

Atmosféra a hydrosféra Země

Lekce 7

Hydrologie – zásoby a oběh vody na Zemi,
Hydrografie a hydrologie řek



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 6. 5. 2021

Definice hydrologie a její dělení

- „věda zabývající se zákonitostmi nepřetržitého oběhu vody v jeho celistvosti a výskytu vody v přírodě, se zřetelem na její množství, kvalitu a účinek v přírodě a společnosti“ (Netopil a kol. 1984)
- **hydrogeografie** – dílčí vědní obor fyzické geografie, zabývající se vztahem mezi vodními útvary na pevnině a ostatními krajinnými prvky
- dělení hydrologie podle pracovních metod:
 - **hydrometrie**
 - **hydrografie**
- podle zkoumaného prostředí:
 - **hydrologie moří a oceánů** (oceánologie)
 - **hydrologie pevnin**
- **oceánologie** – fyzická / chemická / biologická / mořská geologie a geofyzika / geomorfologie oceánů a moří

Definice hydrologie a její dělení

- **hydrologie pevnin:**
 - hydrologie atmosféry
 - hydrologie vodních toků (potamologie)
 - hydrologie jezer (limnologie)
 - hydrologie bažin
 - hydrologie podzemních vod (+hydrogeologie)
 - hydrologie ledovců (kryologie, glaciologie)
- **postup řešení hydrologických otázek a zpracování dat**
 - pozorování a měření hydrologických jevů a procesů
 - analýza hydrologických jevů (identifikace příčin a následků)
 - aplikace získaných dat v praxi (správa vodních toků, krizové řízení, ...)

Hydrologická data

- **zdroje hydrologických dat a informací v České republice**
 - **Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)**
 - Úsek hydrologie
 - Odd. povrchových vod
 - Odd. podzemních vod
 - Odd. hydrofondu a bilancí
 - Odd. jakosti vody
 - Odd. hydrologické přístrojové techniky
 - Odd. hydrologických předpovědí
 - kontinuální sledování a vyhodnocování hydrologických dat
 - správa staniční sítě



www.chmi.cz

Hydrologická data

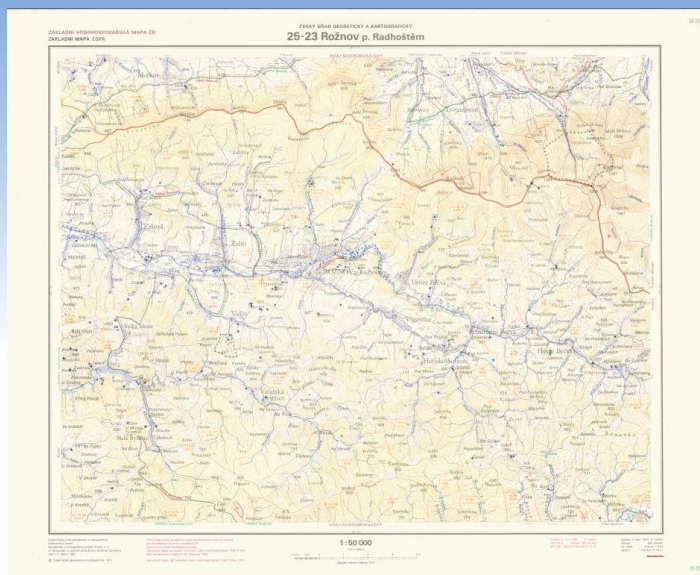
- **Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV T. G. M., v. v. i.)**
 - Odbor hydrauliky, hydrologie a hydroekologie
 - Odbor ochrany vod a informatiky
 - Odbor technologie vody
 - Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů
- provoz hydroekologického informačního systému (HEIS)
 - Základní vodohospodářské mapy (1:50 000) – archiv 1986–1999
 - hydroekologické informace a data o povrchových i podzemních vodách
 - data dostupná také ve formátu .shp



[WWW.VUV.CZ](http://www.vuv.cz)

