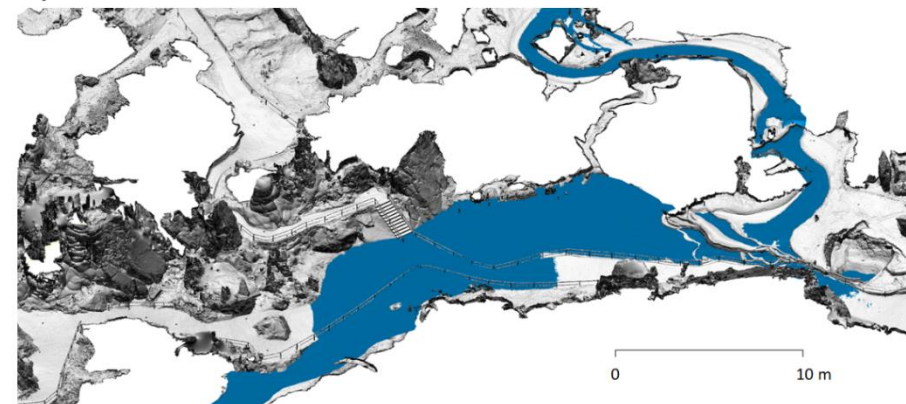
A) CFD



B) SIMWE

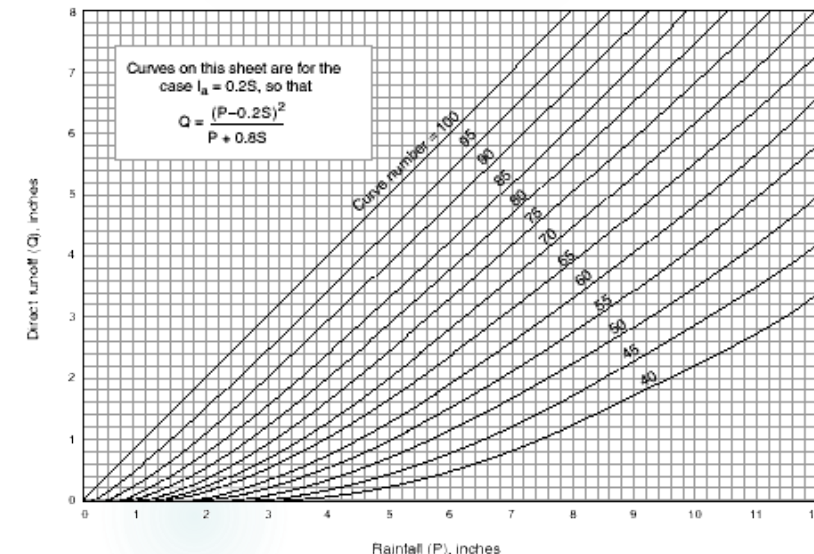
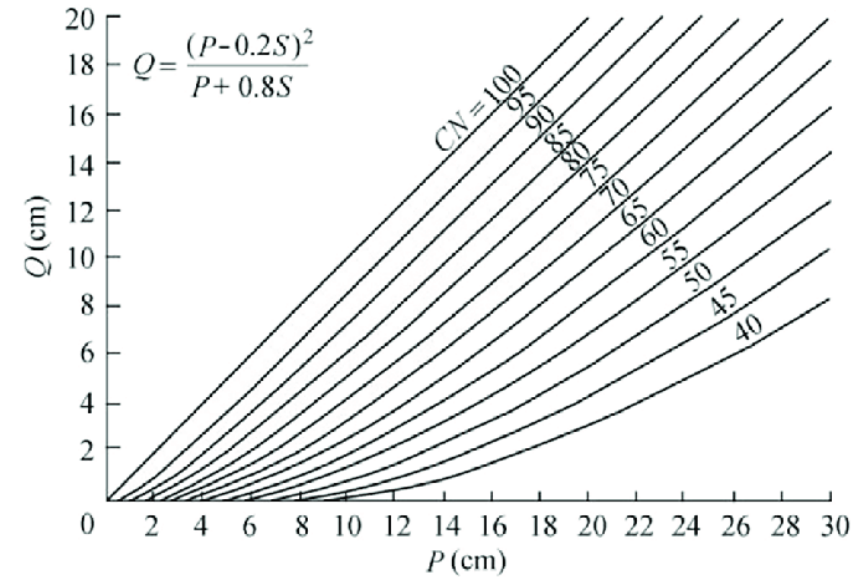


C) FlowFM



CN krivky

- ▶ Pre výpočet odtokových strát v každom pixely povodia sa používa metóda **CN-kriviek**, ktorá je v hydrologickej praxi najrozšírenejšia
- ▶ Metóda CN-kriviek bola vypracovaná Soil Conservation Service (SCS) v USA
- ▶ Metóda umožňuje stanovenie objemu „priameho odtoku“ a kulminačného prietoku na nezalesnených plochách, na využívaných povodiach, a na povodiach urbanizovaných, do veľkosti plochy zhruba 10 km² (SCS, 1986)
- ▶ Účelom metódy je kvantitatívne ohodnotenie hydrologických funkcií krajinných zložiek
- ▶ Metóda rieši jednoduché vzťahy medzi zrážkami a odtokom na hydrologických vlastnostiach pôd, počiatočným stavom nasýtenosti pôd a spôsobu využívania pôd a hydrologických podmienkach
- ▶ Odtok je predovšetkým určený množstvom zrážok, infiltračnými vlastnosťami pôdy, vlhkosťou pôdy, porušenosťou povrchu a retenčnými plochami a retenčnou pokrývkou
- ▶ Základným vstupom je úhrn zrážok v určitom časovom rozdelení, za predpokladu jeho rovnomerného rozdelenia po celej ploche povodia, objem zrážok je premieňaný na objem odtoku pomocou čísel odtokových kriviek, pričom ich hodnota je závislá na hydrologických vlastnostiach pôd, vegetačnom kryte, veľkosti nepriepustných plôch, intercepzii a povrchovej akumulácii
- ▶ čísla odtokových kriviek sú kategorizované podľa hydrologických vlastností pôd rozdelených do 4 skupín: A, B, C, D na základe minimálnej rýchlosti infiltrácie vody bez pokryvu pôd a dlhodobého nasycovania v využití pôdy, vegetačného pokryvu



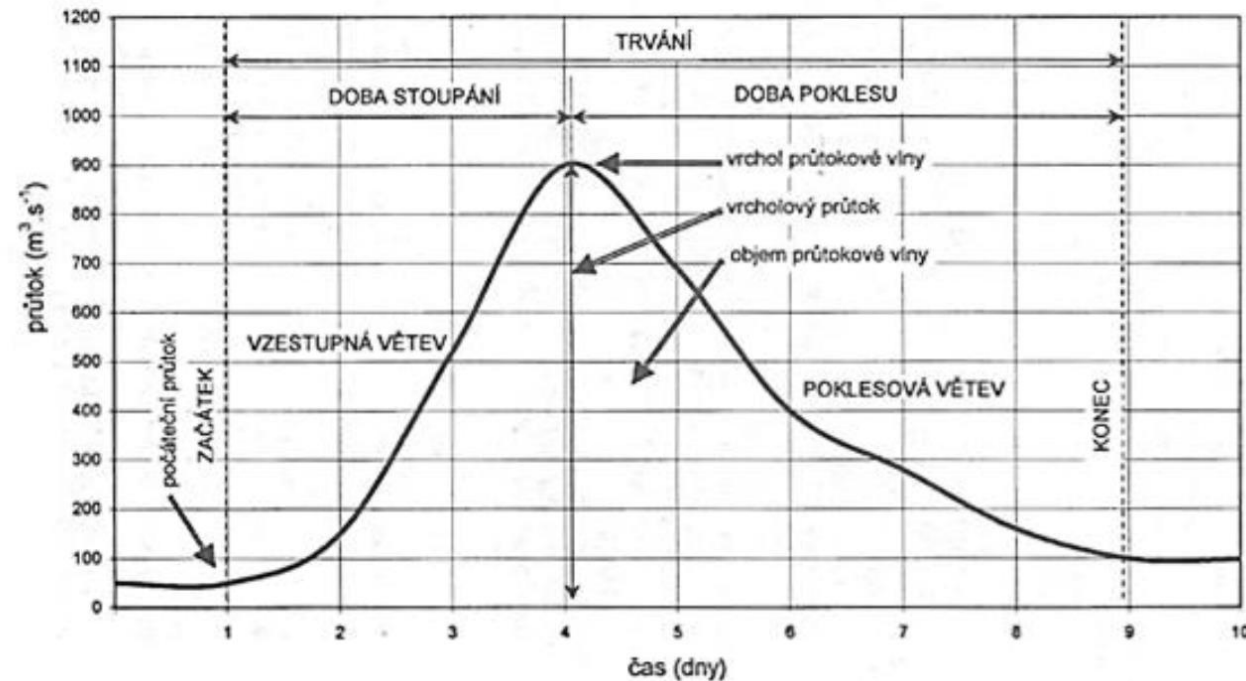
Extrémne javy v povodí

- ▶ **Povodeň** - situácia, pri ktorej množstvo vody prekročí z rôznych príčin prietochnú kapacitu koryta toku
- ▶ iná definícia povodne - náhle zväčšenie vodného stavu v dôsledku zrážkovej činnosti, ale taktiež zmenšením prietochnosti koryta, ako je napríklad ľadová zátka či bariéra zo splavených prekážok
- ▶ priebeh odtoku je popisovaný **prietokovou vlnou**, ktorá predstavuje prechodné zväčšenie a následný pokles prietokov a vodných stavov, vyvolaný dažďom, topením snehu, alebo umelými zásahmi
- ▶ povodne možno charakterizovať **kulminačným prietokom** - vrcholový objem vody, ktorý pretečie daným korytom za určitú jednotku času
- ▶ Typy povodní podľa príčiny:
 - ▶ **Dažďové povodne** – vyvolané zrážkami a podľa spôsobu vzniku, doby trvania a intenzity dažďa je možné ďalej rozdeliť na:
 - povodne z trvalých zrážok** - viazané hlavne na viacdenné trvalé zrážky
 - povodne z prívalových zrážok (flash floods)** - súvisia so zrážkami s krátkym trvaním (silná intenzita a často veľké lokálne škody)
 - ▶ **Zmiešané povodne** – najčastejšie spôsobené kombináciou topenia snehu a dažďových zrážok (môžu byť tiež sprevádzané ľadovými javmi) - k zhoršeniu situácie najčastejšie prispievajú ďalšie faktory, ako sú napríklad nerovnomerné poveternostné podmienky a kvapálne zrážky, ktoré prispievajú k zvýšeniu prietoku
 - ▶ **Ľadové povodne** – vznikajú po období dlhodobých mrazov, pri ktorých zamrzajú korytá riek. Po oteplení ľadová pokrývka riek popraská a kryhy sa dajú do pohybu (pochod ľadu) - nahromadené kryhy potom upchávajú korytá riek a spôsobujú zdvih hladiny aj pri menších prietokoch
 - ▶ **Snehové povodne** – vzniká náhlým topením snehu (najčastejšie v jarných mesiacoch), ktoré môžu byť sprevádzané ľadovými javmi

