

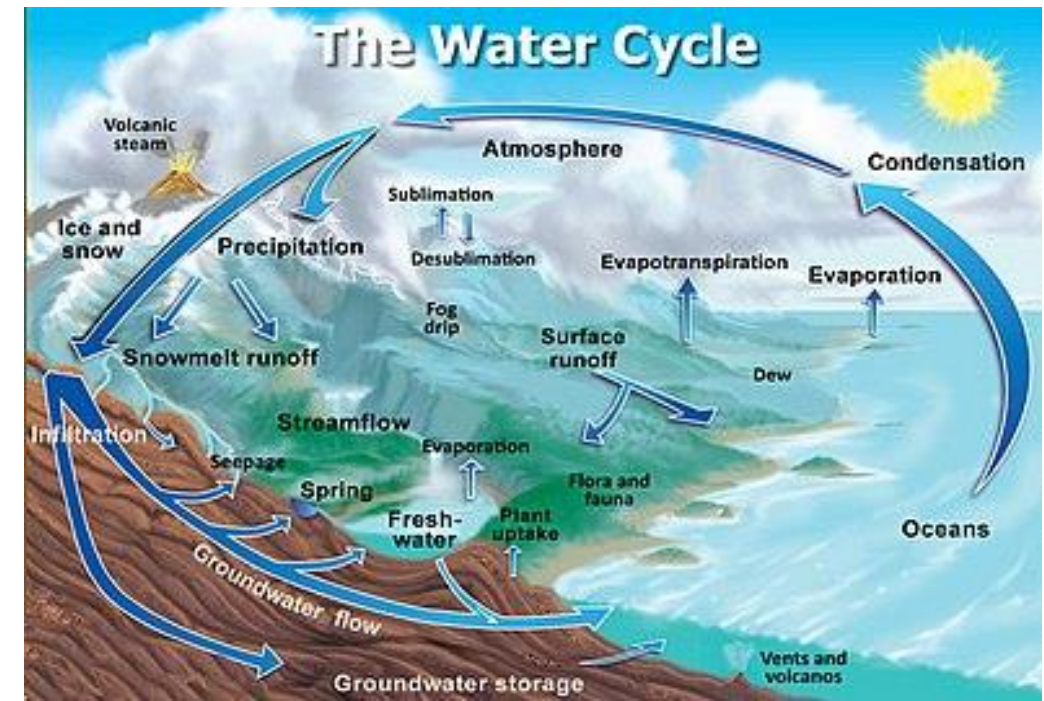
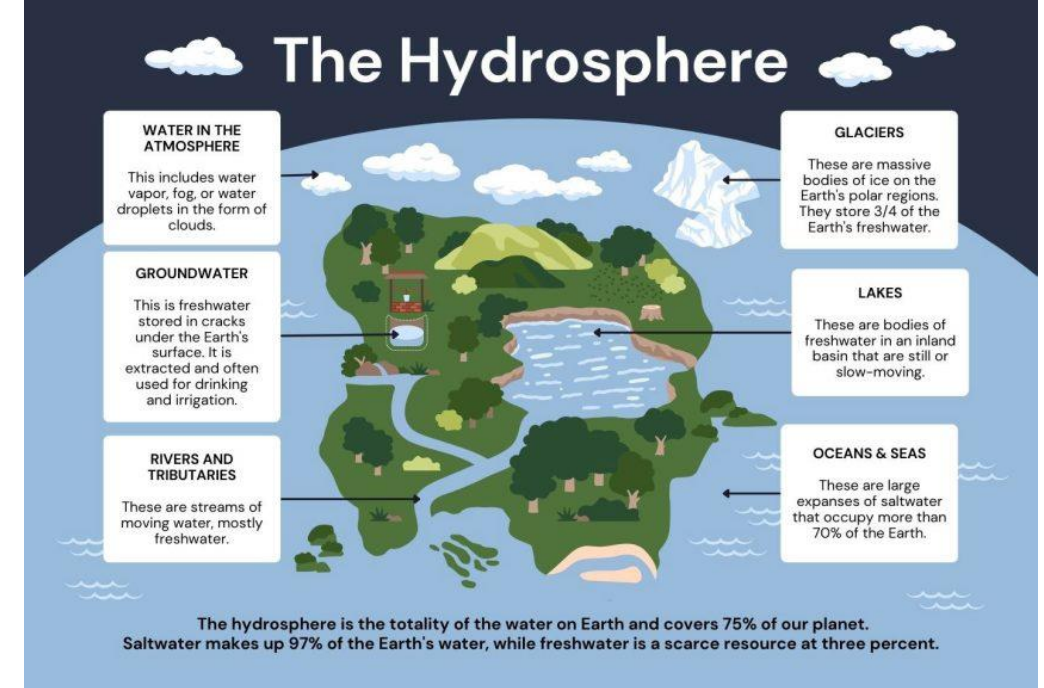


Úvod do štúdia hydrológie

Mgr. Jozef Šupinský PhD.

Hydrológia

- ▶ **Hydrológia** – veda zaoberajúca sa skúmaním zákonitostí výskytu, obehu, časového a priestorového rozdelenia vody na Zemi, jej vzájomného pôsobenia s prostredím vrátane živej prírody, ako aj jej fyzikálnymi, chemickými a biologickými vlastnosťami
- ▶ predmetom výskumu hydrológie je hydrosféra
- ▶ **Hydrosféra** – voda na Zemi vo všetkých jej formách a skupenstvách (vrátane vody v atmosfére)
- ▶ **Hydrogeografia** – vedný odbor zaoberajúci sa vzťahom medzi vodnými útvarmi na pevnine a ostatnými krajinnými prvkami
- ▶ **Hydrologický cyklus** – nepretržitá prirodzená cirkulácia vody na Zemi, spôsobená hlavne slnečnou energiou a zemskou gravitáciou, následnosť zmien jej skupenstva, stavu a miesta a procesy, ktoré tieto zmeny spájajú pri prechode vody z atmosféry na povrch Zeme a naspäť



Členenie hydrológie

- ▶ Podľa predmetu výskumu:

- ▶ **Hydrológia oceánov a morí (Oceánografia)**
- ▶ **Hydrológia pevnín**

- ▶ **Hlavné disciplíny oceánografie:**

- ▶ fyzická oceánografia
- ▶ chemická oceánografia
- ▶ biologická oceánografia
- ▶ morská geológia a geofyzika

- ▶ Ďalšie odvetvia oceánografie: Historická oceánografia, morská zoológia, morská ekológia, morská botanika, morská paleontológia, morská meteorológia, morská reionálna geografia...

- ▶ **Hlavné disciplíny hydrológie pevnín:**

- ▶ hydrológia atmosféry
- ▶ hydrológia tečúcich vôd (potamológia)
- ▶ hydrológia stojatých vôd (limnológia)
- ▶ hydrológia bažín a mokradí
- ▶ hydrológia podzemných vôd (hydrogeológia)
- ▶ hydrológia pôdy (hydropedológia)
- ▶ hydrológia ľadovcov (glaciológia)
- ▶ hydrológia snehu a ľadu (kryológia)
- ▶ hydrometria

- ▶ **Delenie hydrológie z hľadiska metód a cieľov:**

- ▶ Teoretická
- ▶ Aplikovaná: Operatívna

Inžinierska

Regionálna

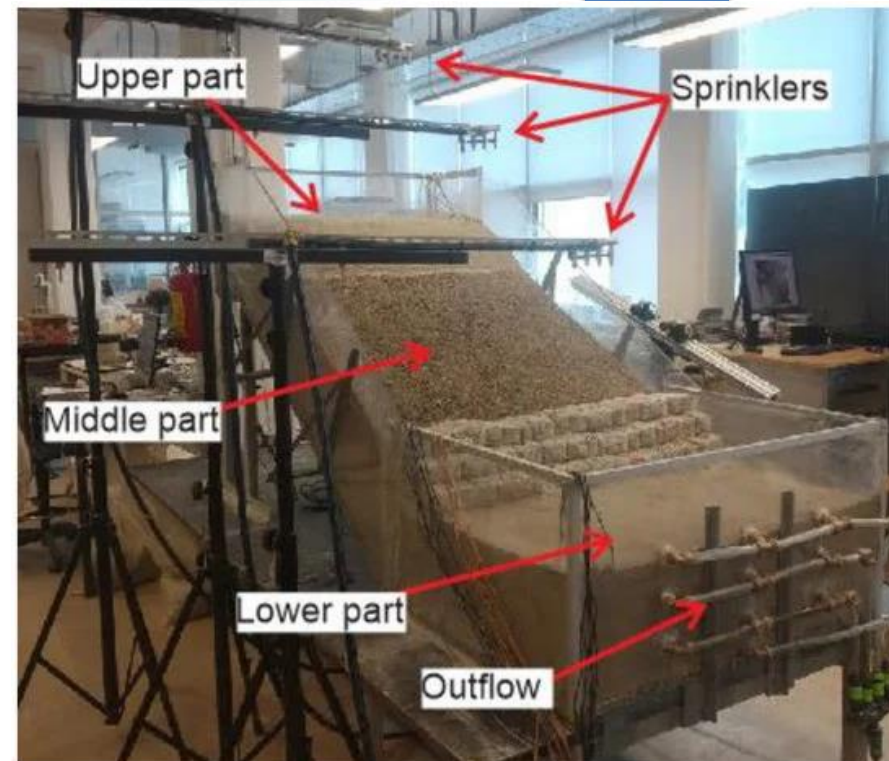
Členenie hydrológie

► Odvetvia hydrológie na základe kategórií využitia pôdy v rôznych typoch krajiny s ich hydrologickými špecifikami:

- **agrohydrológia** – zaoberá sa využitím vody v poľnohospodárstve, závlahami, napájaním hospodárskych zvierat, melioráciami, dostupnosťou podpovrchovej vody pre poľnohospodárske plodiny...
- **lesnícka hydrológia** – zaoberá sa špecifickými hydrologickými pomermi lesných ekosystémov, ako je zásobenie vodou v povodiach
- **hydrológia trávnatých kultúr (pastvín, lúk)** – zaoberá sa hydrologickými pomermi na trvalých trávnatých kultúrach
- **urbánna hydrológia** – študuje hydrologické pomery urbanizovaných plôch, na ktorých sa výrazne prejavuje vplyv mestského klímy a nepriepustné plochy, ktoré zrýchľujú odtok a zabraňujú vsaknutiu
- **hydrológia mokradí** – pojednáva o hydrologických pomeroch zamokrených plôch ako jedinečných prechodných zón medzi akvatickými a terestriálnymi ekosystémami a zároveň medzi povrchovou a podpovrchovou zásobou vody
- **hydrológia púští** – zaoberá sa hydrologickými pomermi aridných a semiaridných oblastí sveta s výrazne negatívnou ročnou vodnou bilanciou

Metódy hydrologického výskumu

- ▶ **Metódy terénneho výskumu** - metódy pozorovania a merania hydrologických prvkov, javov a procesov a následné základné spracovanie pozorovaných údajov, ktoré sa uskutočňuje v prírodných podmienkach priamo v krajine, na hydrologických staniciach
- ▶ **Metódy laboratórneho výskumu** - tie metódy, ktoré v laboratórnych podmienkach testujú rôzne hydrologické zariadenia (napr. tarovanie – testovanie priepadov), alebo vyvíjajú nové metódy stanovenia rýchlosti prúdenia vody a pod
- ▶ **Metódy spracovania nameraných hydrologických údajov** - metódy vyhodnocovania získaných údajov a ich analýzy, ktorá by umožnila nájsť súvislosti medzi získanými hodnotami a faktormi, ktoré ovplyvňujú veľkosť týchto hodnôt, ich výskyt v čase a priestore. Výsledkom uvedeného vyhodnotenia a analýz by malo byť rozpracovanie teórií a vypracovanie metodík výskumu hydrologických javov a procesov



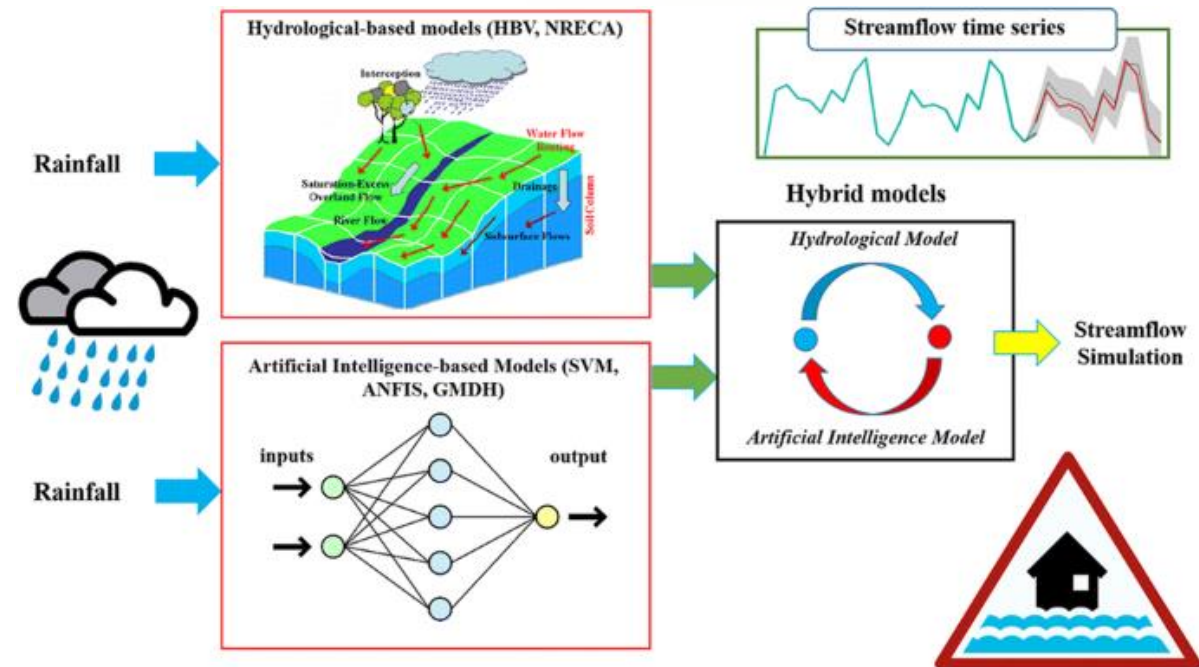
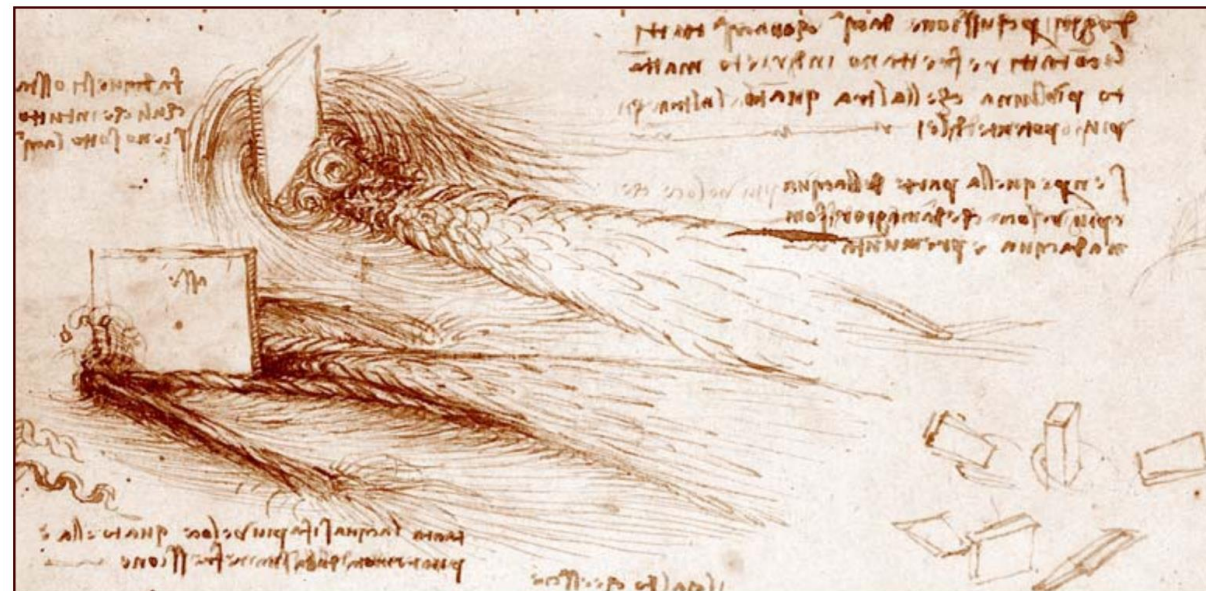
História hydrológie

- ▶ **Starovek** – budovanie priehrad, zavlažovacích kanálov, vodočtetné pozorovania a meranie zrážok
- ▶ **Antické Grécko: Táles Milétsky** – 3 skupenstvá vody
 - Hypokratos** – výpar a kvalita vody
 - Platón** – teória Tartaru o podzemnej nádrži vody a kolobeh vody
 - Aristoteles** – pôvod riek
 - Teofrast** – ako prvý popísal priebeh a podstatu hydrologického cyklu
- ▶ **Antický Rím: Vitruvius** – závislosť prietokového množstva od prietokovej rýchlosti a veľkosti prietokového profilu
 - Akvadukty** – vodovodné siete potrebné pre fungovanie vo veľkých mestách