Hydrologická data

Hydrologická data



Hydrologická data

- **správa vodních toků v České republice**
 - státní podniky Povodí
 - Povodí Labe
 - Povodí Vltavy
 - Povodí Ohře
 - Povodí Moravy
 - Povodí Odry



www.pla.cz | www.pvl.cz | www.poh.cz |
www.pmo.cz | www.pod.cz

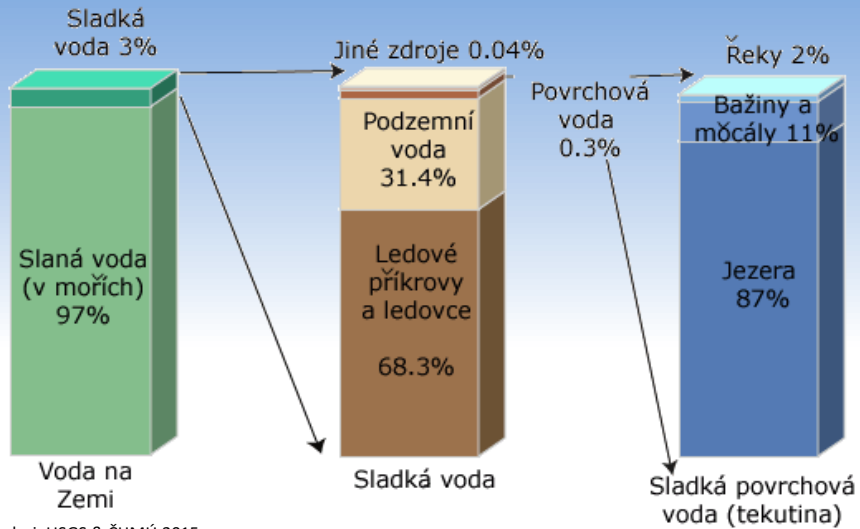
Hydrologická data



Zásoby a oběh vody na Zemi

- plocha oceánů a moří – **361 mil. km²** (70,8 % z plochy povrchu Země)
- **nerovnoměrné rozložení vody a pevniny na Zemi**
 - S polokoule: pevnina 100 mil. km² / voda 155 mil. km²
 - J polokoule: pevnina 49 mil. km² / voda 206 mil. km²
- vliv na oběh vody, odlišnost klimatu, vodní bilanci, ...
- **světový oceán** – 1338 mil. km³ (0,01 % objemu Země)
- **pevninské vody** – cca 48 mil. km³ (z toho cca 35 mil. km³ sladké vody)
 - pevninské ledovce (cca 24 mil. km³, 69 % zásob sladké vody)
 - podpovrchové vody (23,7 mil. km³)
 - voda v jezerech a vodních tocích (13,5 mil. km³)
 - jen minimum reálně využitelné pro lidskou společnost
- výměna vody mezi světovým oceánem a pevninou – nepřetržitý **oběh vody**

Zásoby a oběh vody na Zemi



zdroj: USGS & ČHMÚ 2015

Zásoby a oběh vody na Zemi

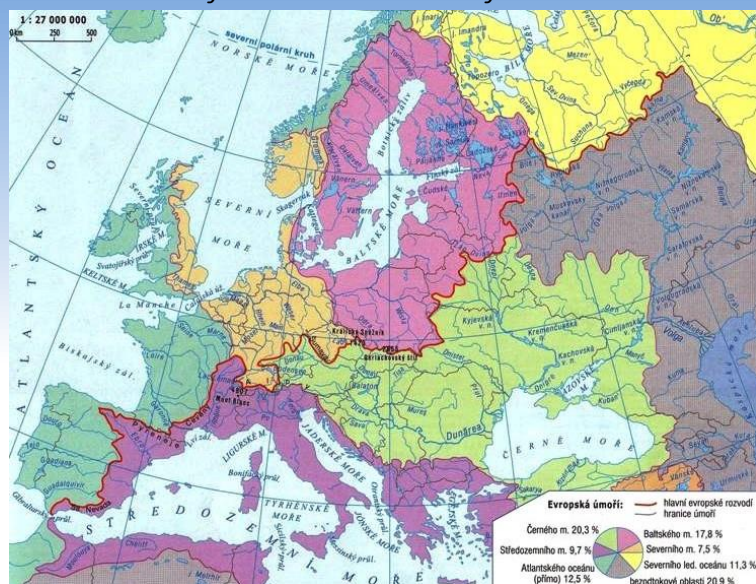


U.S. Dept. of the Interior
U.S. Geological Survey
John Evans, Howard Perlman, USGS
<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