Extrémne javy v povodí

- **Popis povodňovej udalosti** - maximálny prietok je najväčší prietok v sledovanom priečnom profile vodného toku za zvolené obdobie.
- **prietoková vlna** - prechodné zväčšenie a následný pokles prietokov a vodných stavov (počas povodne – povodňová vlna)
- Prietoková resp. povodňová vlna je charakterizovaná:
 - **tvarem** - **začiatkom povodňovej vlny** (okamih, kedy dochádza k výraznému a rýchlemu zvyšovaniu prietoku)
najväčší povodňový prietok (vrcholová hodnota zodpovedajúca kulminačnému prietoku)
ukončenie prietokovej vlny (okamih, keď prietok klesne na počiatočné stavy na začiatku povodne)
 - **kulminačným (vrcholovým) prietokom**
 - **objemom** – celkové množstvo vody, ktoré preteklo korytom od začiatku do konca povodňovej vlny
 - **trvaním** - doba medzi začiatkom a koncom povodňovej vlny, trvanie sa skladá z **doby vzostupu**, **kulminačného prietoku**, a **poklesu**

Hydrogram prútokovej vlny a její prvky
(Podle V. Herbera, 1984)



Extrémne javy v povodí

► Opatrenia proti povodňam:

- dostatočná výška mostov, pokiaľ možno bez väčšieho počtu pilierov
- vybavenie prejazdov na menších tokoch pohyblivými konštrukciami
- uvoľnenie kritických miest v záplavových územiach tokov (povoľovanie stavieb, zmeny územných plánov, zamedzenie ukladaniu voľných plávajúcich materiálov a drobných stavieb atď.)
- vybaviť kanalizačné vyústenia ovládateľnými klapkami
- navrhovať a realizovať protierózne opatrenia na poľnohospodárskych pôdach
- zabezpečiť, aby sa korytá čo najviac približovali prirodzeným, t.j. misovitým tvarom alebo tvaru lichobežníka
- definovať a vyznačiť miesta pre rozliv v odľahlých priestoroch chránených hrádzami, bočnými nádržami a pod.

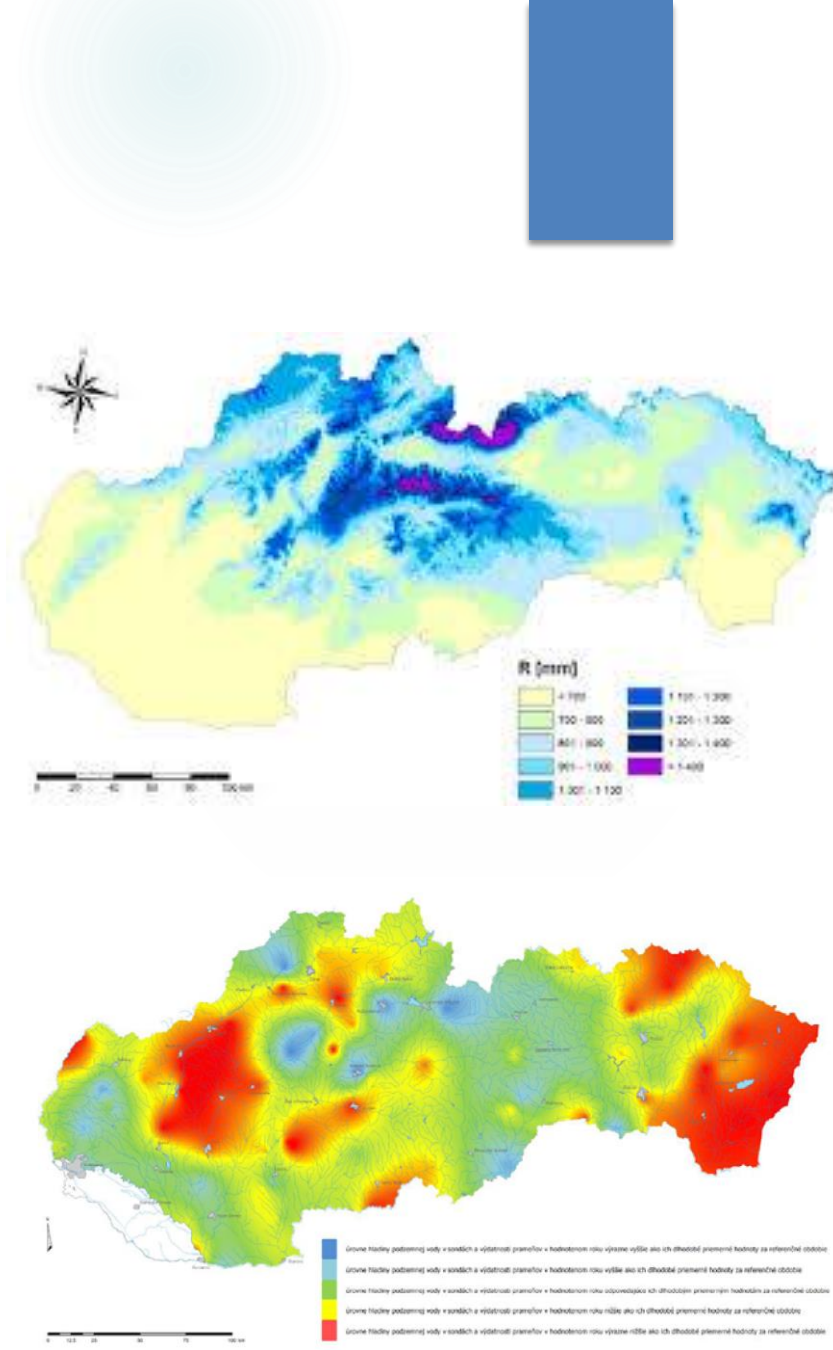
► Veľkú úlohu pri protipovodňovej ochrane hrá vegetácia v povodiach:

- dobrý stav lesov
- existencia trvalých trávnatých porastov (dobré infiltračné vlastnosti na kritických lokalitách)
- hospodárenie na poľnohospodárskej pôde, ktoré má dobré infiltračné vlastnosti a nie je príčinou nežiadúceho povrchového odtoku a zrýchlenej erózie a kedy pôda nie je zhutnená



Extrémne javy v povodí

- ▶ **Sucho** - deficit, ktorý nastáva, keď pôdna vlhkosť nestačí pokryť požiadavky pôdnej potenciálnej evapotranspirácie (nedostatok vody)
- ▶ Vo svete možno rozlíšiť tri skupiny sucha (Critchfield, 1984):
 - a) **stále sucho** spojené s aridnými podnebiami
 - b) **sezónne sucho**, ktoré sa vyskytuje ako zreteľné každoročné obdobie suchého počasia;
 - c) **sucho spôsobené premenlivosťou zrážok**
- ▶ **V našich podmienkach je sucho:**
 - ▶ **1 Meteorologické** - výskyt obdobia s nedostatkom zrážok
 - ▶ **2 Hydrologické** - obdobie, keď povrchové toky za určitý počet dní, týždňov, mesiacov alebo rokov vykazujú extrémne nízke prietoky v porovnaní s dlhodobými mesačnými alebo ročnými normálmi - obvykle sa objavuje ku koncu dlhého obdobia sucha, keď neprichádzajú kľúčové zrážky, môže sa vyskytovať aj vtedy, keď meteorologické sucho pominulo
 - ▶ **3 Poľnohospodárske (agronomické)** - nedostatok vody v pôde, ovplyvnený predchádzajúcim a dlhodobým výskytom meteorologického sucha
 - ▶ **4 Socioekonomické** - zahŕňa nedostatok vody, ktorý spôsobuje ekonomické a sociálne problémy, napríklad zníženie dostupnosti vody pre hospodárske činnosti
- ▶ **Dezertifikácia** - premena ornej pôdy na púšť v dôsledku dlhodobého sucha alebo nevhodných zásahov človeka, ako je neudržateľné poľnohospodárstvo alebo erózia



Klasifikácia režimu odtoku svetových tokov

- Okrem nepretržitej zmeny okamžitých prietokov môžeme v režime odtoku počas roka sledovať určité, pravidelne sa opakujúce zmeny prietokov = **režim odtoku**

- **M. I. Lvočic** svoju klasifikáciu typov riek postavil na **zdroji vodnosti** a **rozdelenia odtoku počas roka** na jednotlivé úrovne

- **Zdroje vodnosti:**

- dážď (R)
- sneh (S)
- ľadovec (G)
- podzemná voda (U)

- **Pri rozdelení odtoku počas roka sa používajú ročné obdobia:**

- jar (P)
- leto (E)
- jeseň (A)
- zima (H)

Percentuálny podiel	Zdroj zásobovania	Ročné obdobie
viac ako 80%	R [*] , S [*] , G [*] , U [*]	P ^{**} , E ^{**} , A ^{**} , H ^{**}
50 % - 80%	R-x, S-x, G-x, U-x	P-y, E-y, A-y, H-y
menej ako 50%	r-x, s-x, g-x, u-x	p-y, e-y, a-y, h-y
[*] z angl. R – Rain (dážď), S – Snow (sneh), G – Glacier (ľadovec), U – Underground Water (podzemná voda)		
^{**} z franc. P – Printemps (jar), E – Été (leto), A – Autumn (jeseň), H – Hiver (zima)		

- Každý zdroj zásobovania a ročné obdobie sa člení na 3 skupiny podľa toho, akým percentuálnym podielom sa zdroj vodnosti zúčastňuje na odtoku a v ktorom ročnom období je realizovaný

- Neprehľadnú stupnicu 38 kombinácií zjednodušil na základe oblastí, ktorými rieky pretekajú s približne rovnakým charakterom a vybral ich ako predstaviteľov daného typu
- 12 základných skupín, ktoré označených podľa riek a podľa oblastí, ďalej ich delí na pásmové a nepásmové