História hydrológie

- ▶ **Stredovek** – stagnácia vplyvom cirkevného útlaku vedy
- ▶ **Alberti** – predpoklad hladiny podzemnej vody a existencie súvislostí medzi hladinami podzemných a povrchových vôd
- ▶ **Renesancia** nástup **pozorovania a meraní**:
- ▶ **Leonardo da Vinci** – merania v prírode používanie farbív a plavákov na meranie rýchlosti toku
- ▶ **Bernardo Palissy** – pravdivý obraz o kolobehu vody a mechanizmu stavby a činnosti artézskych horizontov
- ▶ **Novovek** – 17. stor. **Benedetto Kastelli** – O meraní tečúcich vôd
- ▶ **Edmund Halley** – pokusy s výparom a dokázanie, že z mora sa vyparuje dostatok vody na preukázanie pôvodu zrážok
- ▶ 18. a 19. stor. experimenty a odvodzovanie zákonov prúdenia vody
- ▶ Prúdenie v korytách – **Bernoulli, Venturi, Chézy, Pitot...**
- ▶ Podzemné vody – **Darcy, Dupin, Thiem, Boussinesque, Forchheimer...**
- ▶ Súčasnosť – rozsiahly monitoring a numerické modelovania



Hydrologická služba

► Organizácia hydrologickej služby v rámci SHMÚ:

► Oddelenie hydrologickej služby:

- Sleduje stav a pohyb vôd, vodných zdrojov a ich kvalitu.
- Vypracováva prognózy, hydrologické predpovede a varovania, najmä pri povodniach a suchách
- Zhromažďuje údaje o povrchových vodách, snehovej pokrývke, prietokoch riek a hladinách vôd

► Sledovanie povrchových a podzemných vôd:

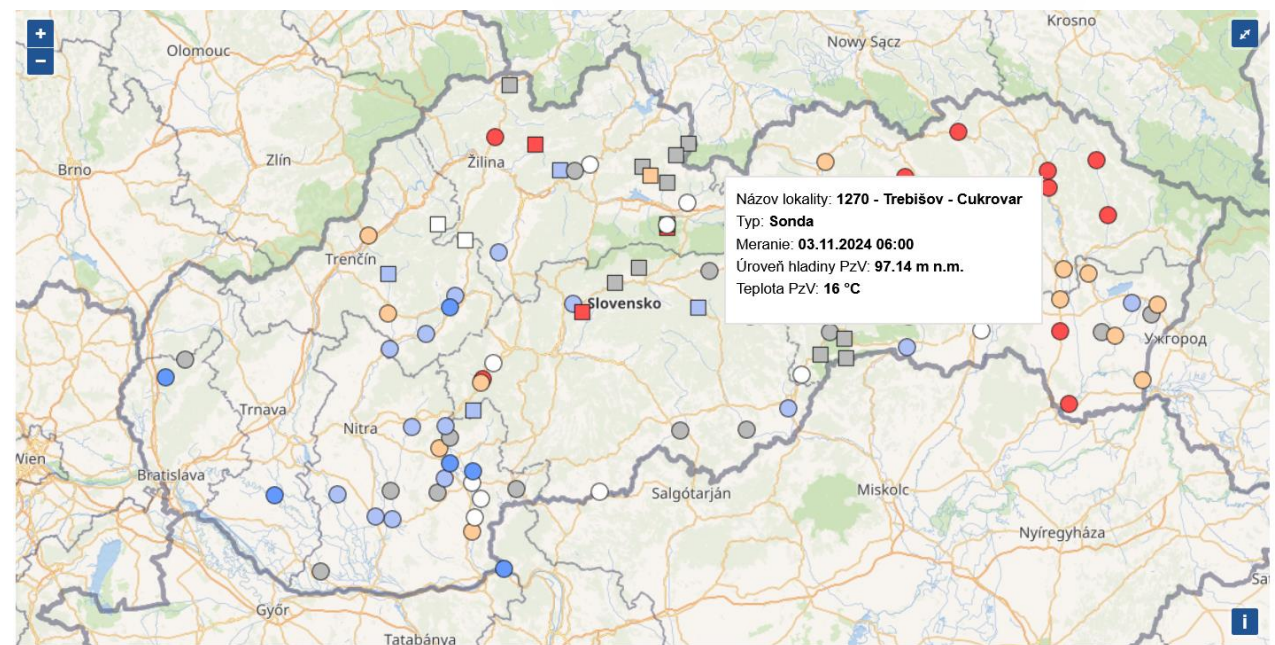
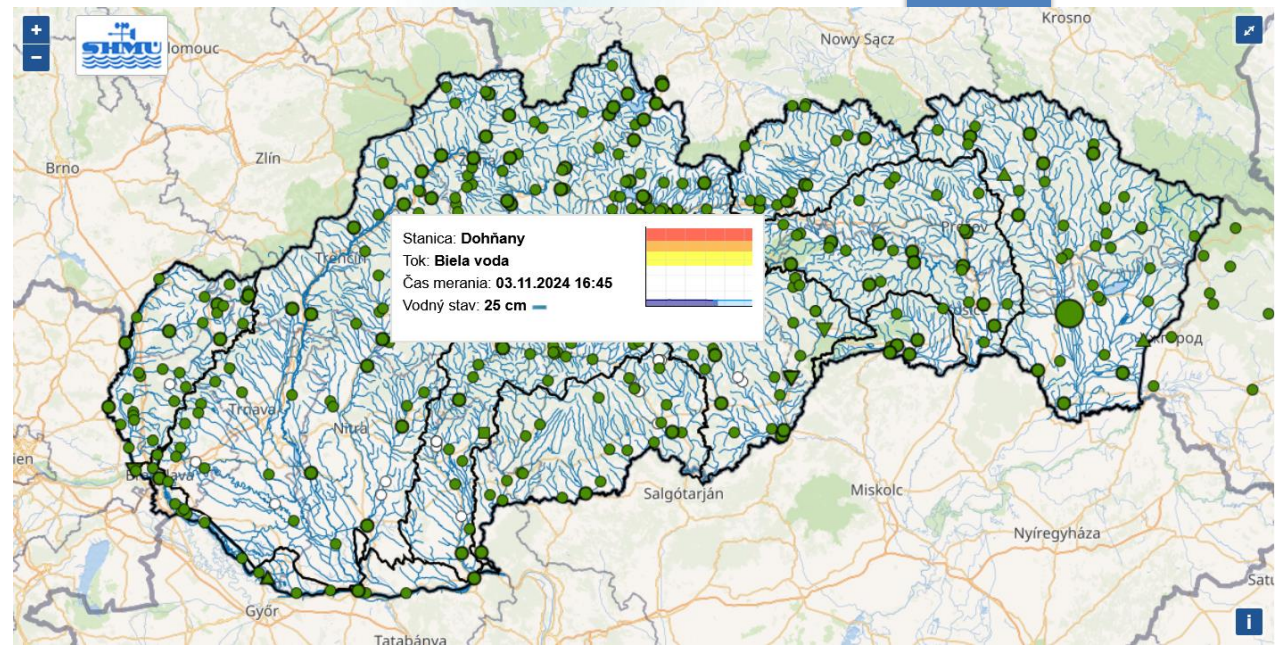
- SHMÚ spravuje sieť monitorovacích staníc, ktoré sledujú hladiny riek a vodných nádrží
- Vykonáva aj dlhodobé merania a zber dát, ktoré slúžia na analýzu trendov, klimatických zmien a využitia vodných zdrojov

► Hydrologické predpovede a varovný systém:

- Predpovede vychádzajú z aktuálnych meraní a modelov, ktoré simulujú vodný režim
- V prípade povodní SHMÚ poskytuje varovné správy pre verejnosť a zainteresované orgány

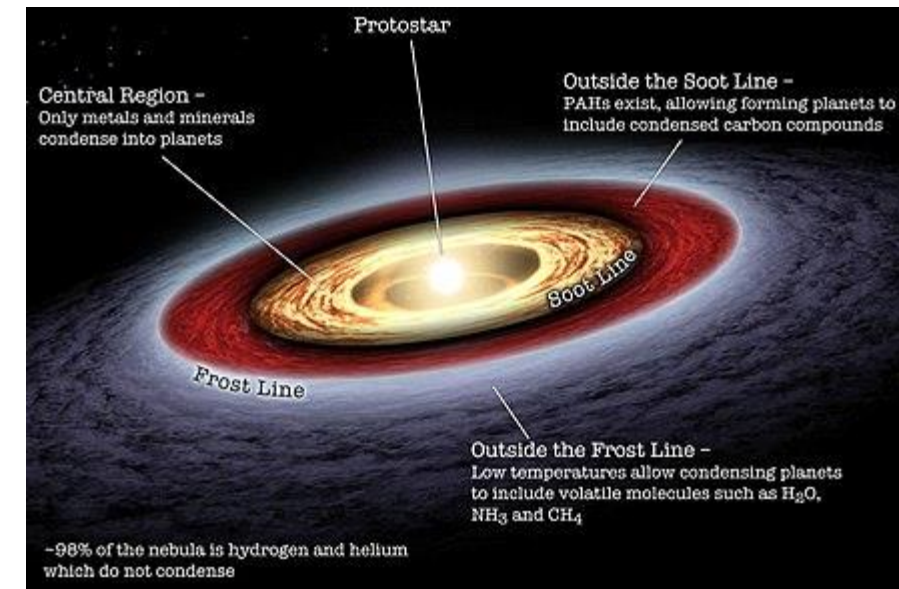
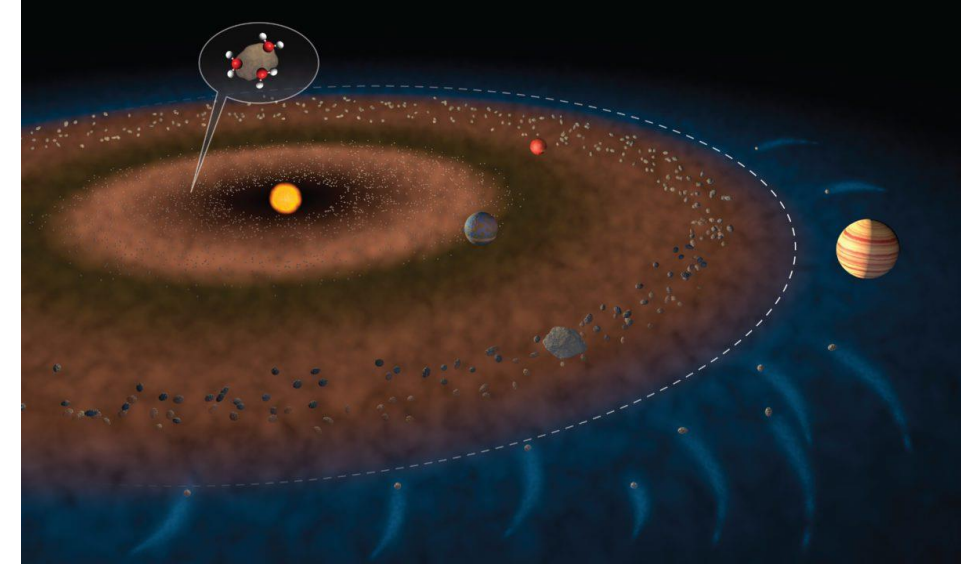
► Údaje o kvalite vôd:

- SHMÚ zabezpečuje aj monitoring kvality vody, ktorý sa týka chemického a biologického stavu povrchových a podzemných vôd



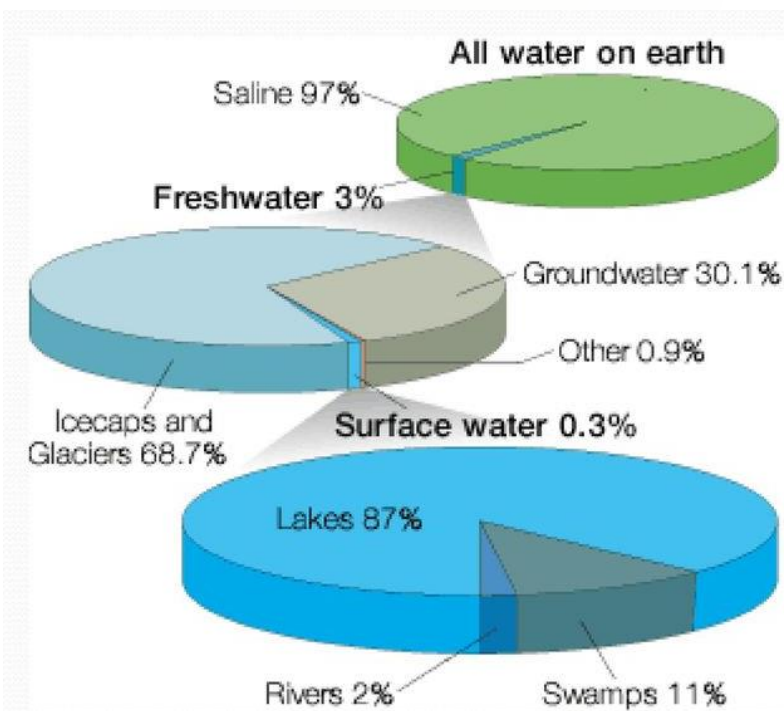
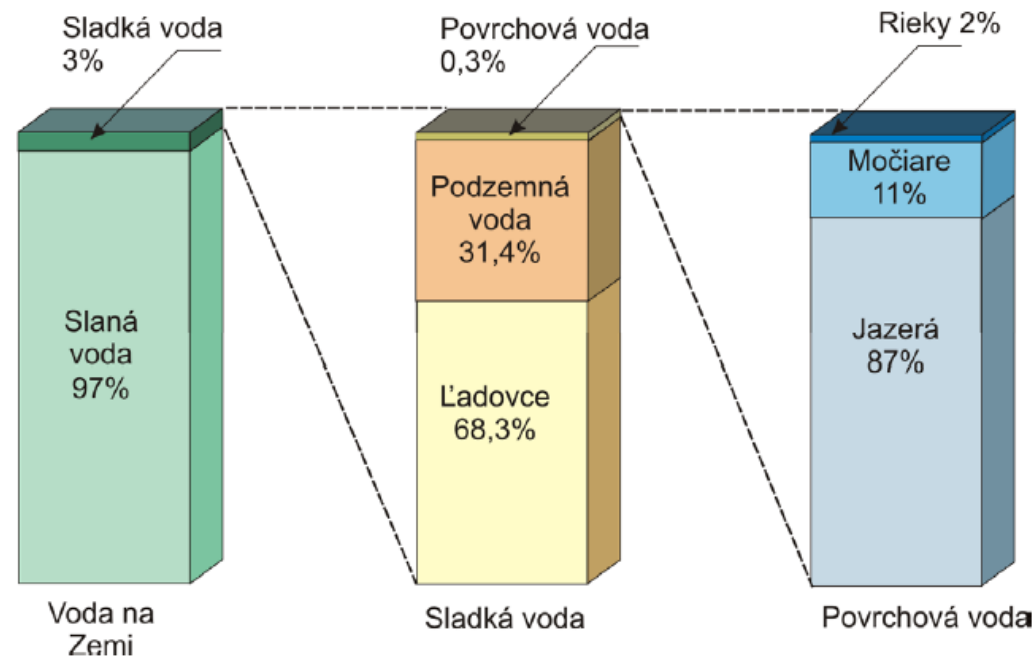
Pôvod vody na Zemi

- ▶ Existuje niekoľko teórií, ktoré poukazujú na možné pôvodné zdroje vody na planéte Zem a ďalších planétach terestrického typu:
 - ▶ **priame čerpanie vodíka z hviezdnej hmloviny** do magmatických oceánov, kde by vznikla počas primárnych reakcií vodíka a oxidu železnatého (Sasaki, 1990)
 - ▶ **prínos vody** na našu planétu **pomocou impaktu vesmírnych telies** – komét a asteroidov, ktoré obsahovali vodu vo forme ľadu - teoretické výpočty množstva vody, ktoré mohli priniesť kométy, dokázali, že toto množstvo nebolo väčšie než 10% (Drake, 2005), v prípade asteroidov sú výhľady na ich prínos optimistickejšie, ale presnejšie výpočty nie sú k dispozícii
 - ▶ **absorpcia vodíka, hélia a kyslíka na povrchu prachových častíc** pred vznikom Slnčnej sústavy - plyny následne mohli na povrchu častíc náhodne reagovať a skombinovať sa do podoby vodných pár
- ▶ Voda v kvapalnom skupenstve sa na Zemi môže vyskytovať vďaka priaznivej veľkosti a vzdialenosti Zeme od Slnka, keď priemerná teplota povrchu našej planéty je 27 °C
- ▶ Na ostatných planétach terestrického typu je existencia vody vo všetkých troch skupenstvách vylúčená – povrchová teplota Venuše je takmer 430 °C, na Marse sú –66 °C (Chang, 2003)



Zásoby vody na Zemi

- ▶ Z celkovej plochy Zeme 510 mil. km² zaberajú vodné plochy 361 mil. km² = 71%
- ▶ Celkové rozdelenie vody na Zemi (1400 mil. km³):
- ▶ Severná pologuľa 155 mil. km², pevnina 100 mil. km²
- ▶ Južná pologuľa 206 mil. km², pevnina 49 mil. km²
 - ▶ Oceány a moria:
 - ▶ Zaberajú 97% z celkových vodných zásob na Zemi
 - ▶ Sladká voda:
 - ▶ Tvorí len 3% všetkej vody na Zemi, no zohráva kľúčovú úlohu pre život
 - ▶ T toho: Ľadovce a trvalý sneh: 68,7% sladkej vody
 - ▶ Podzemná voda: 30,1% sladkej vody - najväčší zdroj pitnej vody
 - ▶ Povrchové vody a ostatné sladké vody: 1,2%
 - ▶ Z toho: Jazerá: približne 87% z povrchovej sladkej vody
 - ▶ Močiare: 11%
 - ▶ Rieky: 2% - najdostupnejší zdroj pitnej vody
 - ▶ Medzi iné patrí pôdna vlhkosť, biologická voda, atmosférická voda



Zásoby vody na Zemi

► Z celkovej plochy Zeme 510 mil. km² zaberajú vodné plochy 361 mil. km² = 71%

► Celkové rozdelenie vody na Zemi (1400 mil. km³):