Zásoby a oběh vody na Zemi

- **odtoková oblast**
- **bezodtoká oblast** (cca 20 % plochy pevniny)
- **úmoří**
- **rozvodí**
- nerovnoměrný přítok vody do oceánů v průběhu roku
 - Severní ledový oceán 355 mm/rok
 - Atlantský oceán 226 mm/rok
 - Tichý oceán 83 mm/rok
 - Indický oceán 80 mm/rok
 - průměrný roční odtok vody z pevniny do světového oceánu: 40 000 km³
 - vliv srážkového a teplotního režimu
 - nejvýraznější změny v úmoří Severního ledového oceánu (léto 56 %, zima 7 % ročního odtoku)
 - nerovnoměrnost rovněž v jednotlivých rocích

Zásoby a oběh vody na Zemi



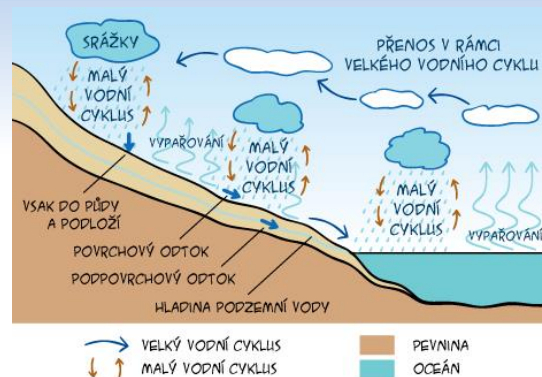
Zásoby a oběh vody na Zemi



zdroj: Štiková, Tabarková 2003

Zásoby a oběh vody na Zemi

- **malý a velký oběh (cyklus) vody**
 - roční výpar z oceánu: 505 000 km³
 - roční výpar z pevniny: 72 000 km³
 - roční srážky nad oceánem: 458 000 km³
 - cca 47 000 km³ vody je transportováno na pevninu (8 % výparu z oceánu)
 - **evaporace**
 - **transpirace**
 - **kondenzace**
 - **sublimace**



Zásoby a oběh vody na Zemi

- **cca 13 000 km³ vody stabilně vázáno v atmosféře**
 - ¾ nad oceánem / ¼ nad pevninou
 - maximum v rovníkovém a tropickém pásu západní části Tichého oceánu a SV části J Ameriky
- **složitější mechanismus výměny vody mezi oceánem a pevninou**
 - tranzitní vláha
 - část výparu z pevniny je zanášena nad oceán
- výpar jako důležitý **regulátor teploty ovzduší** (cca 85 % tepla radiační bilance je na Zemi spotřebováno na výpar)
- matematické vyjádření oběhu vody na Zemi = **rovnice vodní bilance**

$$E_o = S_o + O$$

$$E_p = S_p - O$$

$$S_o + S_p = E_o + E_p$$

E – výpar, S – srážky, O – odtok

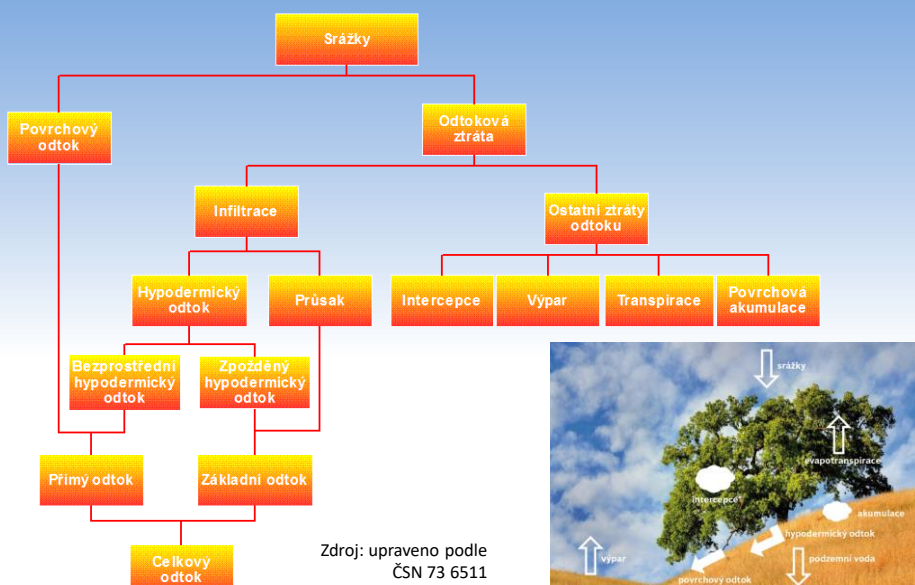
Zásoby a oběh vody na Zemi

- **hl. zdroj vláh = výpar ze světového oceánu**
 - nejvyšší výpar v oblasti pasátů
 - směrem k pólům a rovníku se výpar snižuje
 - maximum oceánských srážek v rovníkovém pásmu (Ø 2280 mm/ rok)
 - nejméně oceánských srážek v tropických pasátových páslech S a J polokoule
 - rozdíly mezi srážkami a výparem → oblasti s převahou srážek nad výparem a naopak → rozdíly vyrovnány mořskými proudy (až 22 mil. km³ vody/ rok)