- Naše rieky patria k **Oderskému typu**

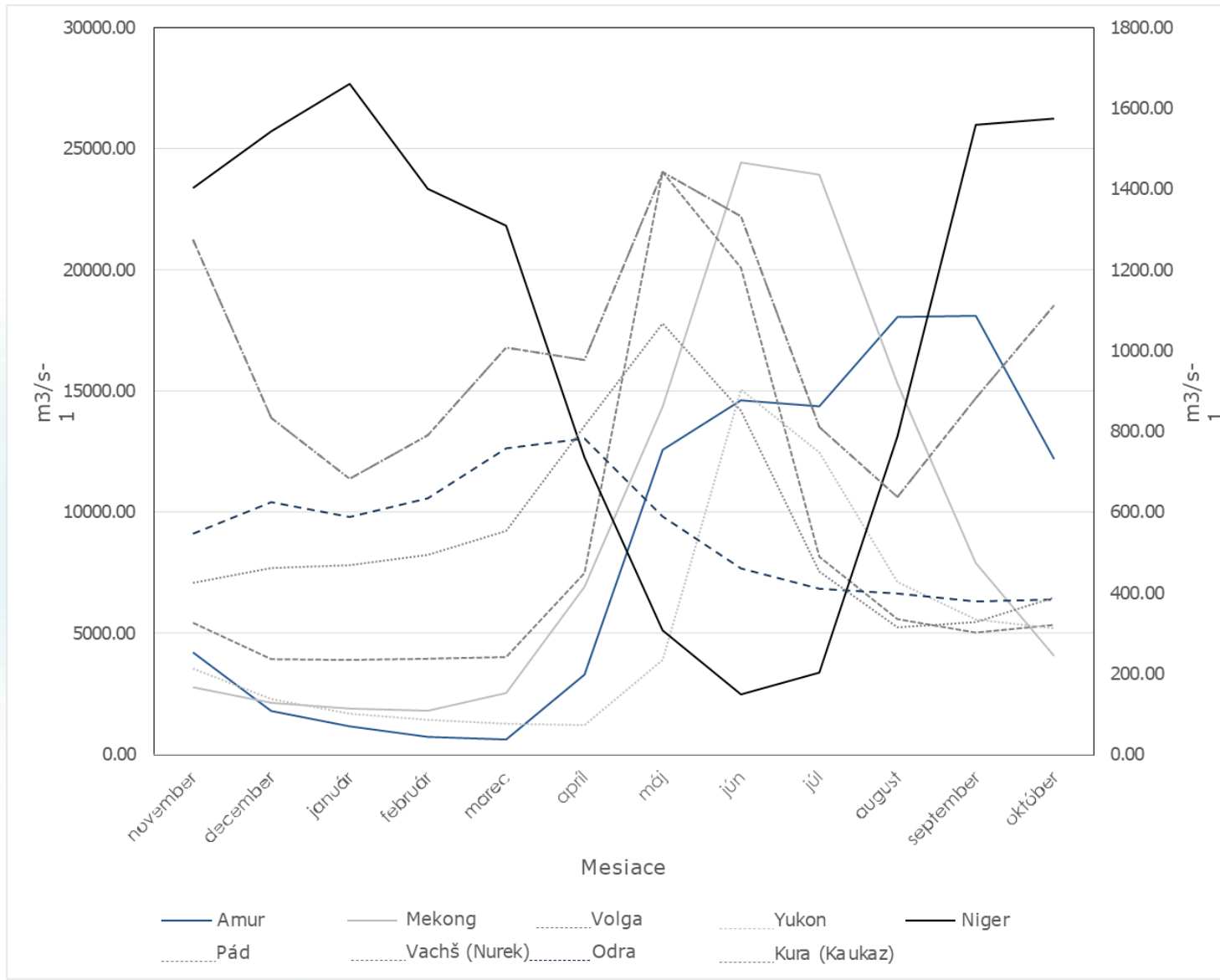
Pásmový typ		Nepásmový typ
1 amazonský	6 oderský	11 kaukazský
2 nigerský	7 volžský	12 loanský
3 mekongský	8 yukonský	
4 amurský	9 nurský	
5 stredomorský	10 grónsky	

Klasifikácia režimu odtoku svetových tokov

- **M. Pardé** klasifikuje toky na základe **počtu maxim a miním v roku**. Toto primárne kritérium dopĺňa kritériom **zdroja vodnosti**, pričom tento zdroj vyjadruje buď priamo (dažďový typ, snehový typ, atď), alebo nepriamo pomocou oblasti (mediteránny typ, jurský typ, pyrenejský typ, atď).
- Výsledkom je podrobná ale pomerne zložitá klasifikácia, ktorú autor samozrejme doplnil podrobnou charakteristikou jednotlivých typov
- Na základe počtu maxim a miním vyčleňuje 2 základné typy riek:
 - **Rieky s jednoduchým režimom** – dosahujú počas roka jedno výrazné maximum a jedno minimum, ďalej sú charakteristické veľkým rozdielom medzi maximom a minimom a územie, v ktorom sa nachádza ich povodia, možno považovať klimaticky za jednotné
 - **Rieky s komplexným režimom** – okrem hlavného maxima a minima dosahujú ešte ďalšie zvýšenie alebo zníženie prietokov
- **Rieky s komplexným režimom** ďalej člení nasledovne:
 - **Rieky prvého rádu** – sú to rieky s komplexným režimom, ktoré dosahujú počas roka 2 až 3 maximá a minimá
 - **Rieky druhého rádu** – sú to rieky s premenlivým komplexným režimom odtoku. Patria sem rieky, ktoré v rôznych častiach svojho povodia buď striedajú režimy odtoku, čo je spôsobené zmenou zdroja napájania (napr. Rýn), alebo sem patria rieky, ktorých dominantným zdrojom vodnosti je dážď, ale pretekajú cez rôzne klimatické oblasti (Nil, Niger)

Typ (subtyp)	maximum	minimum
Rieky s jednoduchým režimom		
1. Rieky s glaciálnym režimom (Rhône – Gletsch)	VII, VIII	II, III
2. Rieky s oceánickým dažďovým režimom (Seina – Paris) Ako jediné so skupiny riek s jednoduchým režimom odtoku nemajú výrazný rozdiel medzi minimom a maximum	I-III	VII-IX
3. Rieky s tropickým dažďovým režimom <ul style="list-style-type: none">• na severnej pologuli:• na južnej pologuli:	VII, VIII, IX II, III, IV	II, III, IV VII, VIII, IX
4. Rieky so snehovým režimom pohorí (Rýn – Feisberg) Pomalý, postupný nárast prietokov	VI	II, III
5. Rieky so snehovým režimom nížin (Dneper – Kamenka, Volga – Kirov) Rýchly nárast prietokov	IV, V, VI	II, III, IV
Typ (subtyp)	1. maximum	2. maximum
Rieky s komplexným režimom 1. rádu		
1. Snehovo-prechodný typ (Drac – Sautet)	VI	XI, XII
2. Snehovo-dažďový typ (Emme – Emmenmatt)	IV, V	XI, XII
3. Dažďovo-snehový <ul style="list-style-type: none">1. maximum – dážď zosilnený topením snehu, 2. maximum – spôsobené dažďom3.1. Jurský typ (Orbe – Granges)3.2. Stredomorský (mediteránny) typ (Tiber – Rím)3.3. Pyrenejský typ (Gave d'Aspe – Bidos)3.4. Kontinentálny typ strednej Európy (Nisa – Klódzko) a Appalačského pohoria (Susquehanna – Harrisburg)3.5. Snehovo-dažďový typ rieky Mississippi (Mississippi – Hannibal)	II, III, IV, V	X, XI, XII, I, VI
4. Dažďový typ s dvoma maximami		
5. Typ s viac ako dvoma maximami <ul style="list-style-type: none">1. maximum – spôsobené topením snehu2. maximum – spôsobené búrkami3. maximum – spôsobené monzúnovou cirkuláciou Tento subtyp je rozšírený najmä v oblasti SZ Japonska J. Marcinek však tento typ uvádza aj na predhorí Álp, kde prvé maximum je spôsobené dažďom spojené s topením snehu (Marec), druhé letnými búrkami (Júl) a tretie zo zimných dažďov prichádzajúcich od oceánu (November).		
Rieky s komplexným režimom 2. rádu		
1. Snehovo alebo ľadovcovo-prechodný typ (Indus, Ganga)	VI	XI, XII
2. Snehovo-dažďový typ (Rýn, Missouri)	VI, V	XI, XII
3. Snehový typ s dvomi, resp. viacerými dažďovými epizódami (Mississippi, Dunaj, Rhôna)	VI, V	XI, XII
4. Dažďový typ s dvomi alebo tromi dažďovými epizódami (Nil, Niger, Kongo, Amazonka)	VI, V	XI, XII

Hydrogramy priemerných mesačných prietokov vybraných tokov



Klasifikácia režimu odtoku Slovenských tokov

- ▶ Dub konštatoval, že z hľadiska zdroja vodnosti patria všetky slovenské toky do skupiny R-x (podľa L'voviča) Z hľadiska režimu odtoku vysokohorskú oblasť zaraďuje do skupiny e-y, stredohorskú a vrchovinno-nížinnú oblasť do skupiny p-y
- ▶ **Vysokohorská oblasť:** oblasť našich najvyšších pohorí, je charakteristická dlhotrvajúcou snehovou pokrývkou, vysokým priemerným ročným úhrnom zrážok a nízkou priemernou ročnou teplotou vzduchu. Maximálne mesačné prietoky sa vyskytujú v máji a júni, minimálne mesačné prietoky v januári a februári. Územie je charakterizované vysokou vodnatosťou, ktorú možno dokumentovať na špecifickom odtoku, ktorý dosahuje vo Vysokých Tatrách hodnoty $40 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, v ostatných oblastiach $30 - 35 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Vysoký je aj koeficient odtoku, ktorý v tejto oblasti dosahuje hodnoty $70 - 90 \%$. Typ režimu odtoku možno charakterizovať ako prechodne **snehový**.
- ▶ **Stredohorská oblasť:** dochádza k pravidelnej akumulácii snehu a k pravidelnému premŕzaniu pôdy, čo spôsobuje výrazný pokles mesačných prietokov. Maximálne mesačné prietoky sú v apríli, minimálne v septembri a októbri. Celkový odtok je menší ako z predchádzajúcej oblasti. Priemerný špecifický odtok dosahuje v hornej časti hodnoty $20 - 30 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ v dolnej cca $15 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Zo zrážok odtečie $40 - 60 \%$. Koeficient odtoku (pomerný podiel odtekajúcej vody) je teda nižší. Typ režimu odtoku možno charakterizovať ako **snehovo-dažďový**.
- ▶ **Vrchovinno-nížinná oblasť:** typická nestálosť zím, nestála snehová pokrývka, ako i nepravidelné premŕzanie pôdy. Spôsobuje to, že sa zima neprejavuje výrazným poklesom mesačných prietokov. Miestne toky dosahujú maximálne mesačné prietoky vo februári a v marci, minimálne v auguste a septembri. Priemerný špecifický odtok dosahuje v nížinách hodnoty $1,5 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ a vo vrchovinách $7 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Koeficient odtoku sa pohybuje od 10% do 30% . Typ režimu odtoku možno charakterizovať ako **dažďovo-snehový**.