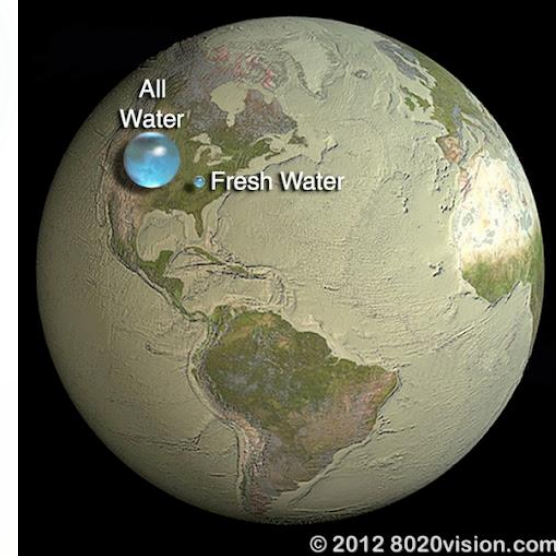
► Severná pologuľa 155 mil. km², pevnina 100 mil. km²

► Južná pologuľa 206 mil. km², pevnina 49 mil. km²

► Zotrvanie vody v zdrojoch:

Rezervoár	Priemerná doba uchovania vody
Oceány	3 200 rokov
Glaciers	20 až 100 rokov
Sezónna pokrývka snehu	2 až 6 mesiacov
Pôdna vlhkosť	1 až 2 mesiace
Spodné vody	100 až 10 000 rokov
Jazerá	50 až 100 rokov
Rieky	2 až 6 mesiacov
Atmosféra	9 dní

- Objem Zeme: $1\,385 \times 10^9 \text{ km}^3$
- Objem vody: 1400 mil. km³
- voda na Zemi 0,13 % objemu Zeme



Zásoby sladkej vody na Zemi	množstvo vody v km ³
-----------------------------	---------------------------------

povrchová voda

jazerá	235 000
nádrže	5 000
rieky	1 250
bažiny a mokrade	6 000
ľadovce a sneh	32 000 000

podpovrchová voda

pôdna	65 000
podzemná	80 000
voda v atmosfére	13 000
celkom	40 325 250

Fyzikálne a chemické vlastnosti vody

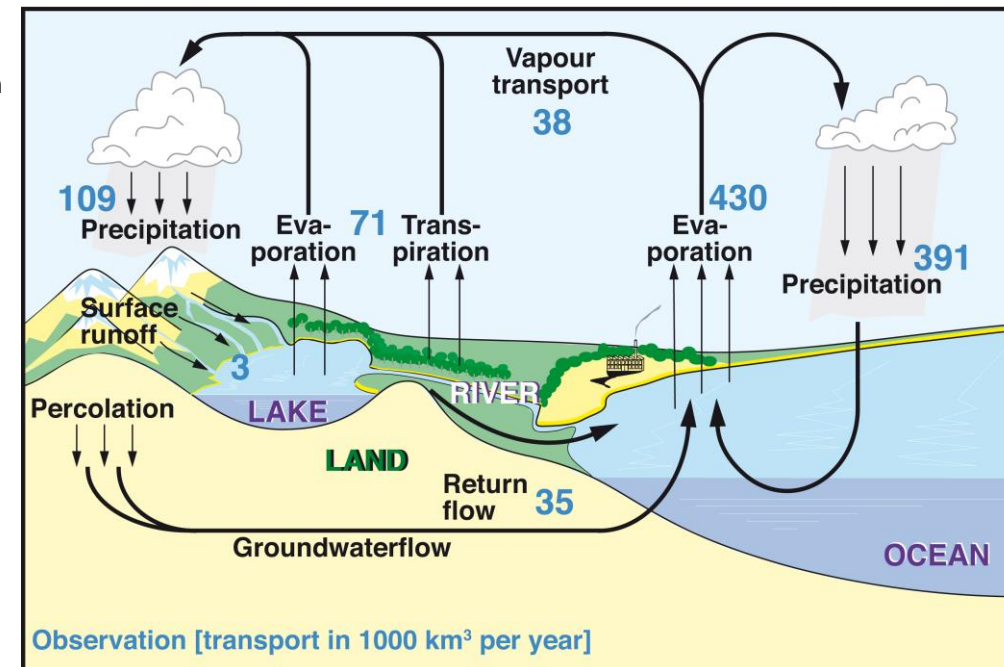
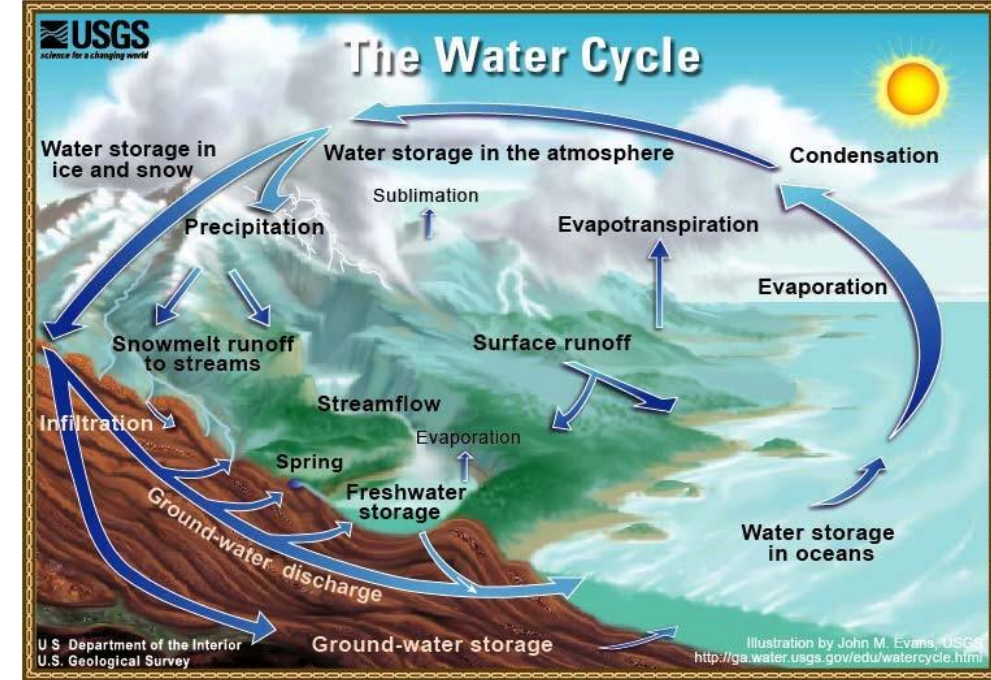
- ▶ Voda sa na Zemi vyskytuje v troch skupenstvách (voda, vodná para a ľad), ktoré medzi sebou prechádzajú prostredníctvom dejov:
 - ▶ **Kondenzácia** - plynné skupenstvo sa mení na kvapalné (tvorba rosy)
 - ▶ **Sublimácia** - zmena skupenstva z pevného na plynné (vyparenie ľadu)
 - ▶ **Tuhnutie** – zmena kvapalného skupenstva na tuhú látku (zamrznutie vodnej hladiny)
 - ▶ **Vyparovanie** (evaporácia) - kvapalné skupenstvo sa mení na plynné (výpar z vodnej hladiny)
- ▶ Vo väčšine prípadov voda zamrzá „zhora“ a ľad, ktorý sa vytvorí, pláva na hladine. Voda dosahuje maximálnu hustotu pri 4°C.
- ▶ Jednou zo základných chemických reakcií vody je hydrolýza, ktorá prebieha v organickom i anorganickom prostredí (vznik ílových minerálov)
- ▶ Najdôležitejšie vlastnosti vody na základe fyzikálnych, chemických a biologických charakteristík :
 - ▶ **Nezastupiteľnosť vody** – voda je základom života na Zemi, bez jej účasti sa neodohráva väčšina biologických procesov
 - ▶ **Kinetická a potenciálna energia vody** – využitie v energetike
 - ▶ **Schopnosť rozpúšťať rôzne látky** – čistenie a v priemyselnej výroba, výživa rastlín a živočíchov, pitie vody...
 - ▶ **Samoočistná schopnosť vody** – voda je schopná zbaviť sa nečistôt aktívnym prúdením cez pôdu a piesky. Proces samoočisty prebieha vo vodných tokoch, kde sa prostredníctvom organizmov dostávajú nečistoty do sedimentov. Veľké rieky sa čistia rýchlejšie, zatiaľ čo potoky sa čistia pomalšie. Vody s prevahou samoočistných mikroorganizmov (napr. v riekach) sú vhodnejšie na život než vody, ktoré nemajú dostatočný počet organizmov (napr. odtok vody zo suchých oblastí)
 - ▶ **Tepelná stabilita** – voda má veľkú tepelnú kapacitu - môže pohlcovať a udržiavať veľké množstvo tepla bez výrazných zmien teploty

Funkcia vody

- ▶ **Biologická funkcia vody** – voda je nevyhnutná pre život ľudí, zvierat i rastlín. Človek je takmer z 60–90 % tvorený vodou, ktorá je vo veľkej miere viazaná v bunkách, 34 % z nej potom koluje po tele spolu s rozpustnými minerálmi (Ross, Wilson 1981). Voda je taktiež významným regulátorom pH v organizme. Bez vody by rastliny nemohli absorbovať živiny a prevádzať fotosyntézu a hydrolýzu (Chang 2003)
- ▶ **Ekologická funkcia vody** – voda je životným prostredím pre 90 % všetkých organizmov na Zemi. Medzi významné ekotopy patria mokrade, jazerá a rybníky, potoky a rieky, estuáry, more a oceány. Organizmy žijúce vo vode môžeme rozdeliť do troch základných skupín:
 - ▶ **bentos** – rastliny a živočíchy, žijúce pri dne
 - ▶ **planktón** – mikroorganizmy, ktoré, keďže sú pasívne unášané prúdmi vody, hrajú rozhodujúcu úlohu v oceánskych potravinových reťazcoch
 - ▶ **nektón** – pohybliví živočíchovia, ktorí sa vo vode pohybujú nezávisle na prúde (ryby, kôrovce, plazy a cicavce)
- ▶ Vodné toky, mokrade a rybníky môžu byť taktiež významnými miestami prvkov ekologickej stability krajiny (ÚSES), = biocentrá, biokoridory, ochranné zóny, interakčné prvky
- ▶ **Zdravotná funkcia** – pomocou vody je prevádzaná osobná a verejná hygiena, očkovanie a dezinfekcia. Pitná voda má v rámci zdravia človeka svoje nezastupiteľné miesto a je dôležitým prostriedkom pre regeneráciu svalov
- ▶ **Hospodárska funkcia** – voda tvorí významný komponent hospodárskych aktivít - energetický potenciál v hydroenergetike, poháňa mlyny a turbíny, využíva sa pri chladení (jadrové elektrárne), pohon v priemysle, spracovanie buničiny a papiera, poľnohospodárske využitie (zavlažovanie),
- ▶ **Krajinoformotvorná a estetická funkcia vody** – voda vystupuje ako významný krajinný prvok = má ekologický ako aj estetický význam
- ▶ **Kultúrna funkcia vody** – závislosť historického osídlenia na vode bola a stále je značná, rovnako tak aj význam riečnych tokov

Kolobeh vody

- ▶ Základné zložky kolobehu sú **výpar, zrážky a odtok**
- ▶ **Stav vody v prírode je vyvážený** = voda sa nikde nestráca, ani nevzniká, iba mení skupenstvo
- ▶ Malé množstvo vody je do prírody dodávané spolu s pádmí vesmírnych telies, ale je to tak nepatrná časť, že sa zanedbáva
- ▶ Konceptuálny model pohybu vody na Zemi v systéme oceán – atmosféra – pevnina označovaný ako **globálny hydrologický cyklus** (niekedy tiež veľký vodný obeh)
- ▶ Hydrologický cyklus môžeme rozdeliť na:
 - ▶ **Veľký hydrologický cyklus** - pohyb vody v systéme oceán - atmosféra – pevnina – atmosféra – oceán
 - ▶ **Malý hydrologický cyklus** - pohyb vody v systéme 1. oceán – atmosféra – oceán / 2. pevnina – atmosféra – pevnina
- ▶ Základnou vstupnou zložkou tohto geosystému je **slné žiarenie**. Energia vyžiarená zo Slnka spôsobí **vyparovanie vody** z oceánov a pevniny v celkovom množstve okolo 577 600 km³ za rok, kde oceány tvoria podstatnú časť povrchu našej planéty, teda i celková hodnota ročného výparu z nich (505 000 km³) je ďaleko väčšia než z pevniny (72 000 km³)
- ▶ Znova na hladinu oceánu spadne 458 000 km³ zrážok, na pevninu 119 000 km³ zrážok



Kolobeh vody

- Prebytok vody nad pevninou je $47\,000\text{ km}^3$ = Zrážky nad pevninou – Výpar nad pevninou
- Voda, ktorá padla na pevninu vo forme zrážok sa môže opäť vypariť, vytvoriť zásobu v snehu, ľade alebo jazerách, môže byť využitá organizmami (a opäť vyparená) alebo sa môže vo forme povrchového alebo podzemného odtoku dostať opäť do oceánov
- Celková ročná hodnota povrchového odtoku z pevniny činí necelých $45\,000\text{ km}^3$
- Podzemný odtok pridáva $2\,000\text{ km}^3$
- Celkový odtok z pevniny je teda $47\,000\text{ km}^3$, čo je rovnaké množstvo vody, ktoré vypadne vo forme zrážok z atmosférickej vlhkosti z oceánu
- Cirkulácia vody sa skladá iba zo 0,4 % hydrosféry (Krešl 2001)
- Z uvedených informácií môžeme matematicky vyjadriť rovnovážny stav pomocou modelu hydrologického cyklu vo forme rovnice vodnej bilancie:

$$E_p + E_o = S_o + S_p$$

$$E_o = S_o + O$$

$$E_p = S_p - O$$

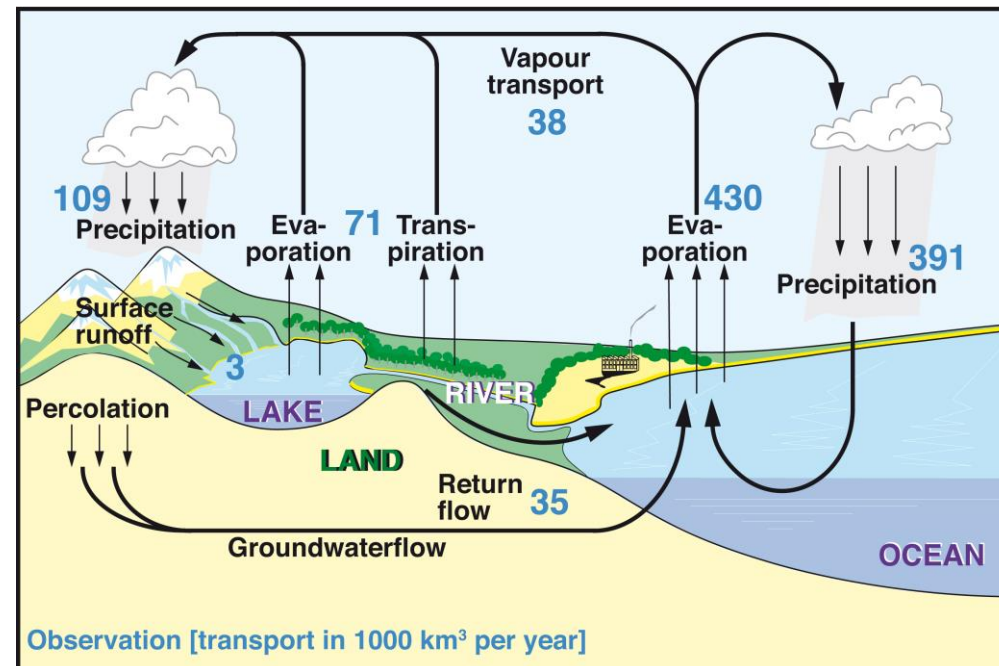
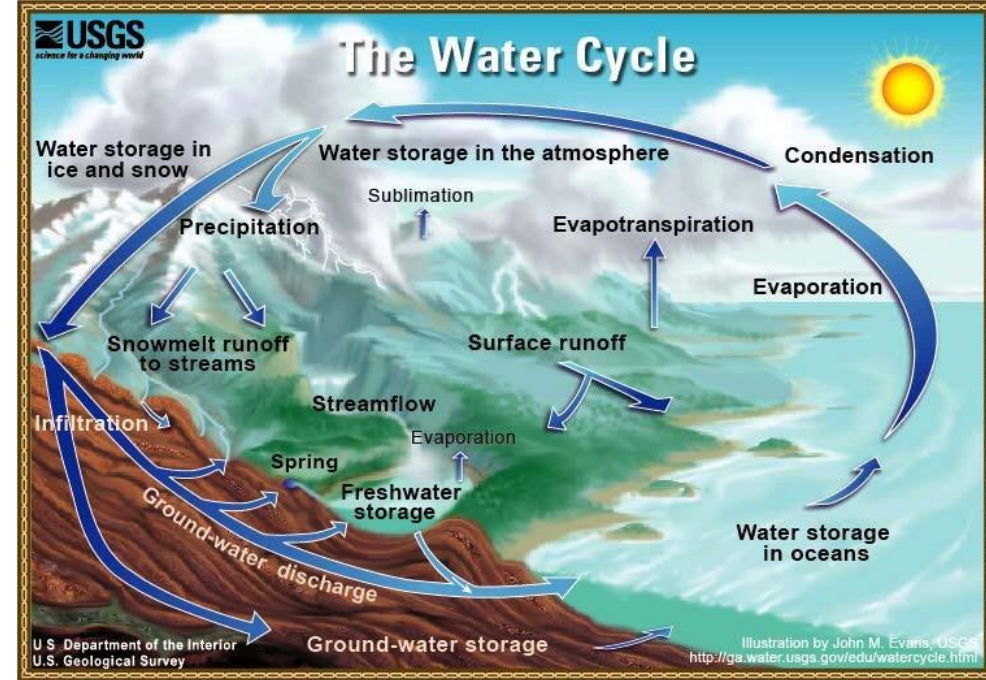
E_p = výpar z pevniny