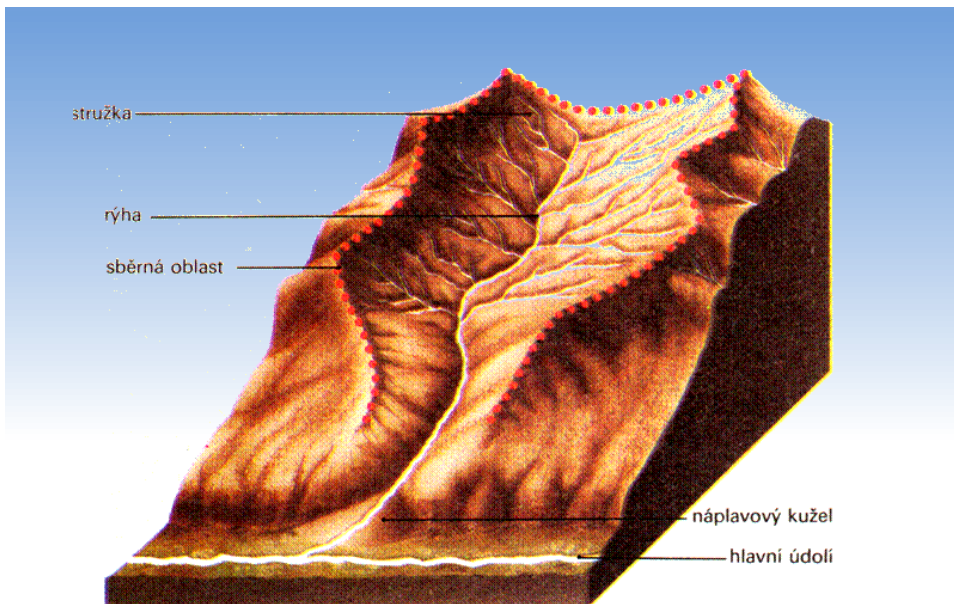
Hydrografie vodních toků

- **vodní tok** = „voda tekoucí v korytě ohraničeném dnem a břehy, kterým se odvádí srážková voda z určitého území, nebo podzemní vody vyvěrající do toku“ (Ruda 2014)
- **vodní (hydrologický) režim** = „souhrn charakteristických změn stavu vodních objektů v čase“ (Netopil a kol. 1984)
- stálý vodní tok / občasný (periodický) vodní tok
- dělení dle velikosti:
 - bystřina
 - potok
 - řeka
 - veletok
- plošný odtok (ron) – ronová rýha – stružka – erozní rýha – údolí
- pramen
- zdrojnice
- ústí

Hydrografie vodních toků



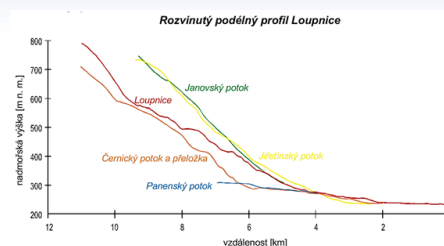
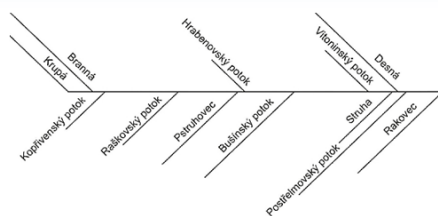
Hydrografie vodních toků