▶ Klasifikácia tokov podľa Duba:

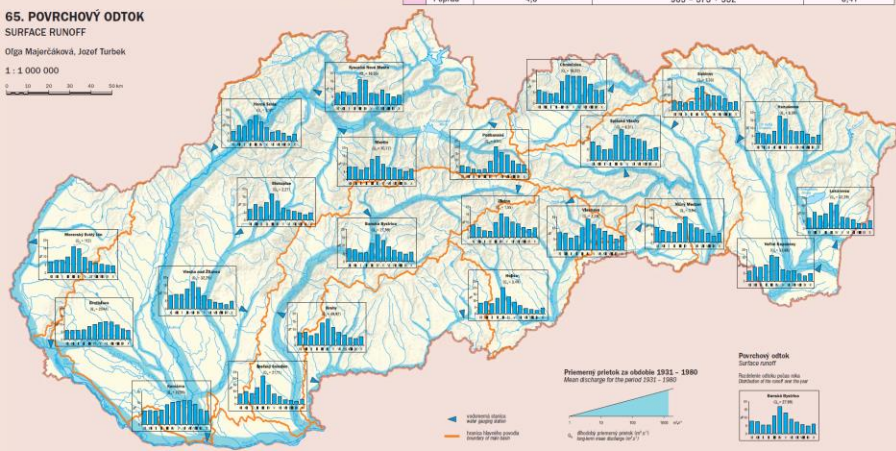
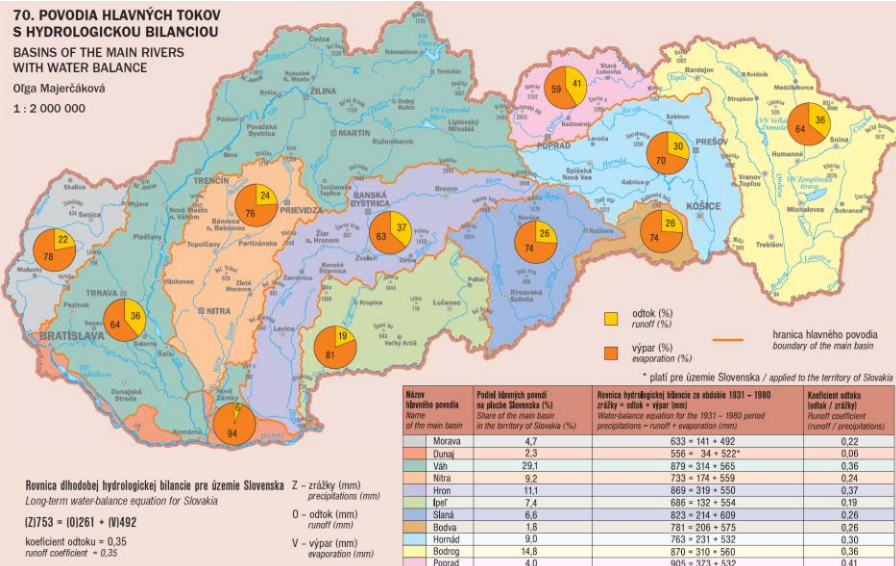
Charakter oblasti	Stupeň	Podiel ročných období na odtoku (v %)			
		Zima	Jar	Leto	Jeseň
Vysokohorská	A1	5,8	27,7	46,0	20,5
	A2	16,2	31,0	30,8	22,0
Stredohorská	B1	15,3	36,8	24,0	23,9
	B2	17,4	39,5	21,0	22,1
Vrchovinná Nížinná	C1	21,1	42,2	17,9	18,8
	C2	24,1	45,6	14,6	15,7

▶ Typy režimu odtoku podľa Šima a Zaťka:

Oblasť	Typy režimu odtoku	Základné hydrologické charakteristiky				
		akumulácia	vysoká vodnosť	najvyššie Q_{ma}	najnižšie Q_{ma}	podružné zvýšenie vodnosti koncom jesene a začiatkom zimy
vysokohorská	prechodne snehový	X-III, (IV)	IV-VII (VIII)	V-VI (VII>IV)	I-II	nevýrazné
stredohorská	snehovo - - dažďový	XI-III	IV-VI	V (VI>IV)	I-II	nevýrazné
		XI-II	III-V	IV (V>III) (V<III)	I-III IX-X	mierne výrazné
vrchovinno- -nížinná	dažďovo - - snehový	XII-II	III-IV	III (IV>II)	IX	výrazné
		XII-I	II-IV	III (IV>II)	IX	výrazné

Typy režimu odtoku

- Spracovanie bolo urobené na základe máp klimatických oblastí a klimatogeografických typov. Na rozdiel od O. Duba autori nedelili vysokohorskú oblasť na dve podoblasti