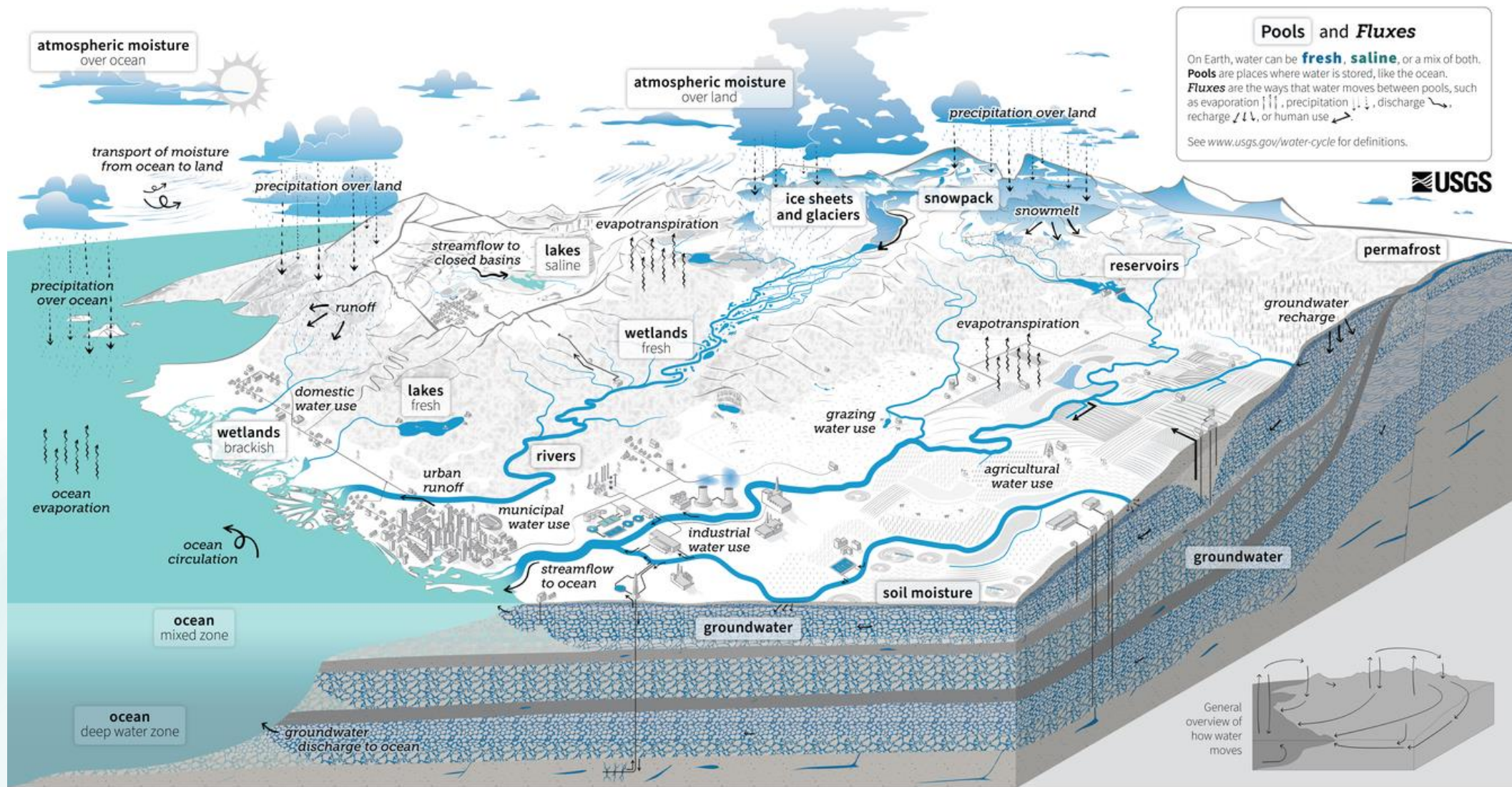
E_o = výpar z oceánov

S_p = zrážky nad pevninou

S_o = zrážky nad oceánom

O = celkový odtok z pevniny





The Water Cycle

The water cycle describes where water is found on Earth and how it moves. Water can be stored in the atmosphere, on Earth's surface, or below the ground. It can be in a liquid, solid, or gaseous state. Water moves between the places it is stored at large scales and at very small scales. Water moves naturally and because of human interaction, both of which affect where water is stored, how it moves, and how clean it is.

Liquid water can be fresh, saline (salty), or a mix (brackish). Ninety-six percent of all water is saline and stored in **oceans**. Places like the ocean, where water is stored, are called **pools**. On land, saline water is stored in **saline lakes**, whereas fresh water is stored in liquid form in **freshwater lakes**, artificial **reservoirs**, **rivers**, **wetlands**, and in soil as **soil moisture**. Deeper underground, liquid water is stored as **groundwater** in aquifers, within the cracks and pores of rock. The solid, frozen form of water is stored in **ice sheets**, **glaciers**, and **snowpack** at high elevations or near the Earth's poles. Frozen water is also found in the soil as **permafrost**. Water vapor, the gaseous form of water, is stored as **atmospheric moisture** over the ocean and land.

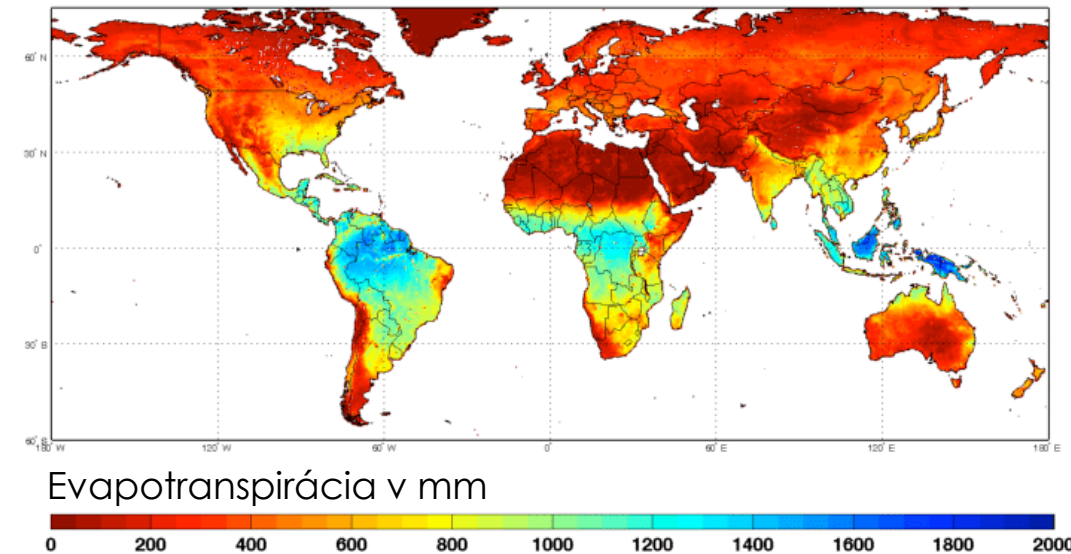
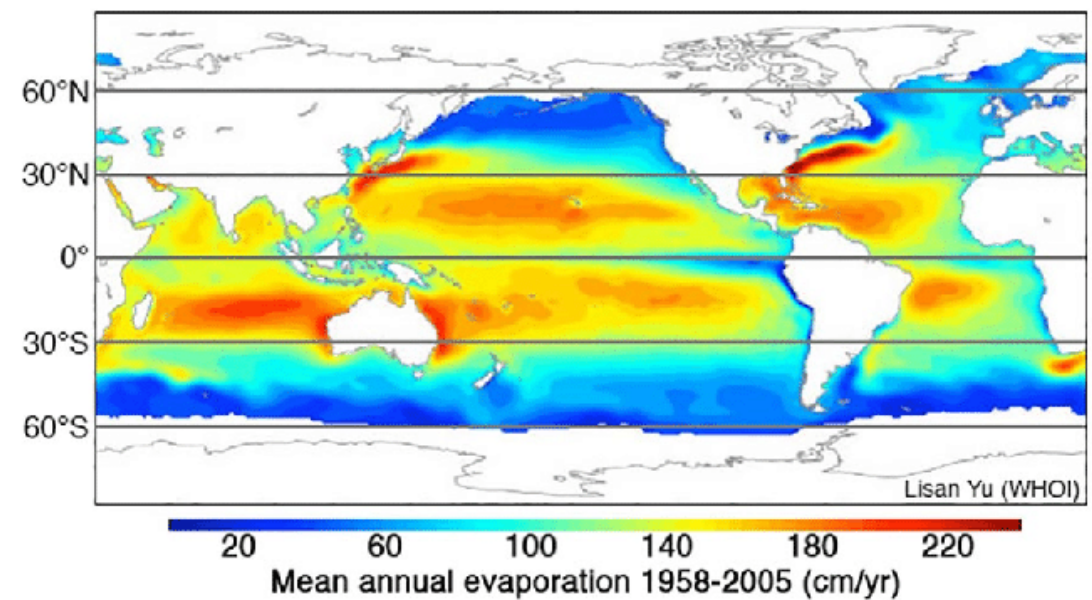
As it moves, water can transform into a liquid, a solid, or a gas. The different ways in which water moves between pools are known as **fluxes**. **Circulation** mixes water in the oceans and transports water vapor in the atmosphere. Water moves between the atmosphere and the Earth's surface through **evaporation**, **evapotranspiration**, and **precipitation**. Water moves across the land surface through **snowmelt**, **runoff**, and **streamflow**. Through infiltration and **groundwater recharge**, water moves into the ground. When underground, groundwater flows within aquifers and can return to the surface through **springs** or from natural **groundwater discharge** into rivers and oceans.

Humans alter the water cycle. We redirect rivers, build dams to store water, and drain water from wetlands for development. We use water from rivers, lakes, reservoirs, and groundwater aquifers. We use that water (1) to supply our **homes and communities**; (2) for **agricultural** irrigation and **grazing** livestock; and (3) in **industrial** activities like thermoelectric power generation, mining, and aquaculture. The amount of available water depends on how much water is in each pool (water quantity). Water availability also depends on when and how fast water moves (water timing), how much water is used (water use), and how clean the water is (water quality).

Human activities affect **water quality**. In agricultural and urban areas, irrigation and precipitation wash fertilizers and pesticides into rivers and groundwater. Power plants and factories return heated and contaminated water to rivers. Runoff carries chemicals, sediment, and sewage into rivers and lakes. Downstream from these types of sources, contaminated water can cause harmful algal blooms, spread diseases, and harm habitats. **Climate change** is also affecting the water cycle. It affects water quality, quantity, timing, and use. Climate change is also causing ocean acidification, sea level rise, and extreme weather. Understanding these impacts can allow progress toward sustainable water use.

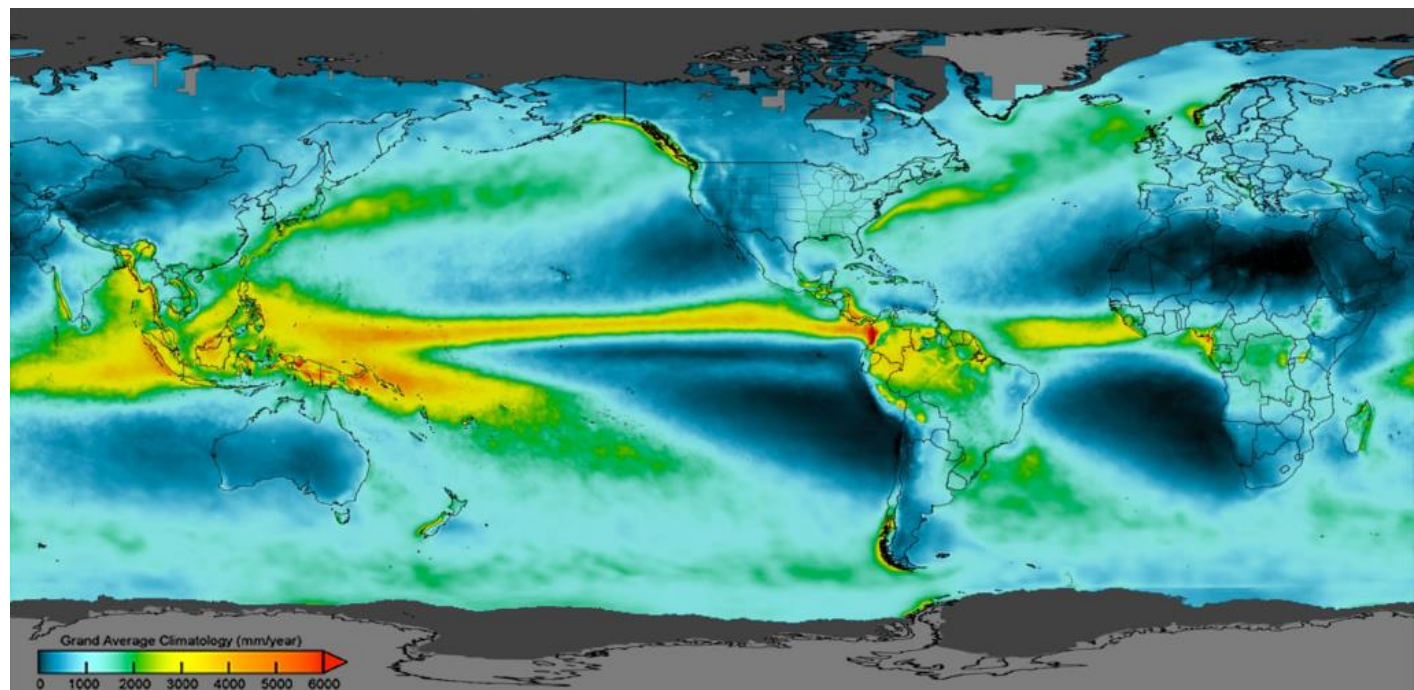
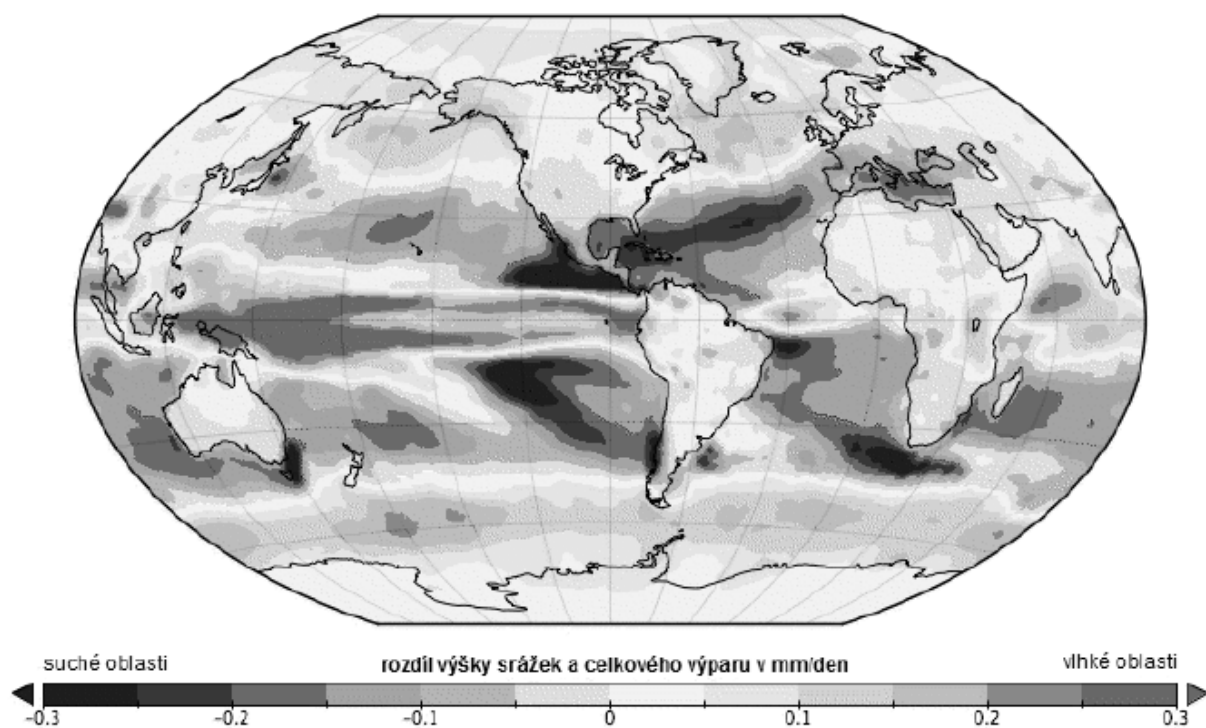
Výpar

- ▶ **Výpar zo svetového oceánu je najväčším zdrojom atmosférickej vlhkosti na Zemi**
- ▶ Najvyšší výpar v oceánoch je v pásme pasátov
- ▶ Zónálne rozloženie hodnôt výparu narušuje **pôsobenie oceánskych prúdov**
- ▶ V priemere sa z oceánov vyparí 1940 mm (južná pologuľa) a 2010 mm (severná pologuľa) vody ročne (tzn. bez zrážkových a prítokových dotácií by vďaka výparu hladina oceánu ročne klesala až o 2 m)
- ▶ Určité množstvo vlhkosti sa prenesie z oceánu nad pevninu a potom späť nad oceán = **tranzitná vlhkosť** – spôsobená vplyvom rovinatého reliéfu, v priemere sa jedná o približne 37 000 km³ vody ročne
- ▶ Významnou prekážkou pri prechode atmosférickej vlhkosti z oceánov nad kontinent sú **horské pásma** - vzniká náveterný (orografický) efekt, kedy vlhkosť spadne vo forme zrážok na náveternú stranu pohorí a na závetrnú stranu pohorí sa už dostáva suchší vzduch
- ▶ Tento fakt sa prejavuje na rozličných úrovniach zrážok, rozdielnej skladbe a bujnosti vegetácie atď. Typickým príkladom je púšť Atacama v Južnej Amerike.