zdroj: Jakeš, 1984

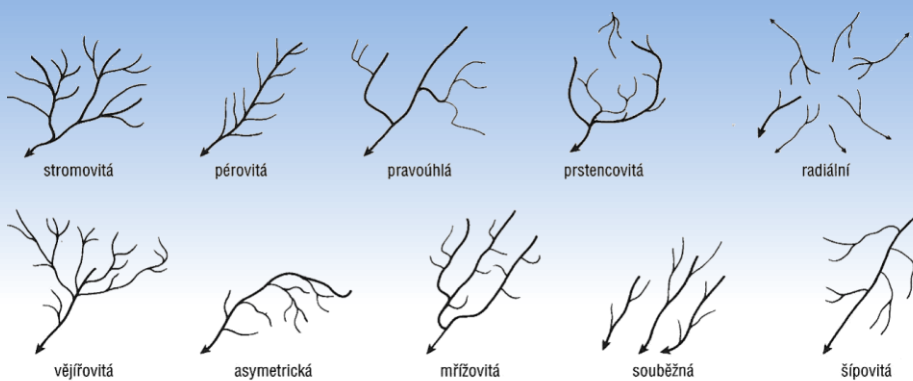
Hydrografie vodních toků

- **délka řeky (L)** – délka střednice půdorysného obrazu koryta řeky, udávaná v km (ČSN)
- staničení vodního toku (kilometrůž)
- schéma říčních systémů
- podélný profil vodních toků



Hydrografie vodních toků

- **typy říční sítě**

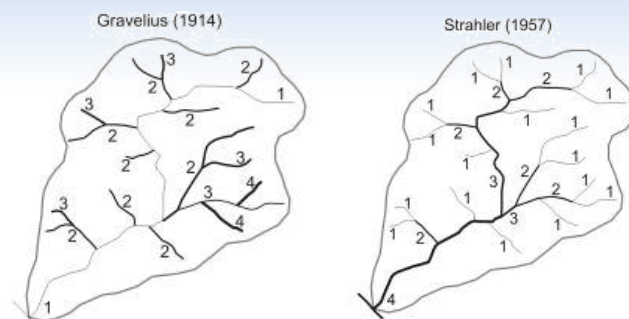


- **hustota říční sítě**

$$r = \frac{\sum L}{P}$$

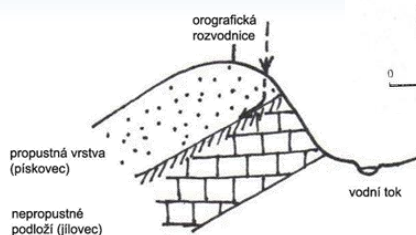
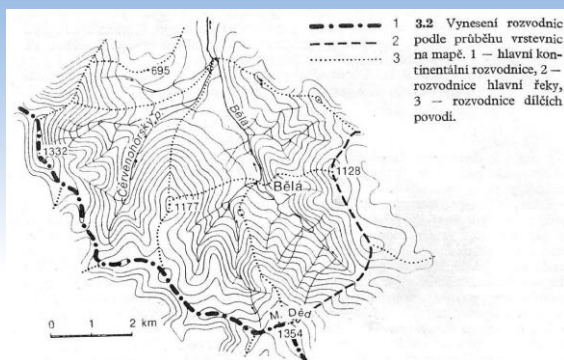
Hydrografie vodních toků

- řády vodních toků
 - modely řádovosti říční sítě
 - absolutní řády (Gravelius) – počet dílčích vodních toků podle zaústění do moře
 - relativní řády (např. Strahler)
 - hydrologické pořadí toku (ve formě A-BB-CC-DDD, např. 1-09-01-024 Borovský potok)



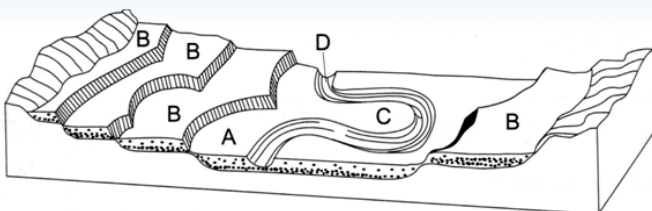
Hydrografie vodních toků

- povodí
- rozvodnice (rozvodní čára)
- plocha povodí (P)
- tvar povodí $\alpha = \frac{P}{L^2}$
 - protáhlé
 - přechodný typ
 - vějířovité