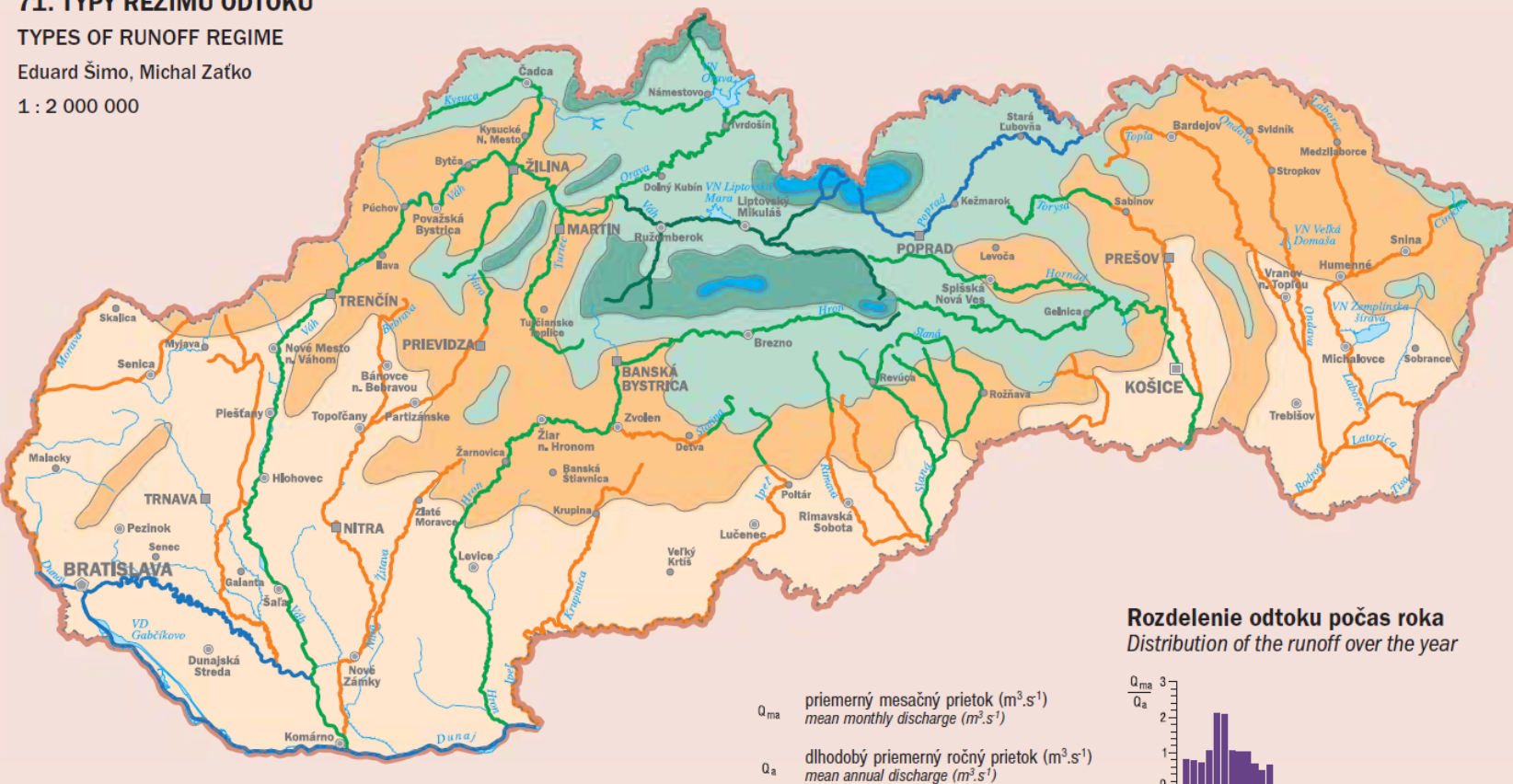


71. TYPY REŽIMU ODTOKU

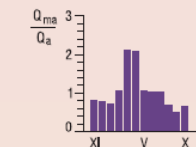
TYPES OF RUNOFF REGIME

Eduard Šimo, Michal Zaťko

1 : 2 000 000



Rozdelenie odtoku počas roka Distribution of the runoff over the year



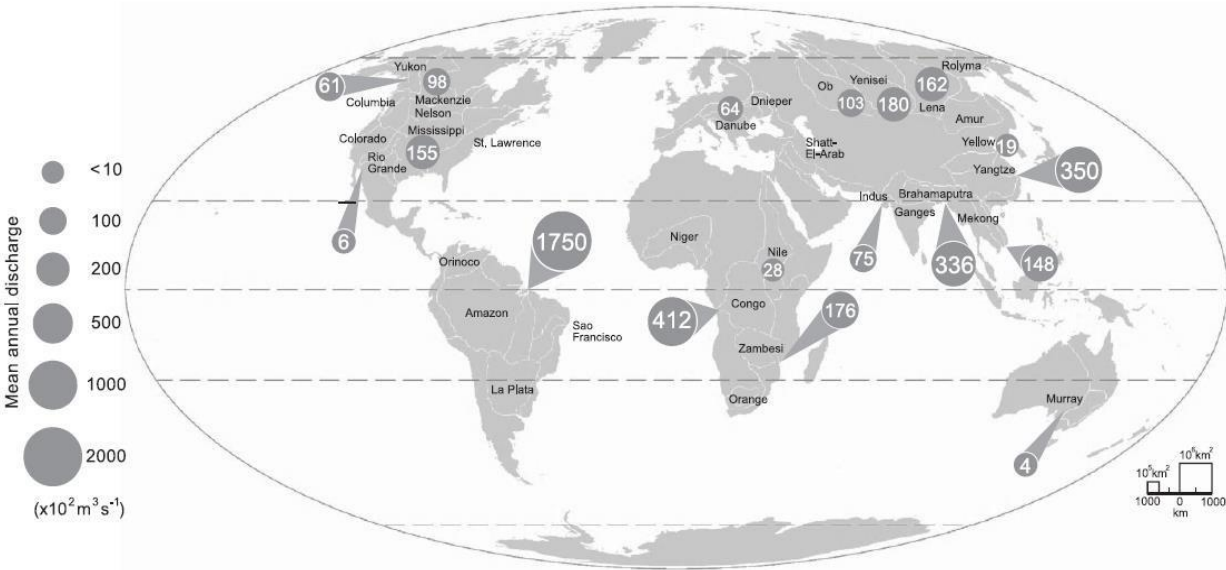
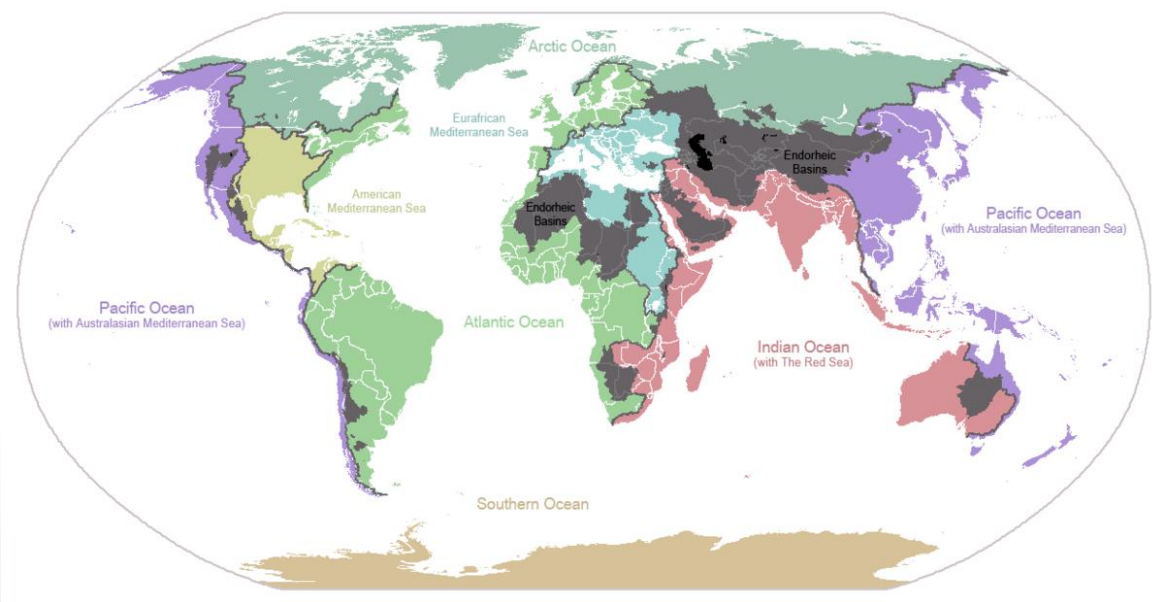
Q_{ma} priemerný mesačný prietok ($m^3 \cdot s^{-1}$)
mean monthly discharge ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Q_a dlhodobý priemerný ročný prietok ($m^3 \cdot s^{-1}$)
mean annual discharge ($m^3 \cdot s^{-1}$)

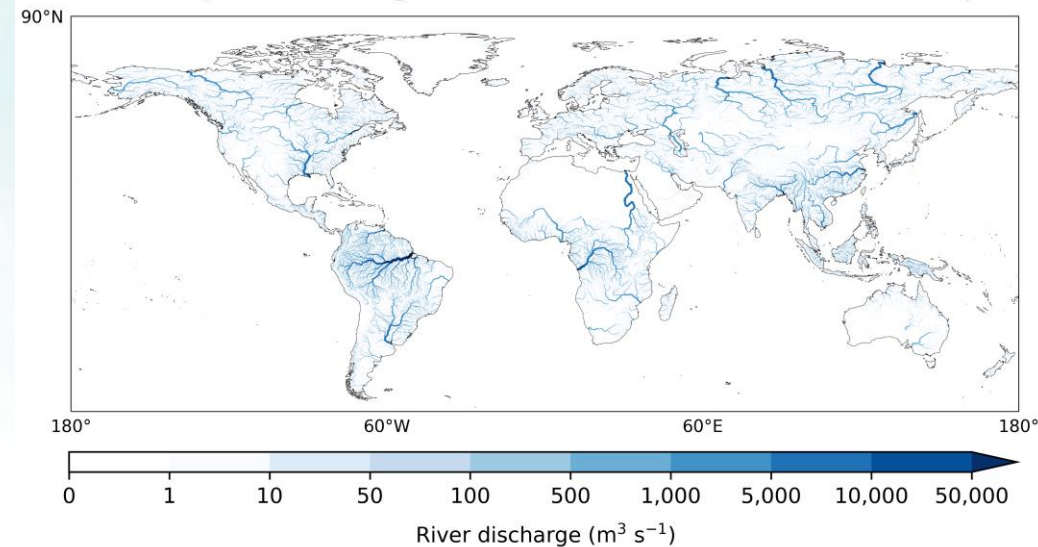
Oblasť Area	Typy režimu odtoku Types of runoff regime	Základné hydrologické charakteristiky / Basic hydrological characteristics				
		akumulácia accumulation	vysoká vodnosť high water bearing	najvyššie Q_{ma} maximum Q_{ma}	najnižšie Q_{ma} minimum Q_{ma}	podružné zvýšenie vodnosti koncom jesene a začiatkom zimy secondary increase of water bearing at the end of the autumn and the beginning of winter
Vysokohorská High-mountain	prechodné snehový temporary snow	X - III (IV)	IV - VII (VIII)	V - VI (VII > IV)	I - II	nevýrazné not distinct
Stredohorská Middle-mountain	snehovo-dažďový snow-rain combined	XI - III	IV - VI	V (VI < IV)	I - II	nevýrazné not distinct
		XI - II	III - V	IV (V > III) (V < III)	I - II IX - X	mierne výrazné slightly distinct
Vrchovinno-nížinná Upland-lowland	dažďovo-snehový rain-snow combined	XII - II	III - IV	III (IV > II)	IX	výrazné distinct
		XII - I	II - IV	III (IV < II)	IX	výrazné distinct

Obdobie pozorovania / Period of observation: 1931 - 1980

Priemerný odtok v najväčších povodiach sveta



Mean daily river discharge from 1979-2018 for GloFAS v3.1 reanalysis



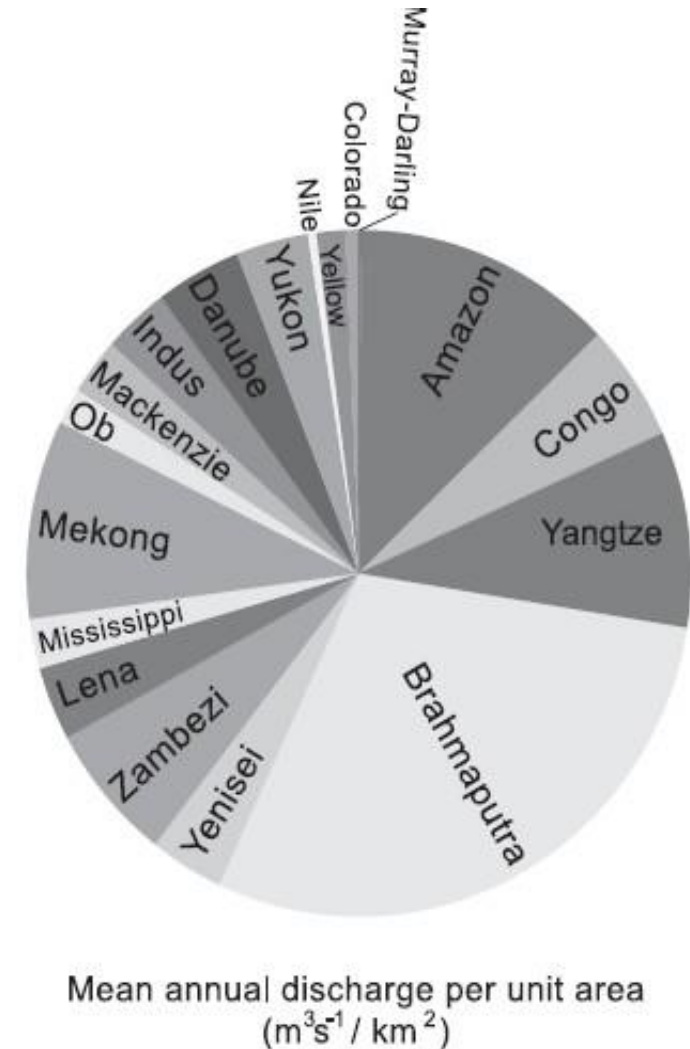
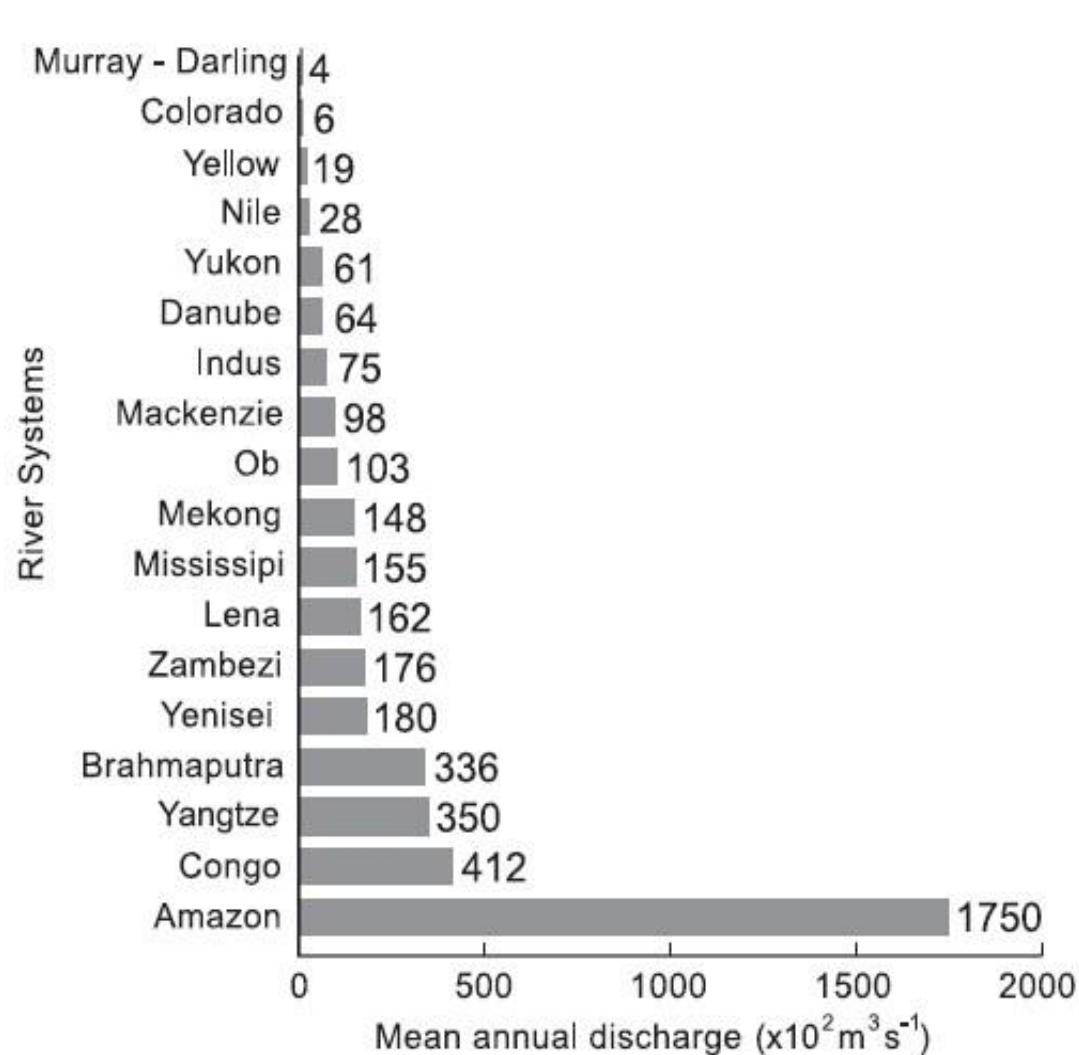
► Zoznam riek podľa prietoku