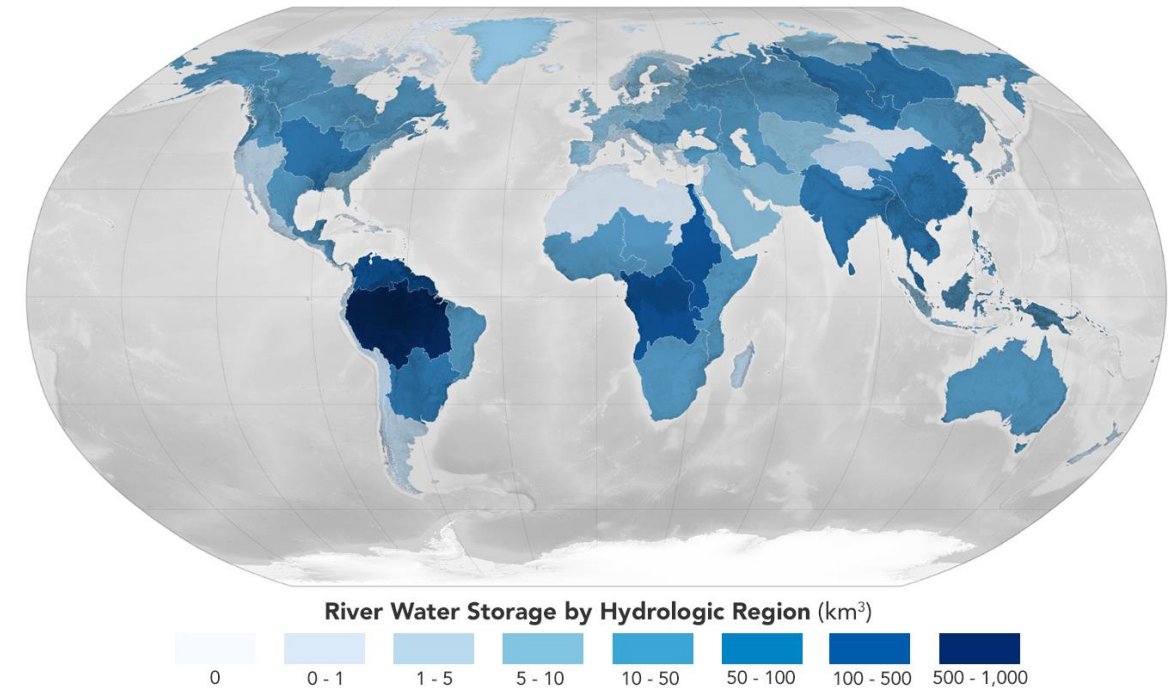
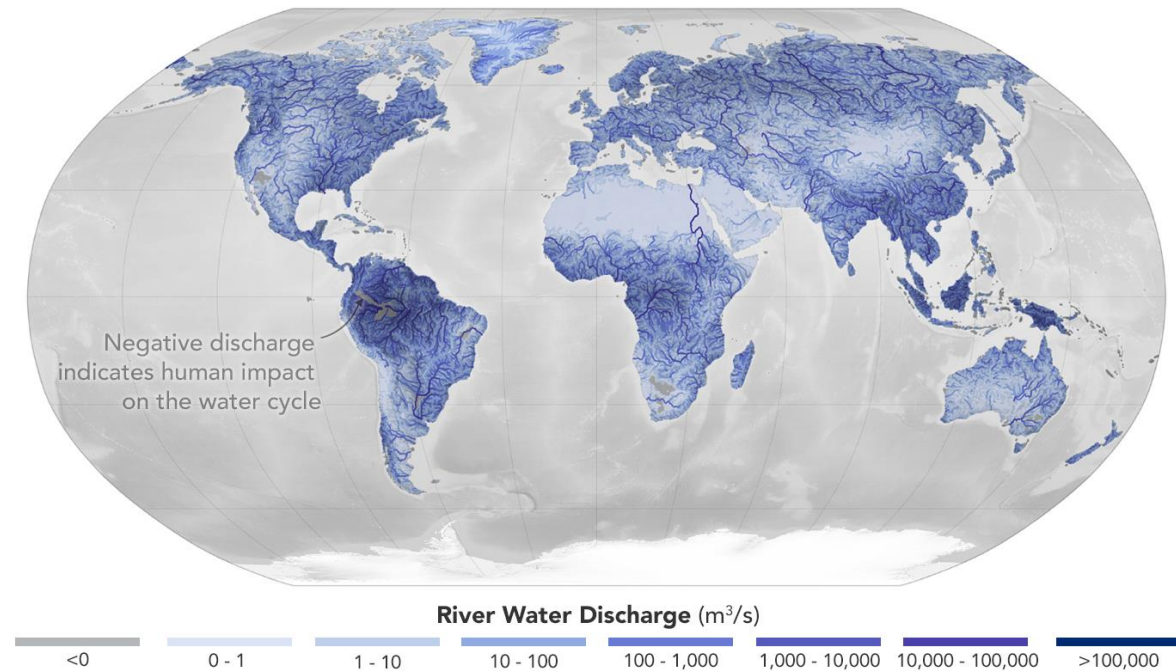
Zrážky

- ▶ **najväčšie množstvo zrážok** spadne nad svetovým oceánom v **rovníkovom pásme**
- ▶ najvyššie ročné úhrny zrážok dosahujúcich až 4000 mm boli namerané v Indickom oceáne na pobreží Barmy
- ▶ **minimum zrážok** nad oceánmi padne v **pasátových tropických zónach** medzi 20° a 30° severnej (690 mm/rok) a južnej zemepisnej šírky (1170 mm/rok)
- ▶ najmenšie úhrny boli zaznamenané v oceánoch priľahlých k Sahare a Arabskému polostrovu, ktoré nedosahovali ani 50 mm/rok
- ▶ **rozloženie zrážok a výparu** nad oceánmi **je nerovnomerné**
- ▶ pribúdanie vody v oceánoch v oblastiach s vyššími zrážkami a ubúdanie v oblastiach s vyšším výparom vyvažujú morské prúdy, ktoré ročne prenesú približne 22 mil. km³ vody



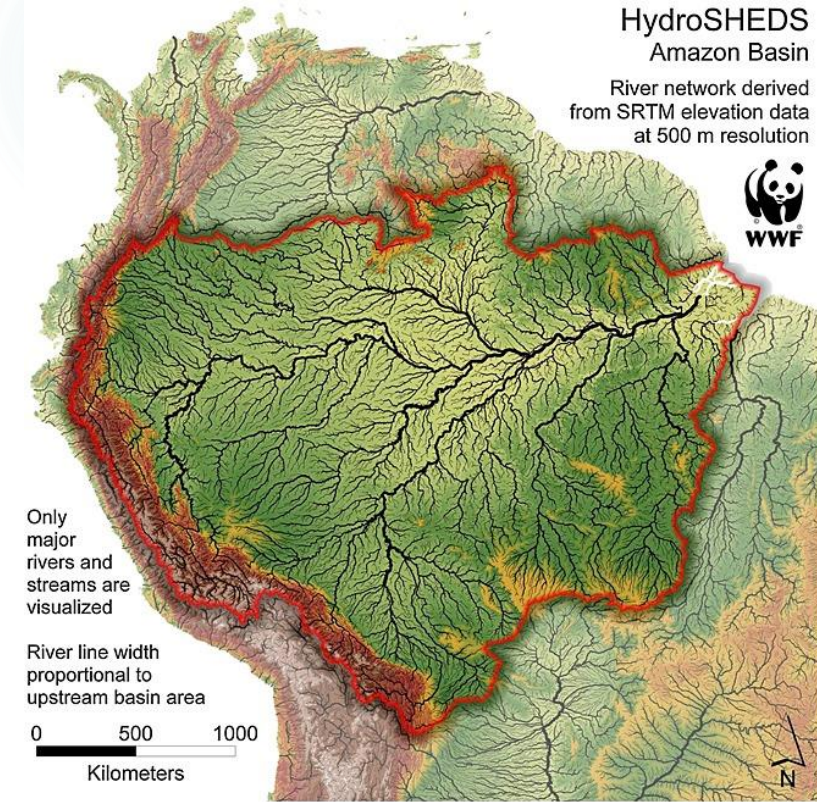
Odtok

- ▶ zo 78,5 % pevniny na Zemi voda odteká do svetového oceánu povrchovým či podzemným odtokom z **odtokových oblastí**
- ▶ Na Zemi sa vyskytuje tiež 21,5 % **bezodtokových oblastí** - odtok končí na pevnine a svetového oceánu nikdy nedosiahne
- ▶ Z bezodtokových oblastí sa voda iba vyparuje (Aralské jazero, Kapské more, Čadské jazero, náhorné plošiny uzavreté horským pásmom ako Tibet, Altiplano)
- ▶ Ročne odteká z pevniny do svetového oceánu 47 000 km³ vody (z toho 89 % tvorí voda riečna, 6 % voda z ľadovcov a 5 % podzemná voda)
- ▶ Časť pevniny, z ktorej sa uskutočňuje odtok do určitého oceánu, sa nazýva **úmorie**
- ▶ Odtok z jednotlivých úmorí do oceánov nie je rovnomerný a je závislý na vodnom režime jednotlivých vodných tokov a na rôznej ploche úmorí a oceánov



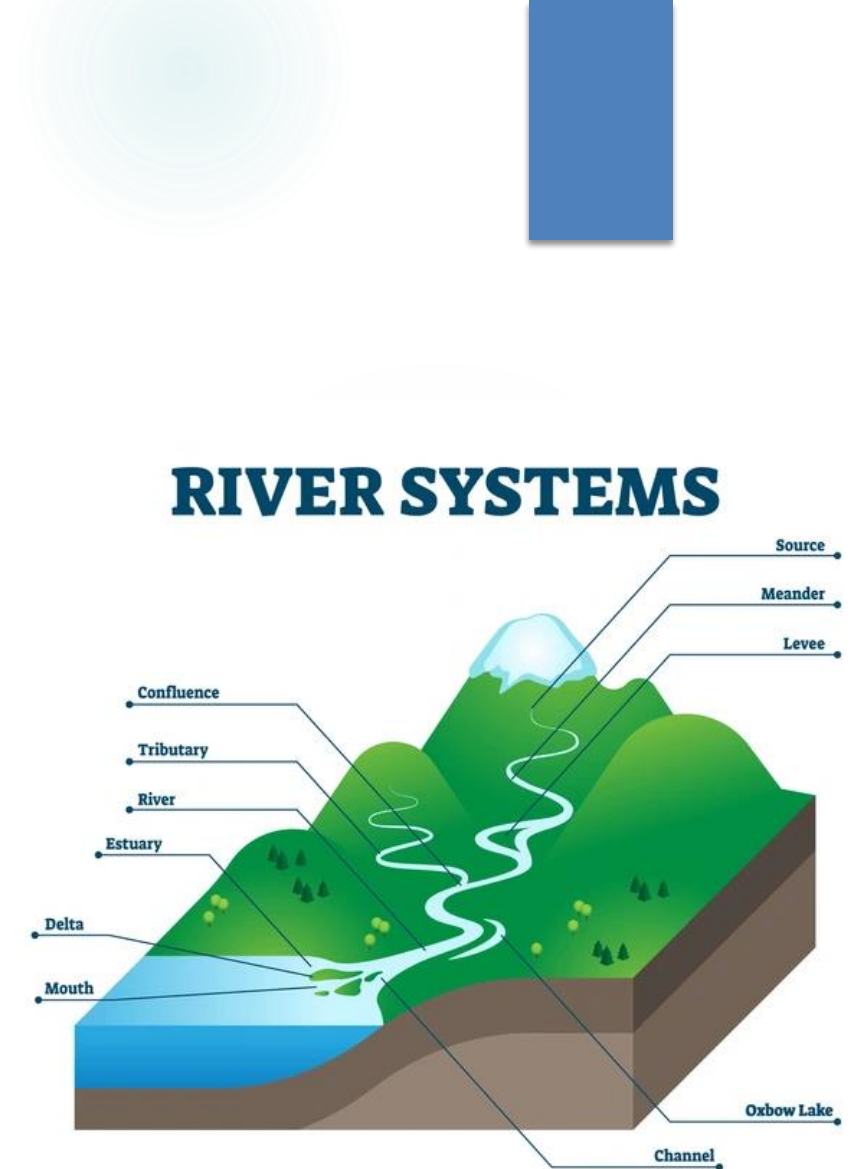
Hydrografia

- ▶ **Hydrografia** - veda, zaoberajúca sa hydrologickými, morfológickými a morfometrickými charakteristikami vodných útvarov a zároveň zákonitosťami ich geografického rozloženia na Zemi
- ▶ **Vodný útvar** - trvalé alebo dočasné sústredenie vody v rôznom skupenstve na zemskom povrchu alebo v zemskej kôre charakterizované typickými formami výskytu a znakmi hydrologického režimu, ktoré je súčasťou hydrologického cyklu
- ▶ Medzi vodné útvary môžeme zaradiť vodné toky, jazerá, snehovú pokrývku, ľadovce, kolektory...
- ▶ **Hydrografická sieť** - sústava všetkých povrchových vodných útvarov v povodí. Jedná sa o všetky potoky a rieky, rybníky a jazerá, ktoré sa na ploche povodia vyskytujú
- ▶ Vznik riek a potokov je výsledkom **zrážkovo-odtokového procesu** v krajine. Voda, ktorá vo forme atmosférických zrážok spadne na povrch, steká pôsobením gravitácie po svahoch s najväčším sklonom (ronové ryhy – stružky – zníženiny - korytá)
- ▶ Voda zo stružiek sa koncentruje v zníženinách tektonického, erózneho (strže), ľadovcového, chemického (kras), či iného pôvodu. Postupne tak vznikajú korytá vodných tokov pretekajúcich pretiahnuté zníženiny – **údolia**
- ▶ Údolia delíme podľa toho, či sú alebo nie sú pretekané vodou na:
 - ▶ **Riečne údolia** – údolia trvale pretekané vodou
 - ▶ **Suché údolia** – údolia občasne pretekané vodou alebo ktoré boli pretekané vodou v minulosti



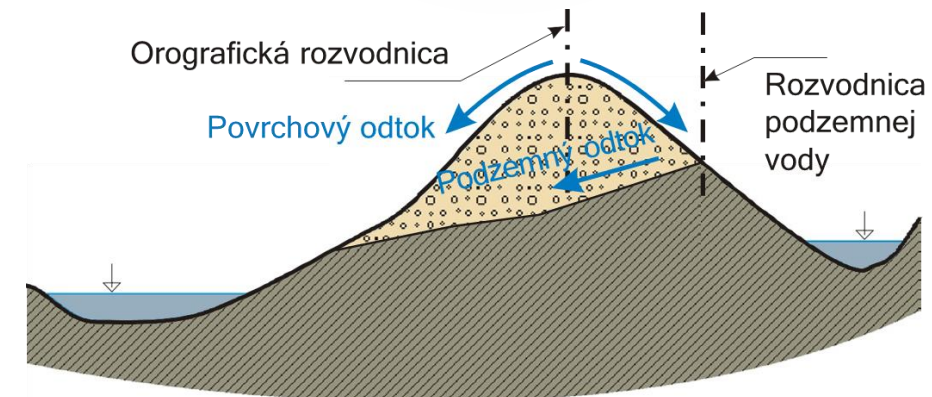
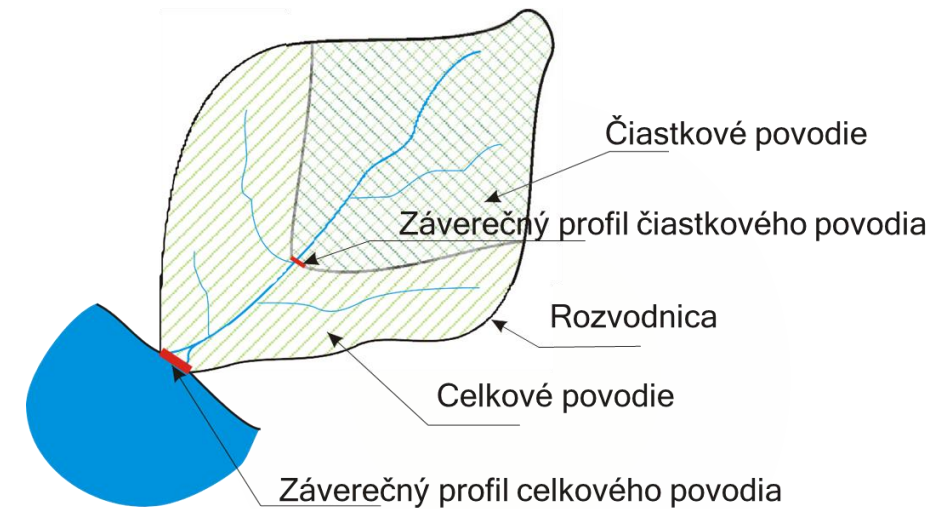
Hydrografia

- ▶ **Vodný tok** - prúd sústredeného toku vody po zemskom povrchu, ktorý je priestorovo ohraničený dnom a brehmi. Počiatok vodného toku je označovaný ako prameň, koniec vodného toku ako ústie, čo je miesto, kde sa rieka vlieva do rieky vyššieho rádu, jazera alebo mora.
- ▶ **Prameň** (počiatok) vodného toku môže byť výver podzemnej vody, výtok z ľadovcov, bažín a močiarov alebo sútok dvoch a viacerých tokov nižšieho rádu
- ▶ **Zdrojnica** - pramenný úseky riek. V prípade, že vodný tok má viac zdrojnic, existuje niekoľko pravidiel, podľa ktorých sa určuje, ktorá z nich je pramenná. Predovšetkým rozhoduje ich **dĺžka, vodnatosť, nadmorská výška prameňa, pomenovanie**. V prípadoch, keď má rieka nepomenované, rovnako dlhé a vodnaté zdrojnice, určuje sa ako prameň počiatočný „ľavý“ z nich (smerom od prameňa)
- ▶ **Ústie** - môže mať jednoduchú podobu (sútok dvoch riek, vtoku rieky do jazera) alebo špeciálnu – **delta** (ak koniec rieky sa potom označuje miesto ústia najdlhšieho a najvodnatejšieho z ramien), ponor či prepád v krasovej oblasti
- ▶ V prípade komplikovanej delty sa koniec rieky označuje miestom pred začiatkom vetvenia