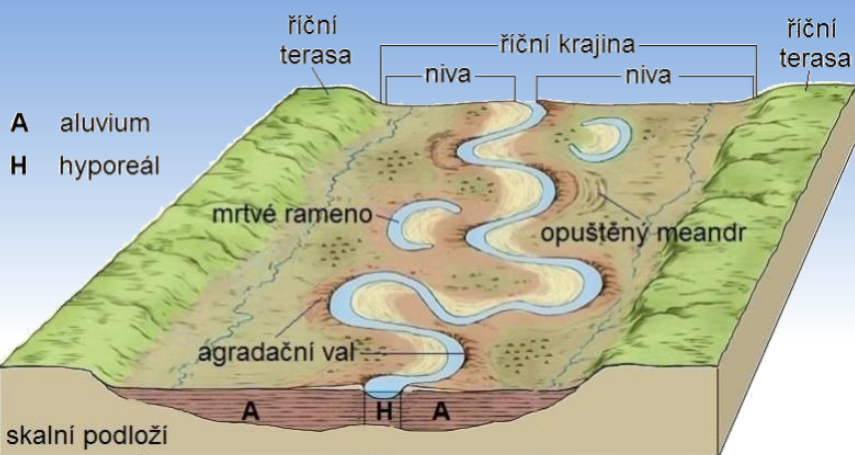


Hydrografie vodních toků

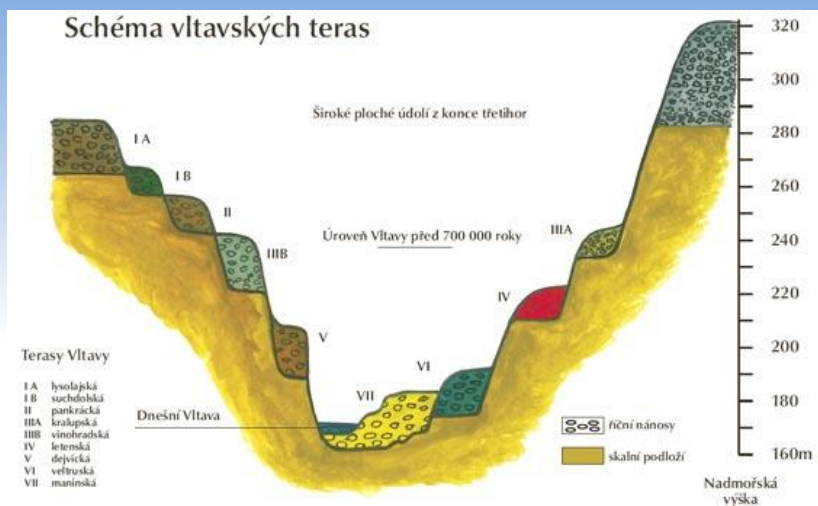
- **údolí vodních toků** – „úzká, protáhlá a obvykle křivolaká sníženina zemského povrchu, protékaná trvale nebo občasně vodou“ (Netopil a kol. 1984)
 - suché údolí (epizodický nebo periodický odtok)
 - říční údolí
- údolní dno
 - údolnice (údolní osa) – v říčním údolí obvykle souhlasí s proudnicí v korytě řeky
- záplavové (inundační) území
- břehový val
- niva
 - údolní
 - poříční
- říční terasa
- údolní svah



Hydrografie vodních toků



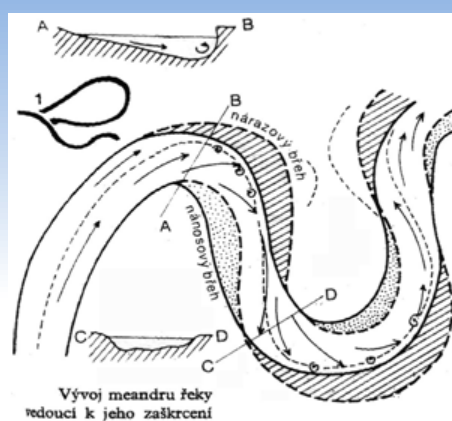
Hydrografie vodních toků



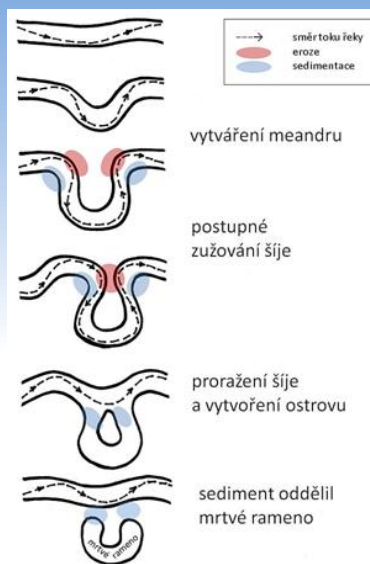
podle: Ložek (1979)