No	Continent	River	Average discharge (m ³ /s)	Length (km) • (miles)	Drainage area (km ²)	Outflow	Type
1	South America	Amazon	224,000	6,992 4,344	6,915,000	Atlantic Ocean	Primary river ^[121]
2	Asia	Ganges-Brahmaputra-Meghna	43,950	3,969 2,466	1,999,000	Bay of Bengal	Primary river ^[102]
3	Africa	Congo (Zaire)	41,400	4,370 2,716	3,822,000	Atlantic Ocean	Primary river ^[6]
4	South America	Orinoco	39,000	2,250 1,398	989,000	Atlantic Ocean	Primary river ^[101]
5	Asia	Yangtze	31,900	6,300 3,915	1,840,000	East China Sea	Primary river ^[13]
6	South America	Negro	30,641	2,230 1,390	691,000	Amazon	Tributary river ^[13]
7	South America	Madeira	30,173	3,380 2,100	1,376,000	Amazon	Tributary river ^[13]
8	South America	Rio de la Plata	27,225	290 180	3,182,064	Atlantic Ocean	Primary river ^[4]
9	Asia	Brahmaputra	21,993	2,900 1,800	651,335	Ganges (Padma)	Tributary river ^[13]
10	North America	Mississippi	21,300	3,766 2,340	3,248,000	Gulf of Mexico	Primary river ^[13]
11	Asia	Yenisei	20,200	4,090 2,556	2,580,000	Kara Sea	Primary river ^[22]
12	South America	Paraná	19,706	4,880 3,030	2,582,672	Rio de la Plata	Primary river ^[24]
13	Asia	Ganges	18,691	2,525 1,569	1,300,000	Bay of Bengal	Primary river ^[24]
14	Asia	Lena	18,300	4,294 2,668	2,490,000	Laptev Sea	Primary river ^[24]
15	South America	Japurá (Cacquetá)	18,122	2,816 1,750	267,730	Amazon	Tributary river ^[13]
16	North America	St Lawrence	17,600	3,058 1,900	1,344,200	Gulf of Saint Lawrence	Primary river ^[27]
17	South America	Narajón	16,708	1,737 1,079	358,000	Amazon	Tributary river ^[13]
18	Asia	Mekong	15,856	4,023 2,500	811,000	South China Sea	Primary river ^[24]
19	Asia	Irrawaddy (Ayeiawady)	15,112	2,210 1,370	413,710	Andaman Sea	Primary river ^[7]
20	South America	Tagajito	13,540	1,996 1,240	462,481	Amazon	Tributary river ^[13]
21	South America	Uruguay	13,385	2,670 1,659	351,549	Atlantic Ocean	Tributary river ^[13]
22	Asia	Ob	13,199	4,345 2,700	2,990,000	Gulf of Ob	Primary river ^[22]
23	South America	Tocantins	11,796	2,699 1,677	764,183	Atlantic Ocean (Pará)	Primary river ^[13]
24	Asia	Amur	11,026	4,444 2,762	1,955,000	Sea of Okhotsk	Primary river ^[24]
25	Africa	Kasai (Katanga)	11,018	2,272 1,405	881,890	Congo	Tributary river ^[24]
26	South America	Paraná	11,207	3,211 1,995	371,042	Amazon	Tributary river ^[13]
27	North America	Mackenzie	9,800	4,241 2,636	1,805,200	Beaufort Sea	Primary river ^[22]
28	South America	Xingu	9,690	2,340 1,392	331,250	Amazon	Tributary river ^[13]
29	Asia	Pearl (Xi)	9,500	2,400 1,491	437,000	South China Sea	Primary river ^[24]
30	South America	Madre de Dios	9,300	1,347 837	282,000	Madeira	Tributary river ^[13]
31	South America	Putumayo (Yari)	8,520	1,813 1,121	148,000	Amazon	Tributary river ^[13]
32	Europe	Volga	8,390	3,531 2,194	1,380,000	Caspian Sea	Primary river ^[22]
33	South America	Mamoré	8,150	1,900 1,199	611,800	Madeira	Tributary river ^[13]
34	South America	Magdalena	8,058	1,540 963	257,438	Caribbean Sea	Primary river ^[13]
35	North America	Ohio	7,957	1,579 981	490,601	Mississippi	Tributary river ^[40]

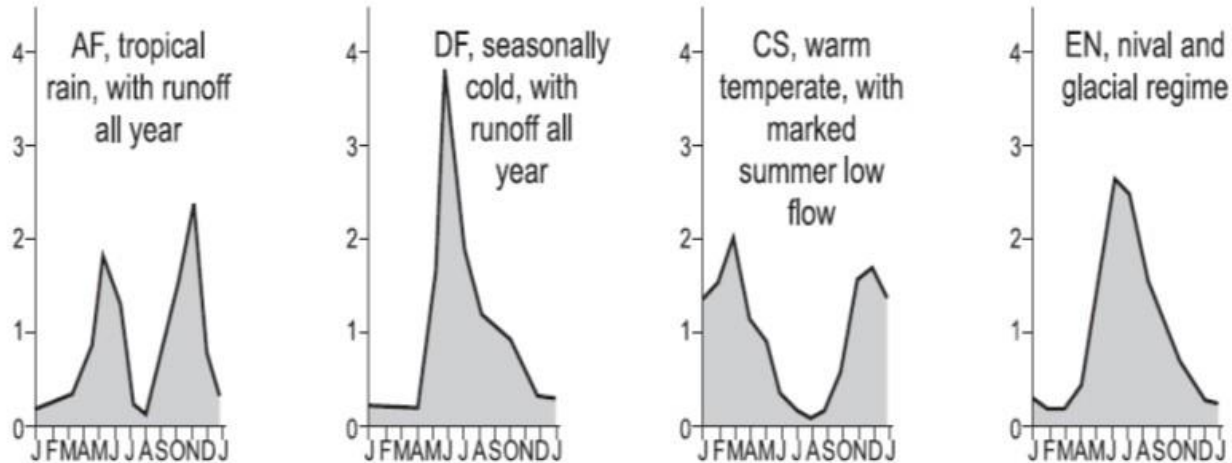
► Zoznam riek podľa dĺžky

No	Continent	River	Average discharge (m ³ /s)	Length (km) • (miles)	Drainage area (km ²)	Outflow	Type
1	South America	Amazon	224,000	6,992 4,344	6,915,000	Atlantic Ocean	Primary river ^[121]
102	Africa	Nile	3,075	6,853 4,258	3,349,000	Mediterranean Sea	Primary river ^[6]
5	Asia	Yangtze	31,900	6,300 3,915	1,840,000	East China Sea	Primary river ^[13]
130	Asia	Yellow	2,571	5,464 3,395	752,000	Yellow Sea	Primary river
12	South America	Paraná	19,706	4,880 3,030	2,582,672	Rio de la Plata	Tributary river ^[4]
24	Asia	Amur	11,026	4,444 2,762	1,955,000	Sea of Okhotsk	Primary river ^[24]
5	Africa	Congo (Zaire)	41,400	4,370 2,716	3,822,000	Atlantic Ocean	Primary river ^[6]
22	Asia	Ob	13,199	4,345 2,700	2,990,000	Gulf of Ob	Primary river ^[22]
14	Asia	Lena	18,300	4,294 2,668	2,490,000	Laptev Sea	Primary river ^[24]
107	Asia	Irtys	2,985	4,248 2,627	1,673,470	Ob	Tributary river
27	North America	Mackenzie	9,800	4,241 2,636	1,805,200	Beaufort Sea	Primary river ^[22]
36	Africa	Niger	7,900	4,200 2,600	2,117,000	Gulf of Guinea	Primary river ^[41]
11	Asia	Yenisei	20,200	4,090 2,556	2,580,000	Kara Sea	Primary river ^[22]
18	Asia	Mekong	15,856	4,023 2,500	811,000	South China Sea	Primary river ^[24]
2	Asia	Ganges-Brahmaputra-Meghna	43,950	3,969 2,466	1,999,000	Bay of Bengal	Primary river ^[102]
139	North America	Missouri	2,445	3,767 2,341	1,371,010	Mississippi	Tributary river ^[40]
16	North America	St Lawrence	21,300	3,766 2,340	3,248,000	Gulf of Saint Lawrence	Primary river ^[13]
32	Europe	Volga	8,390	3,531 2,194	1,380,000	Caspian Sea	Primary river ^[22]
7	South America	Madeira	30,173	3,380 2,100	1,376,000	Amazon	Tributary river ^[13]
43	Asia	Salewa	6,605	3,289 2,044	324,000	Andaman Sea	Primary river ^[41]
47	South America	Juruá	6,004	3,283 2,040	195,000	Amazon	Tributary river ^[13]
26	South America	Paraná	11,207	3,211 1,995	371,042	Amazon	Tributary river ^[13]
41	North America	Yukon	6,860	3,187 1,980	854,700	Beering Sea	Primary river ^[42]
52	Asia	Indus	5,589	3,180 2,000	1,081,718	Arabian Sea	Primary river ^[22]
16	North America	St Lawrence	17,600	3,058 1,900	1,344,200	Gulf of Saint Lawrence	Primary river ^[27]
76	Asia	Nizhnyaya Tunguska	4,139	2,989 1,848	473,000	Yenisei	Tributary river ^[43]
9	Asia	Brahmaputra	21,993	2,900 1,800	651,335	Ganges (Padma)	Tributary river ^[13]
144	Europe	Donau	6,515	2,915 1,777	891,463	Black Sea	Primary river ^[44]
109	South America	São Francisco	2,943	2,830 1,758	541,000	Atlantic Ocean	Primary river
15	South America	Japurá (Cacquetá)	18,122	2,816 1,750	267,730	Amazon	Tributary river ^[13]
23	South America	Tocantins	11,796	2,699 1,677	764,183	Atlantic Ocean (Pará)	Primary river ^[13]
21	South America	Uruguay	13,385	2,670 1,659	351,549	Atlantic Ocean	Tributary river ^[13]
68	South America	Paraguay	4,696	2,621 1,629	1,120,154	Paraná	Tributary river ^[13]
97	North America	Hudson	3,343	2,575 1,600	982,000	Hudson Bay	Primary river ^[45]
74	Africa	Zambesi	4,217	2,574 1,599	1,331,000	Indian Ocean	Primary river ^[46]
13	Asia	Ganges	18,691	2,525 1,569	1,300,000	Bay of Bengal	Primary river ^[24]