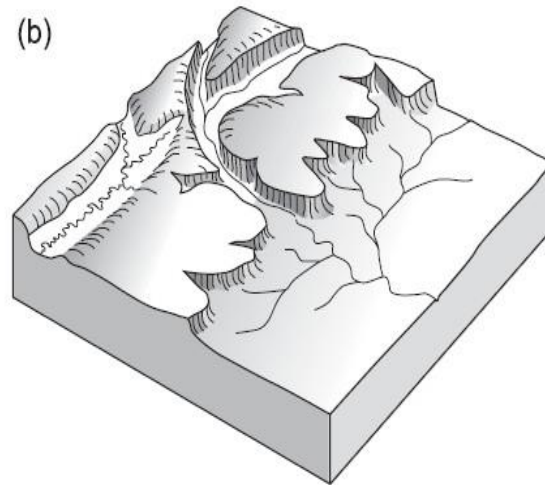
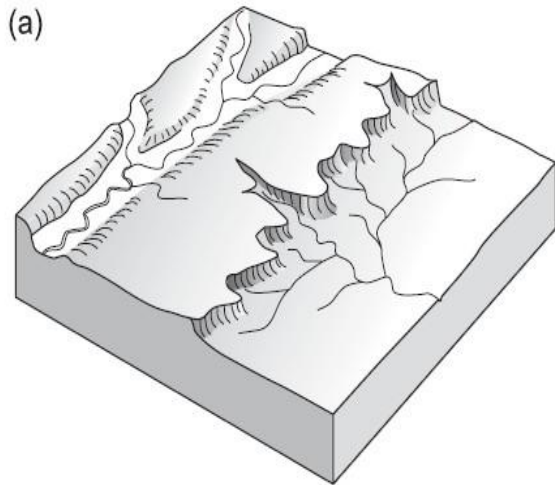
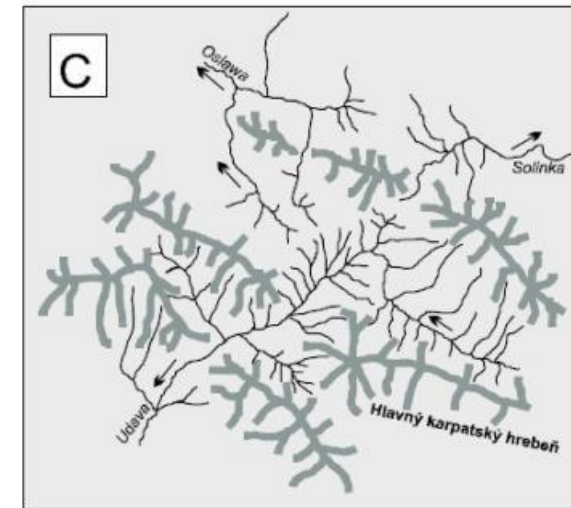
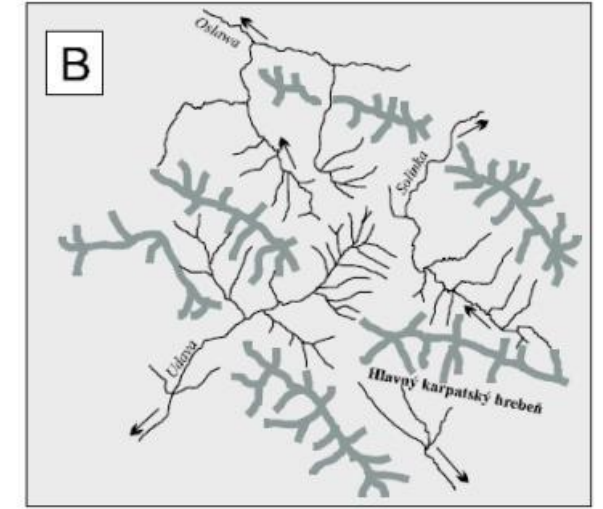
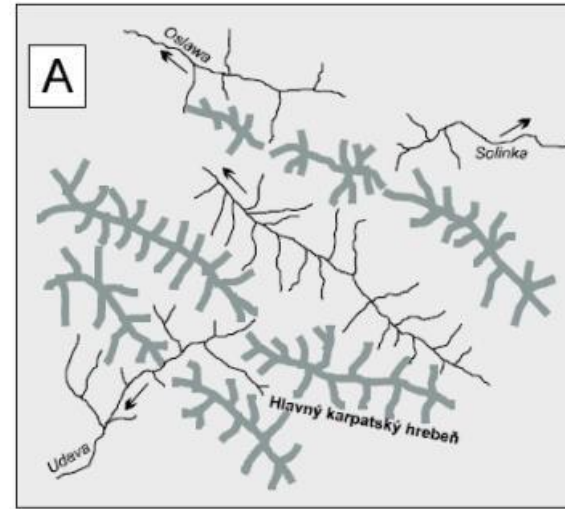
Povodie

- ▶ Vodný tok spoločne so všetkými svojimi prítokmi vytvára **riečnu sieť (riečnu sústavu)**, ktorá je osou hydrografickej siete
- ▶ **Povodie** = Uzatvorená plocha, z ktorej sa realizuje odtok zrážkovej vody jedným záverečným profilom na vodnom toku (napr. hydrologická stanica, vtok do nádrže, najčastejšie ústie)
- ▶ Povodie je základná hydrologická priestorová jednotka vymedzená **rozvodnicou** = myslená hraničná čiara medzi dvoma susednými povodiami. Povodie považujeme za hydrologicky uzavretú jednotku.
- ▶ Rozvodnice môžu nadobúdať dvojitú podobu:
 - ▶ **Orografická rozvodnica** – vymedzuje povodie povrchovej vody, prebieha od záverového profilu po najvyššie body povodia. Prakticky sa jedná o hrebeň dvoch priliehajúcich svahov toho istého hrebeňa. Pre konštrukciu orografickej rozvodnice určitého vodného toku potrebujeme mapu s riečnou sieťou, vrstevnicami a kótami. Rozvodnica sa konštruuje od ústia a v tom istom bode taktiež končí
 - ▶ **Hydrogeologická rozvodnica** – často sa kryje s orografickou rozvodnicou, ale na miestach so zložitejšou geologickou stavbou môže byť jej priebeh odlišný (napr. kras, striedanie priepustných a nepriepustných vrstiev), keď podzemná voda môže odtekať do iného povodia než povrchová voda v orografickom povodí
- ▶ Špeciálnymi prípadmi pri určovaní rozvodníc sú:
 - ▶ **Bifurkácia** - jedno z ramien vetviaceho sa vodného toku ústi do povodia iného toku
 - ▶ **Riečne pirátstvo** - vodný tok uchváti povodie iného toku (alebo tzv. „načerpáva vodu“) napr. spätnou eróziou alebo zosuvom či tektonikou



Povodie

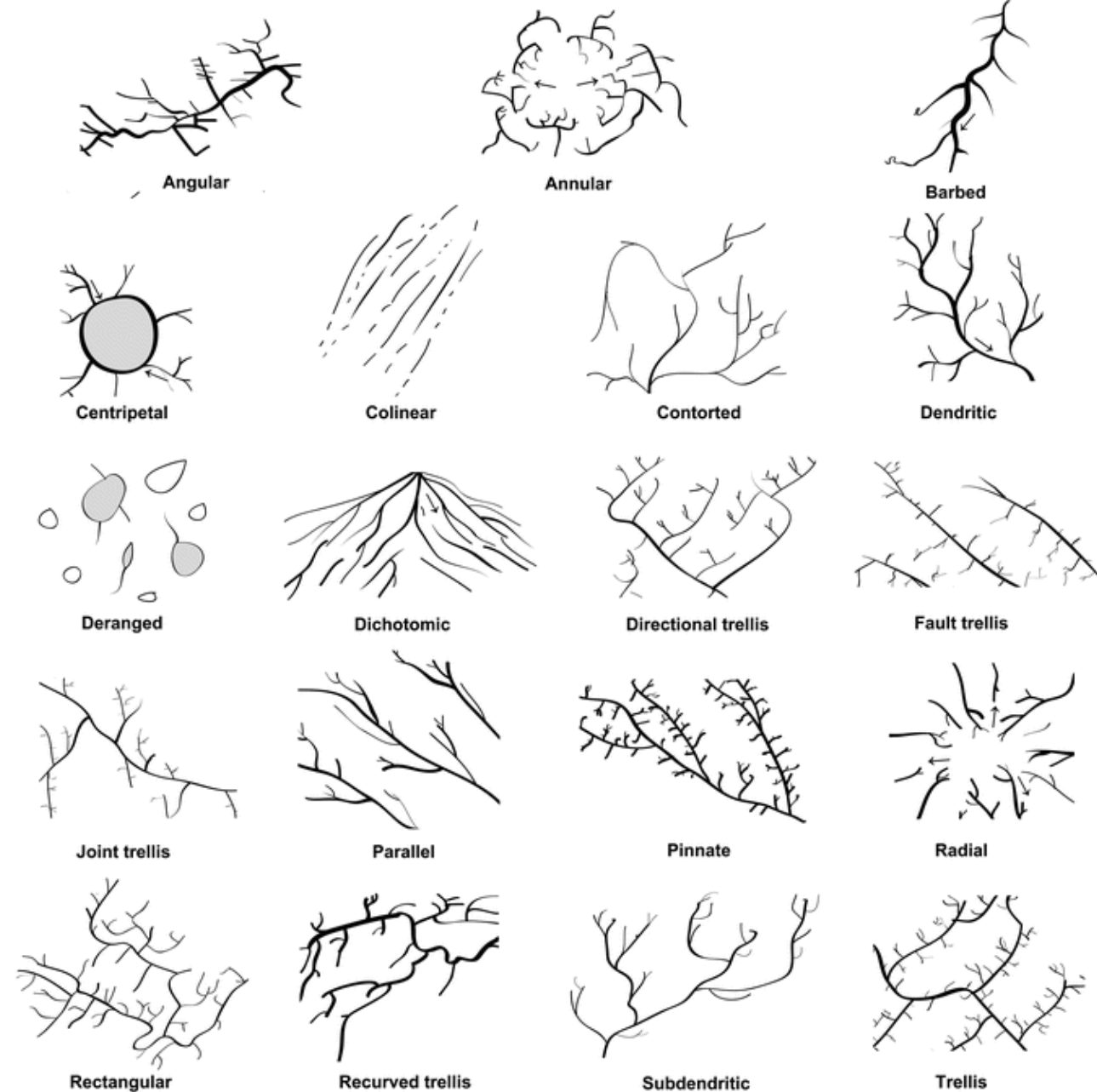
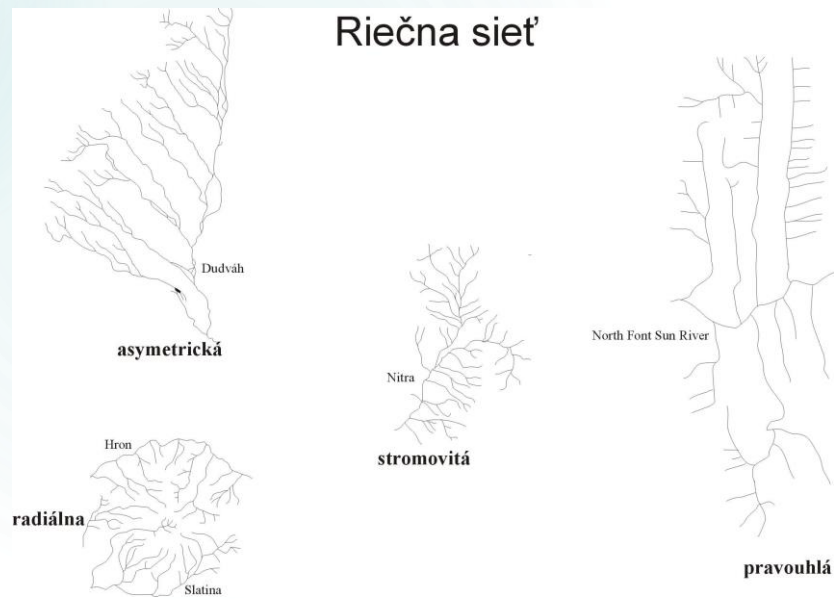
- ▶ Vývoj rozvodia medzi povodiami riek Udava, Solinka a Oslawa
 - ▶ A – stav pred pirátstvom
 - ▶ B – súčasný stav
 - ▶ C – prognóza vývoja
-
- ▶ Riečne pirátstvo predstavuje transformáciu povodia



Usporiadanie riečnej siete

- Usporiadanie hlavného toku a jeho prítokov v povodí nadobúda rôzne tvary, závislé na geologickej stavbe povodia a štádiu vývoja reliéfu. Typické tvary riečnej siete sú:

- stromovitá riečna sieť
- asymetrická riečna sieť
- vejírovitá riečna sieť
- radiálna riečna sieť
- anulárna riečna sieť
- mriežkovitá (pravoúhla) riečna sieť



Hustota riečnej siete

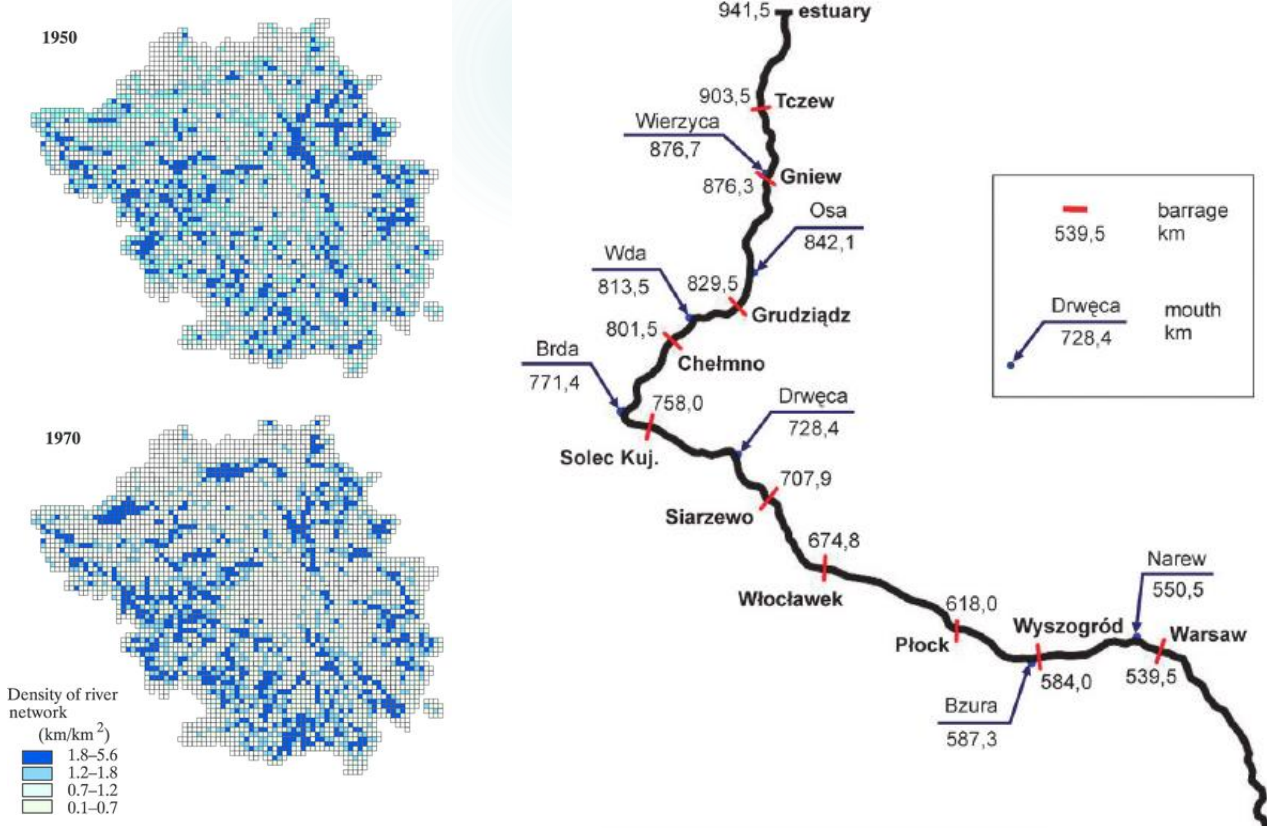
- Udáva celkovú dĺžku vodných tokov na jednotku plochy zvoleného územia
- V našich pomeroch zvyčajne platí, že hustota riečnej siete je najvyššia v oblastiach s vyššími nadmorskými výškami, kde sa môžu vodné toky prirodzene vyvíjať, na rozdiel od obývaných a hospodársky intenzívne využívaných oblastí, kde bola riečna sieť značne upravená (napríklad) a rada drobných vodných tokov bola odvedená do potrubí
- Hustota riečnej siete:

$$r = \frac{\sum L}{P} \text{ [km/km}^2\text{]}$$

ΣL = súčet dĺžok všetkých vodných tokov (v km)

P = plocha povodia (v km²)

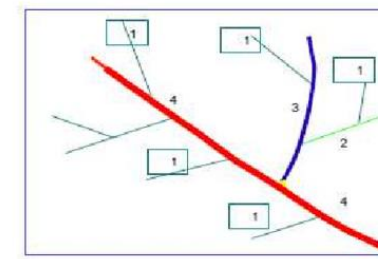
- **Schéma riečnej siete** – zjednodušená podoba riečnej siete poukazuje na ľavo a pravo- stranné prítoky ako aj ich dĺžku



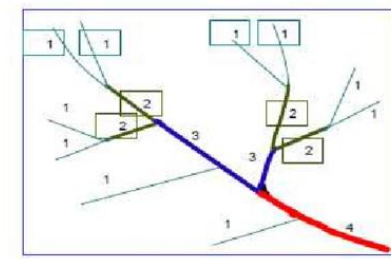
hodnota r (km/km ²)	označenie
≤ 0,3	veľmi nízka
0,31–0,50	nízka
0,51–0,70	Stredná
0,71–1,10	Vysoká
≥ 1,11	veľmi vysoká

Charakteristiky vodného toku

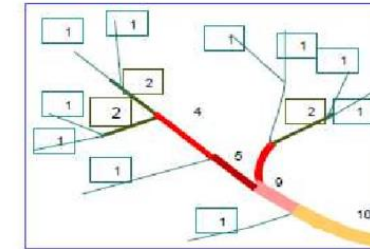
- ▶ **Rád vodných tokov** je vyjadrením hierarchie vodných tokov v rámci riečnej siete (cca 11 klasifikácií)
- ▶ Podľa spôsobu ich odvodu:
- ▶ **Absolútny rád - Gravelov rád** - toky, ktoré ústia do mora sú označované ako rieky 1. rádu. Prítoky týchto riek sú potom označované ako 2. rádu atď. výhodou systému je prehľadnosť, avšak pri vzájomnom štatistickom porovnávaní vodných tokov môžeme naraziť na problém, keď dve rieky rovnakého rádu svojím charakterom vôbec nezodpovedajú (Dunaj vs. Krátky prítok do mora obe 1. rád)
- ▶ **Relatívny rád:**
 - A) Strahlerova** klasifikácia je založená na princípe označovania úsekov vodných tokov po sútoky. Pramenné úseky (zdrojnice) majú označenie 1. rádu. Pri sútoky dvoch úsekov vodných tokov rovnakého rádu vzniká vodný tok vyššieho rádu. Pri sútoky dvoch úsekov vodných tokov rôzneho rádu sa zachováva číslo vyššieho rádu, ktoré sa však nezvyšuje.
 - B) Shrevova** klasifikácia vychádza z rovnakého princípu ako Strahlerova, teda označovania pramenných úsekov (zdrojnic) 1. rádu. Ďalšie úseky vodných tokov sú potom označované rády podľa počtu pramenných úsekov, ktoré sa na ich „vzniku“ podieľajú. Tzn. že dvoma zdrojnicami 1. rádu vznikne úsek 2. rádu, pri sútoky s ďalšou zdrojnicou vznikne úsek 3. rádu atď. Určuje sa tak magnitúda určitého úseku medzi dvoma sútokmi ako počet zdrojnic 1. rádu nachádzajúcich sa na úseku rieky na toku.
 - C) Hortonova** klasifikácia bola jednou z prvých klasifikácií relatívnej rádovosti vodných tokov, vychádza z rovnakého princípu označovania pramenných úsekov ako Strahlerova, s tým rozdielom, že pri sútoky dvoch úsekov tokov rovnakého rádu dochádza k opätovnému preoznačeniu dlhšieho, významnejšieho či vodnatejšieho z nich číslom vyššieho rádu. Týmto spôsobom môžeme vystopovať zdrojnicu najvýznamnejšieho toku riečnej siete.
 - D) Scheiddeggerova** klasifikácia označuje zdrojnice ako toky 2. rádu, potom pracuje na rovnakom princípe ako Shrevova, pri sútoky dvoch zdrojnic vznikne úsek štvrtého rádu. Nikdy sa tak v rádoch neobjavujú nepárne čísla.
- ▶ Horton tiež definoval zákonitosti usporiadania riečnej siete: počet tokov určitého rádu klesá geometrickým radom spolu so stúpajúcim číslom rádu, priemerná dĺžka toku určitého rádu geometricky stúpa spolu s rastúcim číslom rádu, priemerná plocha povodia toku určitého rádu geometricky stúpa s rastúcim číslom rádu



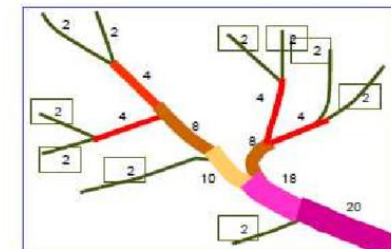
A- Horton



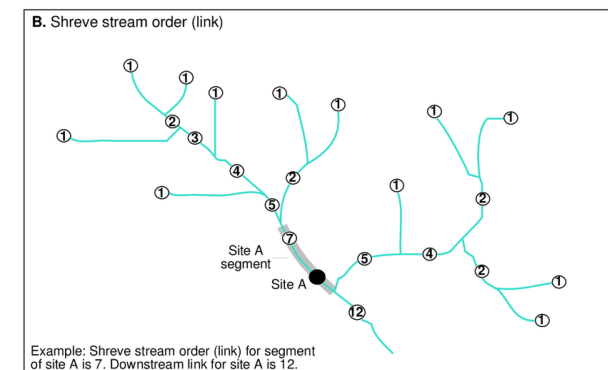
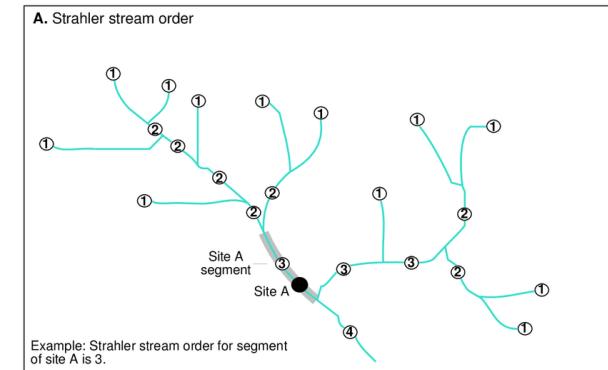
B- Strahler



C- Shreve



D- Scheidegger



Charakteristiky vodného toku

- ▶ **Dĺžka vodného toku (L)** - sa uvádza v km, jedná sa o dĺžku strednice pôdorysného obrazu koryta toku. Dielčie vzdialenosti, ktoré sa merajú od ústia proti prúdu, sa nazývajú **kilometráž** (tiež stanovenie). V niektorých prípadoch sa dĺžka vodného toku nahrádza dĺžkou údolia. Dĺžka vodného toku sa v čase mení v súvislosti s vývojom koryta, prípadne regulačnými úpravami.
- ▶ **Stupeň vývoja vodného toku (K)** - inak tiež miera krivosti toku je pomer medzi skutočnou dĺžkou vodného toku a najkratšou priamou vzdialenosťou prameňa a ústia. Nadobúda vždy hodnotu ≥ 1 . Platí, že čím viac sa stupeň vývoja toku navyšuje od 1, tým je vodný tok viac krivolaký (meandrovanie, zákruty atď.)

$$K = \frac{L}{L_x}$$

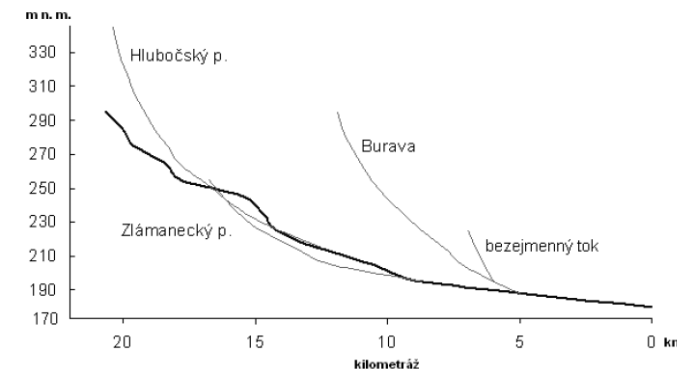
- ▶ **Priemerný sklon vodného toku (I_t)** - orientačné stanovenie sklonu vodného toku po celej jeho dĺžke:

kde H_p je nadmorská výška prameňa (m n. m.), H_u nadmorská výška ústia (m n. m.), L je dĺžka vodného toku (m).

Uvádza sa v percentách % alebo v promile ‰. Čím väčší výškový rozdiel medzi prameňom a ústím musí vodný tok prekonať, tým väčšia bude hodnota jeho sklonu. S rastúcou dĺžkou vodného toku (meandrovanie atď.) sa však sklon znižuje.

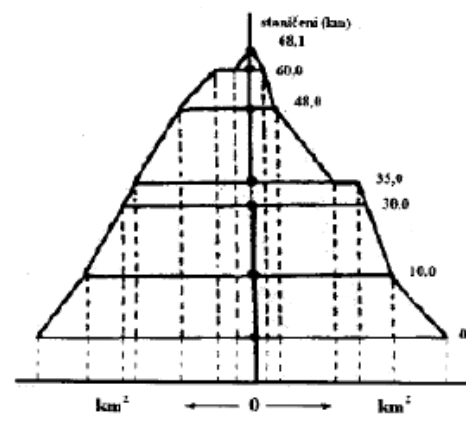
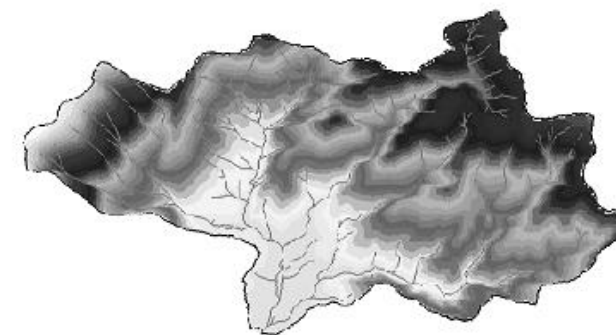
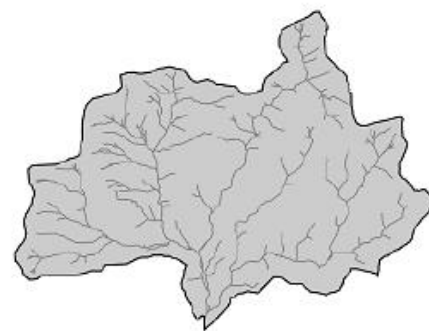
$$I_t = \frac{H_p - H_u}{L} \times 100 [\%]$$

- ▶ **Spádová krivka** - priesečník zvislej roviny s geografickou plochou, t. j. reálnym povrchom, po ktorom vodný tok steká. Konštrukcia krivky je jednoduchá na os x nanášame vzdialenosť od prameňa k ústiu (prípadne obrátene – formou kilometráže) a na os y nadmorskú výšku.
 - ▶ Spádová krivka môže byť **jednoduchá** (zobrazený iba záujmový vodný tok) alebo **rozvinutá** (v takom prípade sú zobrazené ďalšie krivky prítokov). Pri konštrukcii rozvitej spádovej krivky musíme dbať na dodržanie správnej kilometráže ústia jednotlivých prítokov. Pri konštrukcii postupujeme od ústia smerom k prameňu



Vlastnosti povodia

- **Plocha povodia** (Sp,P,A,FSp,P,A,F) - odvodzujeme planimetricky z vhodného mapového podkladu. Jedná sa o plochu pôdorysného priemeru povodia do vodorovnej roviny. Plocha povodia sa najčastejšie udáva v km² alebo v ha.
- Reálna plocha povodia v teréne je vždy väčšia než plocha povodia odvodená z mapového podkladu. Príčinou je členitosť reliéfu, ktorá v mape nemôže byť zohľadnená. Reálnu plochu povodia tak možno určiť z digitálnych modelov reliéfu v prostredí GIS. Všeobecne možno povedať, že vo väčších odchýlkach bude plocha povodia reálna od planimetrickej nadobúdať väčšiu hodnotu v členitom reliéfe.
- **Graf vývoja povodia** - pravouhlý graf vývoja povodia zobrazuje zväčšovanie plochy povodia s rastúcou dĺžkou vodného toku. Kruhový graf vývoja povodia potom podáva informácie o plošnom príspevku jednotlivých prítokov k celkovej ploche povodia s farebným odlíšením lavostranných a pravostranných prítokov



Zjednodušený graf vývoje povodia Berounky



Vlastnosti povodia

- ▶ **Stredná šírka povodia (b, Bb, B)** - pomer plochy povodia a dĺžky vodného toku. Jednotky sú kilometre alebo metre, v závislosti na dĺžke vodného toku:
- ▶ **Dĺžka rozvodnice (L_R)** - uvádza sa v km
- ▶ **Dĺžka povodia (L)** - priamočiara vzdialenosť ústia a najvzdialenejšieho bodu povodia, označuje sa rovnako ako dĺžka vodného toku L a uvádza sa v kilometroch
- ▶ **Tvar povodia** - dôležitá kvantitatívna charakteristika povodia. Určuje, či je povodie podlhovastého alebo kruhovitého tvaru alebo jeho symetrickosť či asymetrickosť. Existuje niekoľko spôsobov výpočtu tvaru povodia či jeho súmernosti:
 1. Charakteristika povodia (α):
 2. Gravelliov koeficient (K_G) - nakoľko sa tvar povodia líši od „ideálneho“ tvaru, t. j. kruhového povodia (K_G=1) :
 3. Koeficient pretiahnutosti povodia Elongation ratio (R_E) - podiel priemeru kruhu o rovnakej ploche ako je plocha povodia a dĺžky povodia:
 4. Koeficient (stupeň) súmernosti povodia (K_S) - udáva symetričnosť či asymetričnosť tvaru povodia na základe plochy pravostranných a ľavostranných prítokov

Index členitosti rozvodnice

$$\chi = \frac{Z}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S}}$$

$$b = \frac{P}{L} \quad [\text{km}]$$

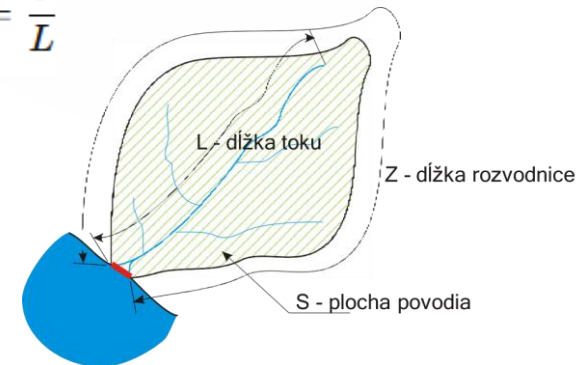
Tvar povodia	Plocha S < 50 km ²	Plocha S > 50 km ²
Pretiahnutý	α < 0,24	α < 0,18
Prechodný	0,24 < α < 0,26	0,18 < α < 0,20
Vejárovitý	α > 0,26	α > 0,20

$$\alpha = \frac{P}{L^2} \quad \text{alebo tiež} \quad \alpha = \frac{b}{L}$$

$$K_G = \frac{L_r}{2\sqrt{P\pi}}$$

$$R_E = \frac{2\sqrt{\frac{P}{\pi}}}{L}$$

$$K_S = \frac{|P_L - P_P|}{P} \quad \text{alebo} \quad K_S = \frac{|P_L - P_P|}{P_L + P_P}$$



Výškopisné pomery povodia

- ▶ Výškové pomery v povodí môžeme vyjadriť pomocou:

- ▶ priemerná nadmorská výška povodia (H_p):

$$H_p = \frac{H_{\min} + H_{\max}}{2}$$

- ▶ Jednoduchý priemerný sklon povrchu povodia (I):

$$I = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{P}} \times 1000 [\text{‰}]$$

- ▶ Presnejší priemerný sklon povrchu povodia (I_F) podľa Herbstovho vzorca, kde sa zohľadňujú výškové intervaly vrstevníc a dĺžka jednotlivých vrstevníc:

$$I_F = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h \cdot \sum_{r=1}^n l_r}{P}$$

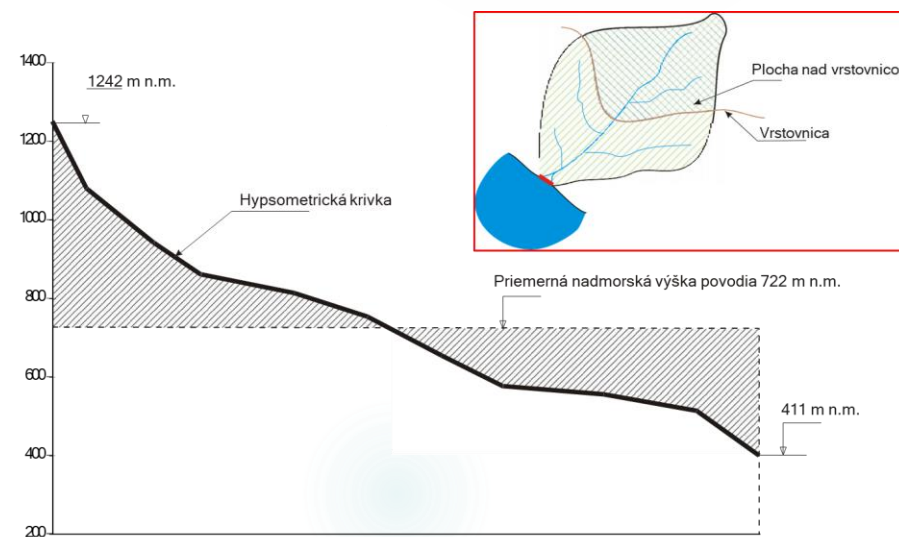
H_{\min} - minimálna nadmorská výška v povodí (m n. m.)