Globálna variabilita priemerného ročného odtoku a špecifického odtoku v najväčších povodiach sveta



Sezónna variabilita odtoku v klimatických regiónoch sveta



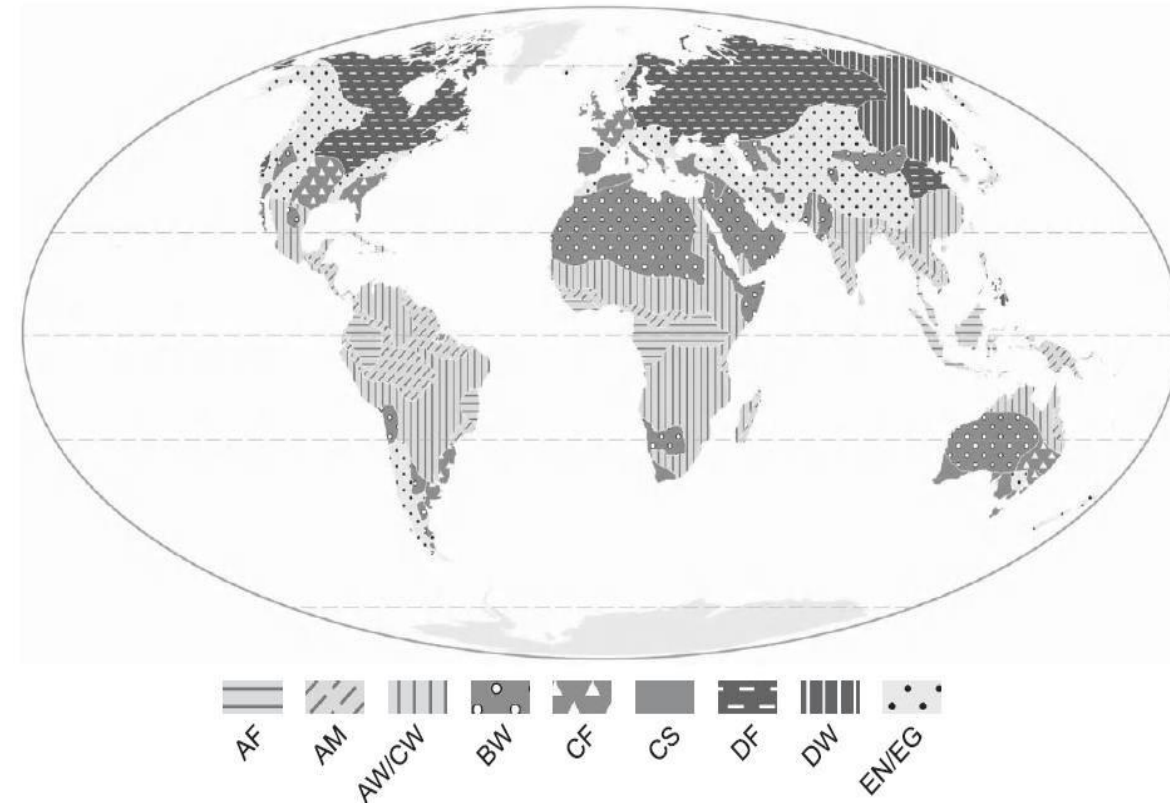
Note: examples are from Northern Hemisphere

Climate region

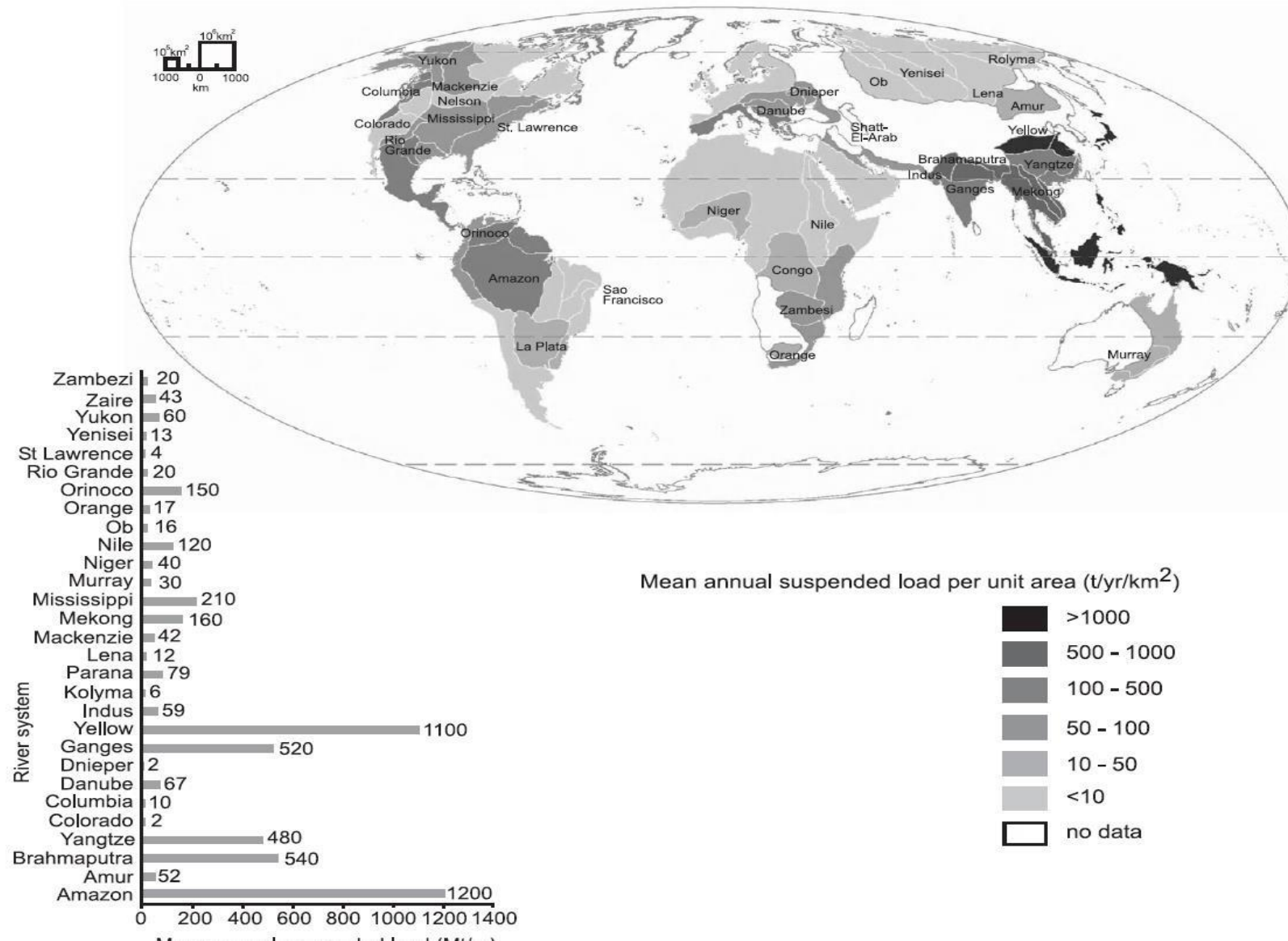
A = tropical, B = dry, C = warm temperate, D = seasonally cold

Flow regime

F = appreciable runoff all year, W = marked winter low flow, S = marked summer low flow, EN/EG = nival and glacial



Priemerné množstvo plavenín v miliónoch ton za rok a v t/rok/km² vo veľkých povodiach sveta



► Zoznam Európskych riek

Europe's largest rivers (over 100 km long, > 10,000 km² watershed, or > 150 m³/s mean discharge)									
Rank (of fleuves)			River or river system	Length (km)	Basin (km²)	Flow (m³/s)	Mouth	Countries [note 1]	Notes
Length	Area	Flow							
1	1	1	Volga ← Oka ← Upa ← Uperťa	3790	1432506	8087	Caspian Sea near Astrakhan	RUS	[note 137] [257][250][25]
2	2	2	Danube	2857	801463	6450	Black Sea near Sulina	ROM UKR MDA BUL SRB CRO HUN SVK AUT GER	[note 99] [2][25]
3	8	37	Ural	2428	210581	400	Caspian Sea in Atyrau	KAZ RUS	[329][2]
4	3	8	Dnieper	2201	509824	1700	Dnieper-Bug Estuary near Kherson	UKR BLR RUS	[2][25]
5	4	11	Don ← Voronezh ← Polnoy Voronezh	1923	437308	890	Sea of Azov near Azov	RUS	[note 123] [227][25]
6	6	3	Pechora	1809	322000	4380	Pechora Sea near Naryan-Mar	RUS	[8][7]
7	5	4	Northern Dvina ← Vychegda	1803	357052	3330	Dvina Bay in Severodvinsk	RUS	[note 34] [56][25]
8	10	30	Kur/Kura/Mtkvari	1364	188378	448	Caspian Sea near Neftçala	AZE GEO TUR	[note 133] [249][2]
9	23	50	Dniester/Nistru	1362	73158	313	Black Sea near Bilhorod-Dnistrovskyi	MDA UKR	[196][2]
10	12	14	Elbe ← Vltava ← Teplá Vltava	1329	148268	860	Wadden Sea near Cuxhaven	GER CZE NED GER AUT LIE SWI POL	[note 9] [28][2]
11	11	6	Rhine	1233	185263	2315	North Sea at Hook of Holland	FRA GER NED AUT LIE SWI POL	[note 19]
12	9	10	Vistula ← Bugonarew ← Western Bug	1211	192632	1080	Baltic Sea near Gdańsk	POL BLR UKR	[note 68] [122][2][25]
13	13	22	Oder ← Warta	1045	118791	574	Baltic Sea in Świnoujście	GER POL	[note 72] [130][2]
14	18	19	Daugava/Western Dvina	1020	85613	640	Gulf of Riga near Riga	LAT BLR RUS	[25]
15	7	5	Neva ← Lake Ladoga ← Volkhov-system	1010	281000	2490	Gulf of Finland in Saint Petersburg	RUS	[note 55] [90][25]
16	24	26	Tagus	1007	70756	500	Atlantic Ocean near Lisbon	POR ESP	[note 84] [169][2][25]
17	14	13	Loire	1006	117356	889	Bay of Biscay in Saint-Nazaire	FRA	[147][148]
18	20	12	Mezen	966	78000	890	White Sea (Mezen Bay) near Mezen	RUS	[51][25]
19	15	7	Rhône ← Saône ← Doubs	957	98131	1900	Gulf of Lion in Port-Saint-Louis-du-Rhône	FRA SWI	[note 88] [173][25]
20	40	46	Meuse/Maas	950	34364	357	North Sea near Hellevoetsluis	NED BEL FRA	[note 28] [40][2]