H_{\max} - maximálna nadmorská výška v povodí (m n. m.)

h - výškový interval vrstevníc (m)

L_r - dĺžka r -tej vrstevnice v povodí (m)

P - plocha povodia (m^2)



Povodie - nadmorská výška

- Výškové pomery v povodí môžeme vyjadriť pomocou:

- Presnejší výpočet priemernej nadmorskej výšky (H):

$$\bar{H} = \frac{1}{2S} \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cdot (H_i + H_{i+1})$$

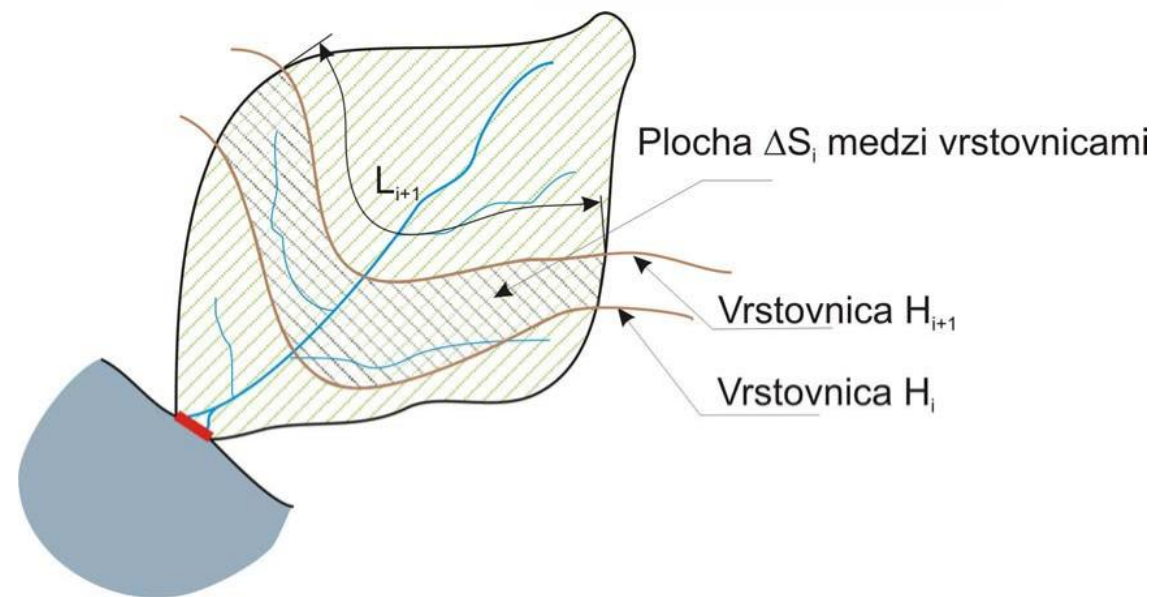
- Sklon povodia:

$$i_s = \frac{\Delta h}{S} \cdot \left(\frac{L_1}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} L_i + \frac{L_n}{2} \right)$$

- Index sklonitosti povodia s použitím indexu členitosti rozvodnice:

$$I_s = \frac{1}{\sqrt{S \cdot L^*}} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta S_i \cdot (H_i + H_{i+1})}$$

$$L^* = \sqrt{S} \cdot \frac{\chi}{1,12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{\chi} \right)^2} \right]$$



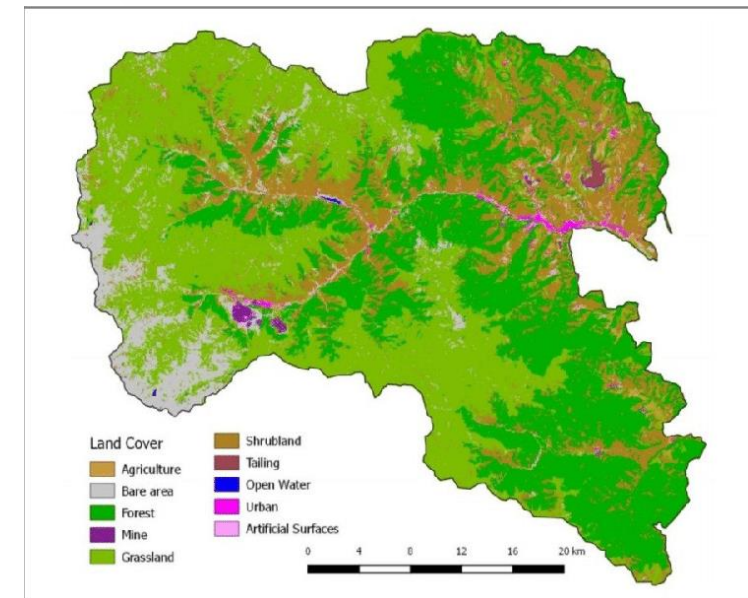
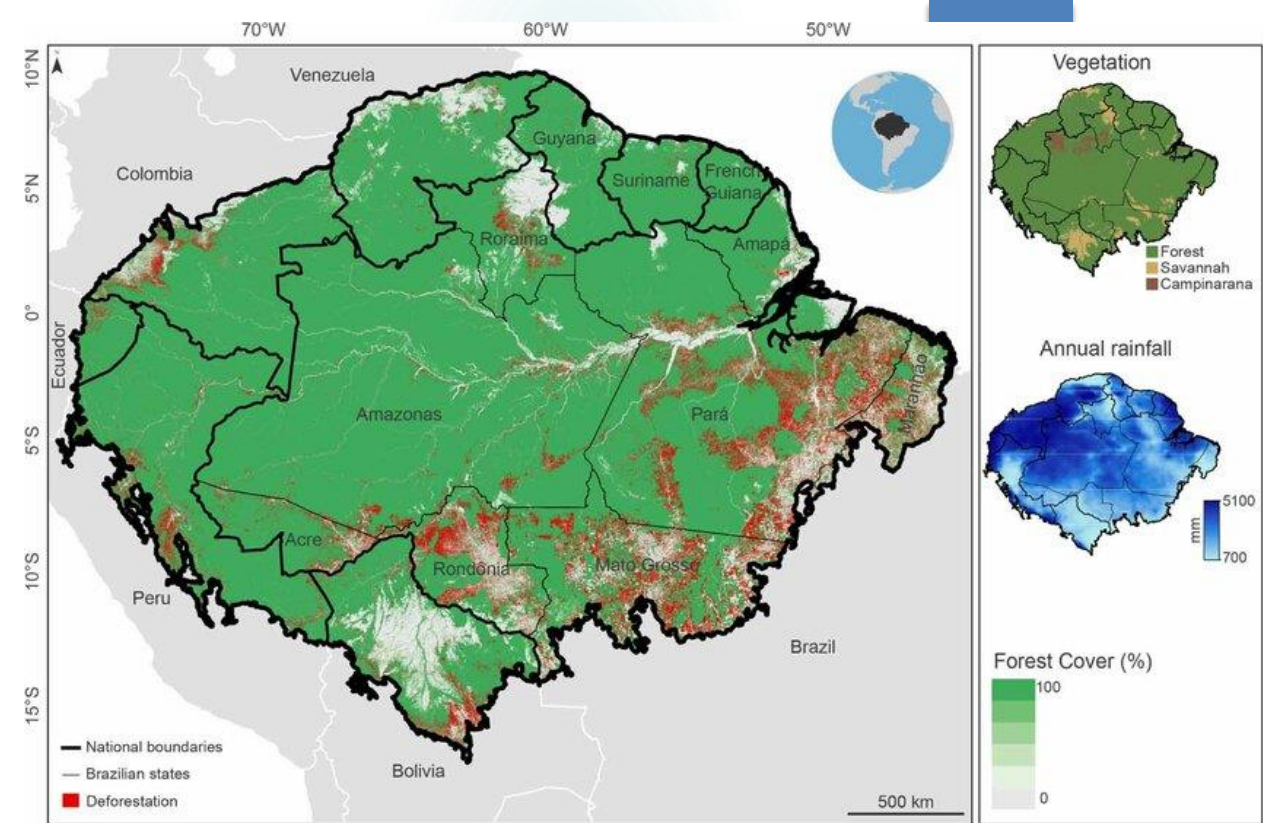
Lesnatosť povodia

- ▶ charakteristika, ktorá reprezentuje vegetačné pomery v povodí a to konkrétne zastúpenie lesov, ako významných činiteľov ovplyvňujúcich hydrologický režim
- ▶ **Lesnatosť (K_l)** - udáva v percentách zastúpenie plochy lesov na celkovej ploche povodia:

$$K_l = \frac{\sum P_l}{P} \times 100 [\%]$$

kde P_l je plocha lesov v povodí (km^2) a P plocha povodia (km^2)

- ▶ Medzi ďalšie charakteristiky povodí môžeme zaradiť:
 - ▶ **Geologické pomery** (zastúpenie jednotlivých geologických útvarov v povodí, ich pôvod, uloženie vzhľadom k hydrogeologickým podmienkam atď.),
 - ▶ **Pedologické** (zastúpenie jednotlivých typov a druhov pôd, náchylnosť k erózii, infiltračné vlastnosti atď.)
 - ▶ **Klimatické** (zrážkové, teplotné údaje, klimatické oblasti...)
 - ▶ Dôležitým prvkom charakteristiky povodí, vypovedajúcim o činnosti človeka, je **land-use**. Podáva informácie o využití plach v povodí, či je v ňom silne zastúpená orná pôda, zastavané plochy alebo skôr lesy a pastviny.



Povodie riek v SR

Tok	Plocha povodia na území SR [km ²]	Dĺžka toku na území SR [km]	Priemerná hustota riečnej siete [km/km ²]	Sklon povodia [%]	Lesnatosť [%]	Priemerný ročný prietok [m ³ .s ⁻¹]
Dolná Morava	2282	114	0,175	-	36	120
Dunaj	1138	172	-	-	12	
Váh	14268	403	2	4 - 1,01	43	196
Nitra	4501	196,7	1,42	1,1 - 0,45	28	23,1
Hron	5465	284	2,19	7,6 - 0,9	47	55,2
Ipeľ	3649	151,5	0,73	13,2 - 1	36	18,2
Slaná	3217	92,5	0,5-3	2 - 0,05	54	21,7
Bodva	858	48,4	0,78	3,5 - 1,08	46	5,8
Bodrog + Tisa	7272	16	0-3	10 - 0,7	38	54,8
Hornád	4414	193	1,12	15,9 - 1,2	48	32,0
Poprad	1950	144	-	-	-	22,3

Bilančná rovnica

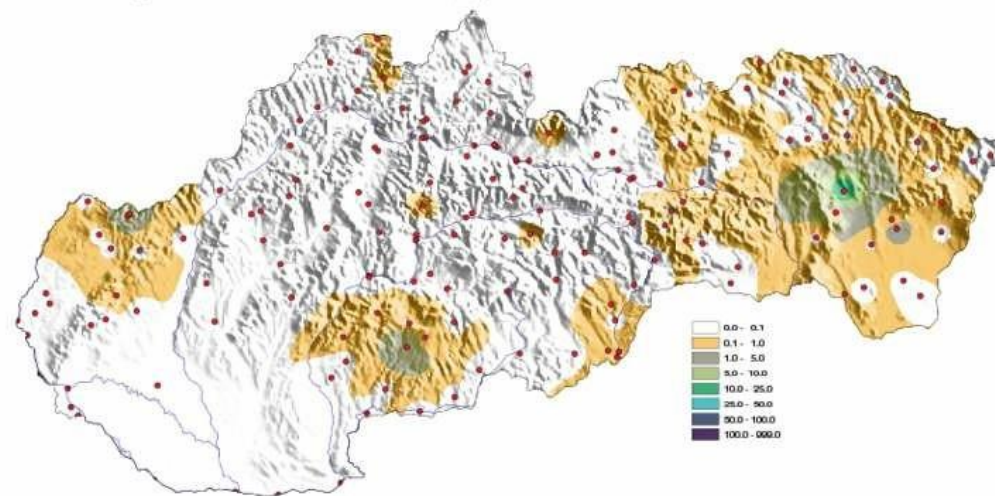
- ▶ Z – zrážky (ročný úhrn v mm)
- ▶ V – výpar
- ▶ O – odtoková výška
- ▶ R – zásoby vody v povodí
- ▶ U – výmena medzi povodiami

$$Z = V + O \pm R \pm U$$

Hydrologický rok - od 1.11 do 31.10

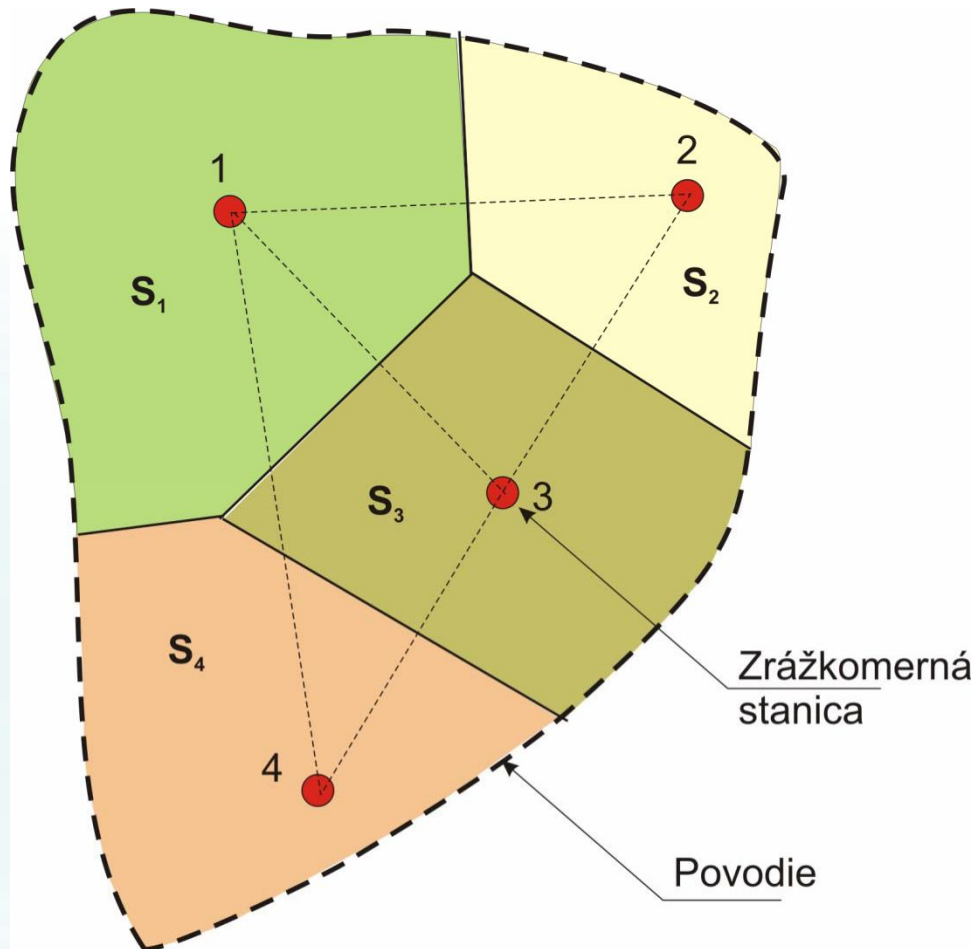


Uhrn zrážok v mm za predch. 24 hod. k 03.05.2009 06:00 obcianskeho casu
generovane 03.05.2009 05:25:01 UTC, (c) SHMU-POVAPSYS & DBC



Úhrn zrážek v povodí

- Metóda Thiessenových polygónov

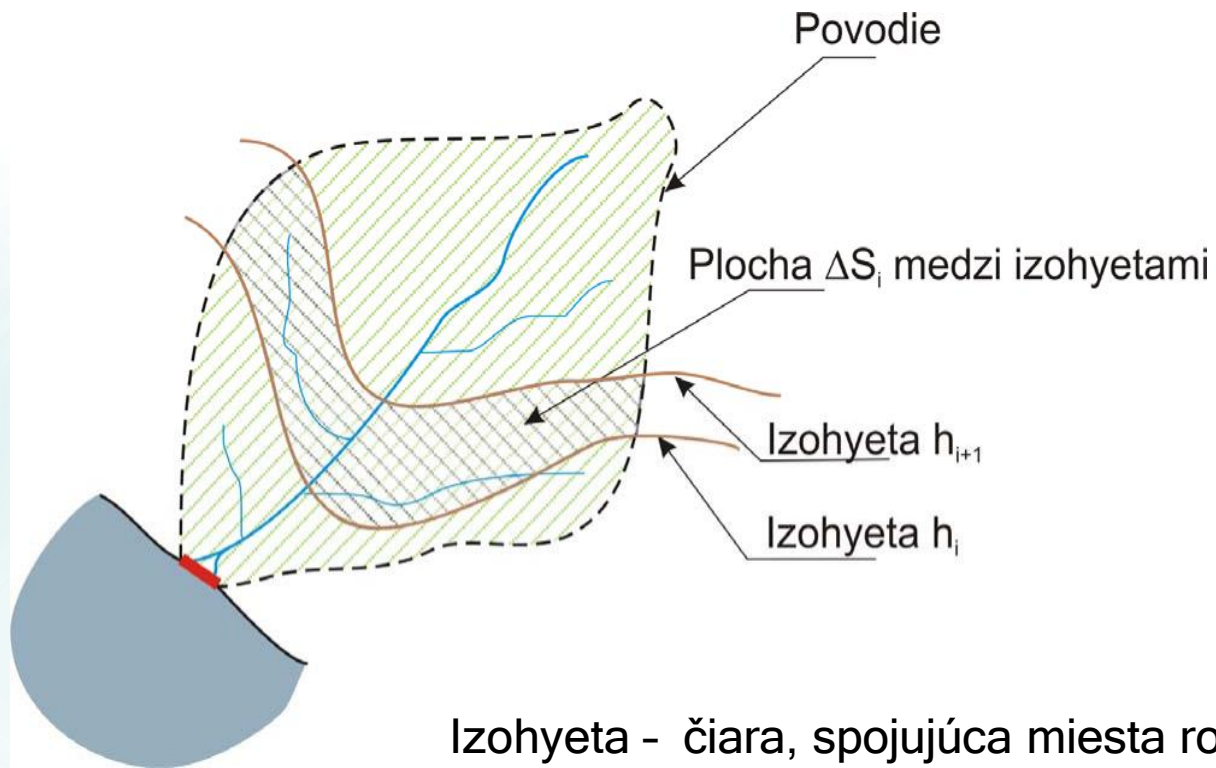


$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{zi} \cdot S_i}{S}$$

Úhrn zrážok v povodí

- Metóda izohyet

$$\bar{h} = \frac{1}{2S} \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cdot (h_{zi} + h_{zi+1})$$



Izohyeta - čiara, spájajúca miesta rovnakých úhrnov zrážok