River discharge of freshwater into the Mediterranean

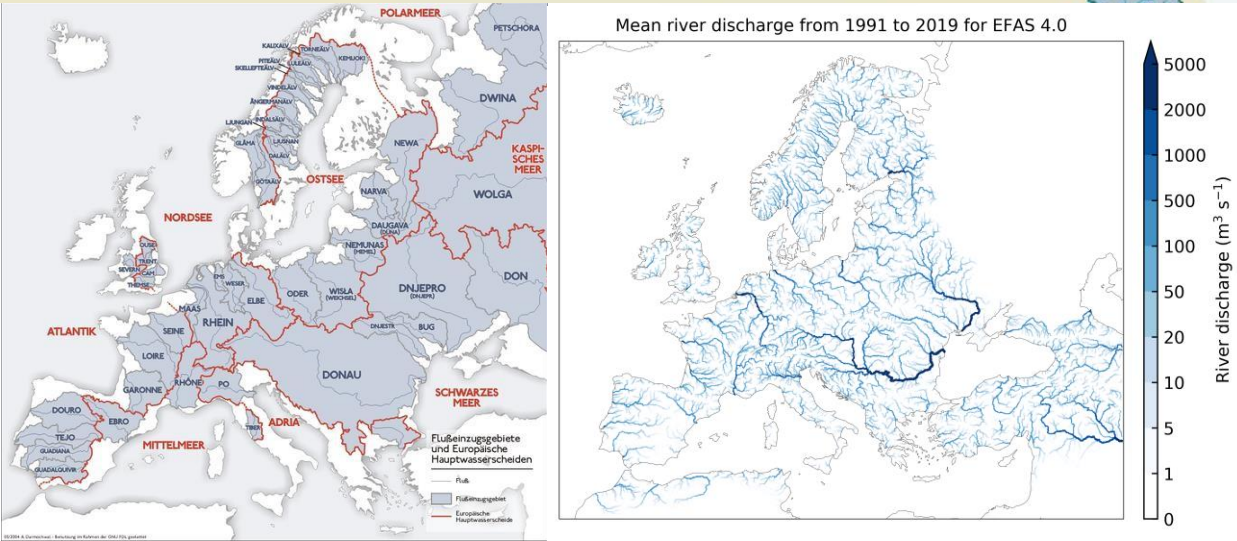
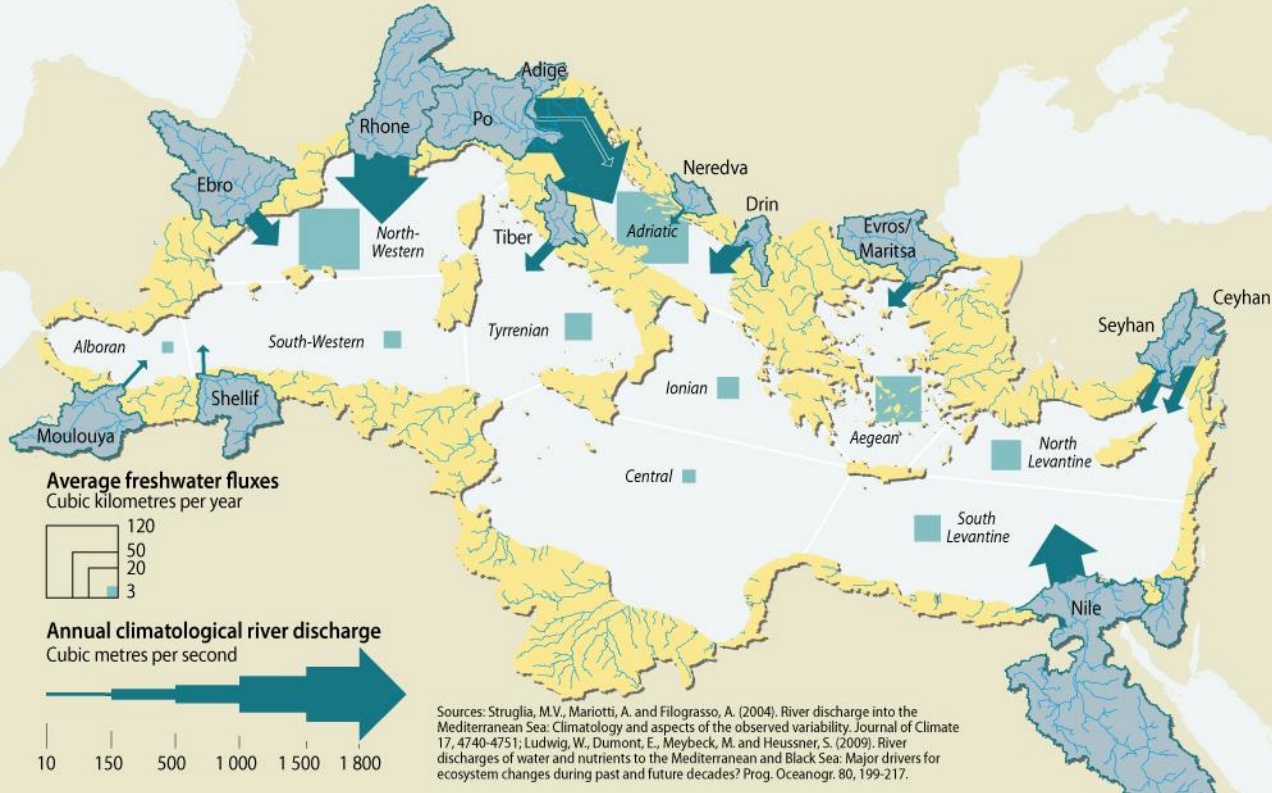
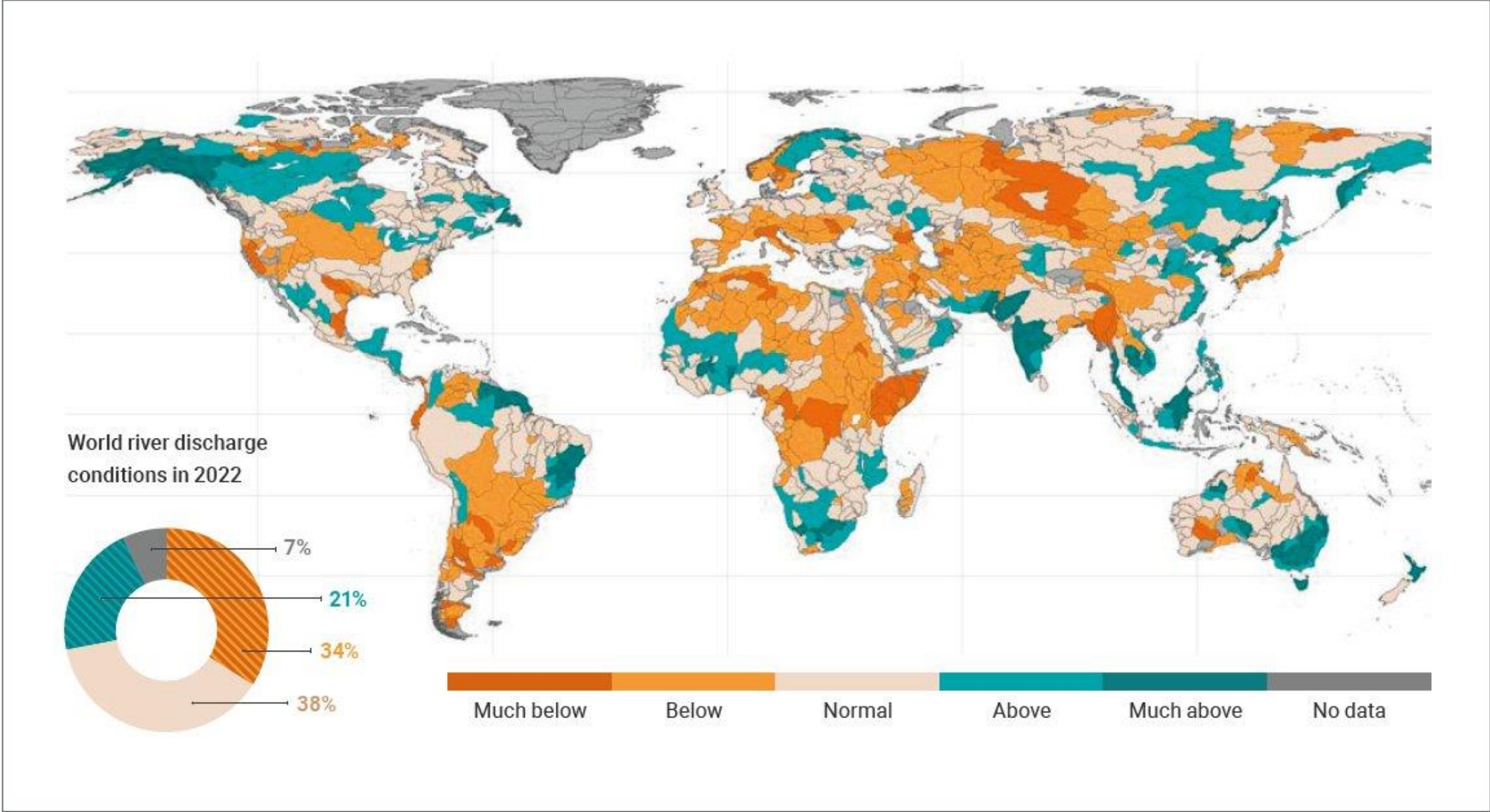


Figure P.3 Mean river discharge for the year 2022 compared to the period 1991–2020 (for basins larger than 10,000 km²)



Note: Results are based on simulation, obtained from the ensemble of eight global hydrological modelling systems (GHMSs).

Source: WMO (2023, fig. 3, p. 7).