Hydrografie vodních toků

- **řečiště (říční koryto)**
- **křivolakost řek**
 - hydraulická
 - nucená (orografická)
- **břehy**
 - nárazové (výsepní, konkávní)
 - nánosové (jesepní, konvexní)
- **zákruty**
- **meandry**
 - meandrový pás
 - mrtvé (staré) říční rameno
 - zaklesnuté meandry
 - volné meandry



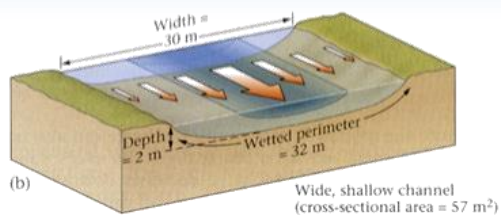
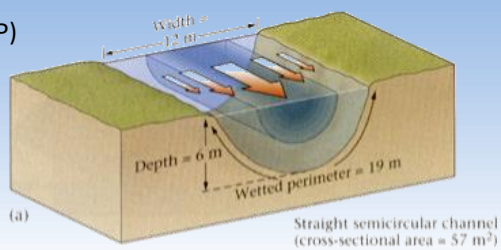
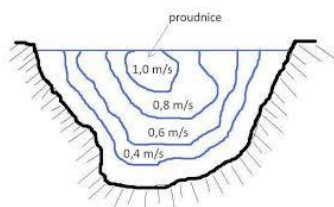
Hydrografie vodních toků



Hydrografie vodních toků

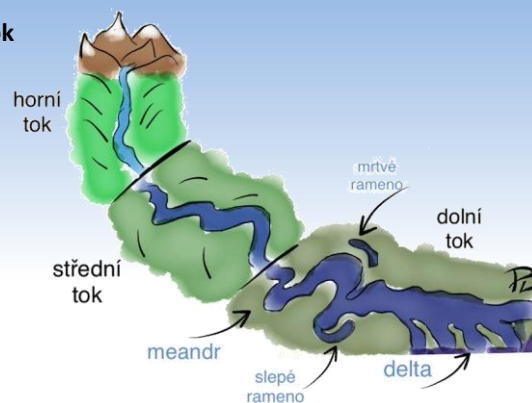
- **příčný profil řečiště a jeho morfologické parametry**

- průtočný profil
- plocha průtočného profilu (P)
- šířka průtočného profilu (B)
- omočený obvod (O)
- průměrná hloubka (H_G)
- hydraulický poloměr (R)
- tvar příčného řezu
- drsnost dna a břehů



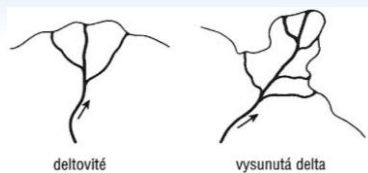
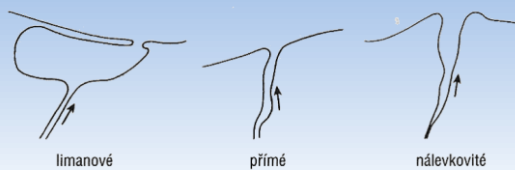
Hydrografie vodních toků

- **podélný profil vodního toku**
 - pramen
 - horní / střední / dolní tok
 - ústí
- sklon vodního toku
- průměrná nadm. výška
- prům. sklon povrchu povodí



Hydrografie vodních toků

- **ústí vodních toků**
 - **jednoduchá** (průsečík střednic dvou vodních toků nebo vodního toku a obvodu moře či jezera)
 - **složená**
 - otevřená
 - » delta
 - » estuárium
 - uzavřená
 - » písčiná kosa
 - » liman



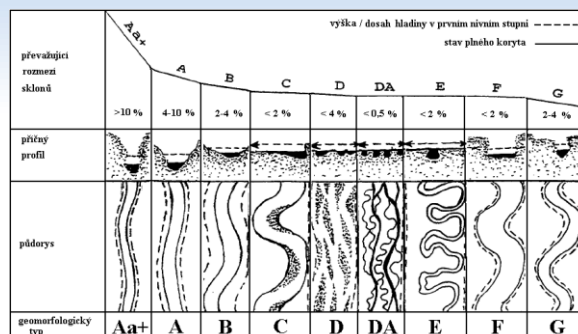
zdroj: Sobotová, Sobotka (1996)

Hydrografie vodních toků



Hydrografie vodních toků

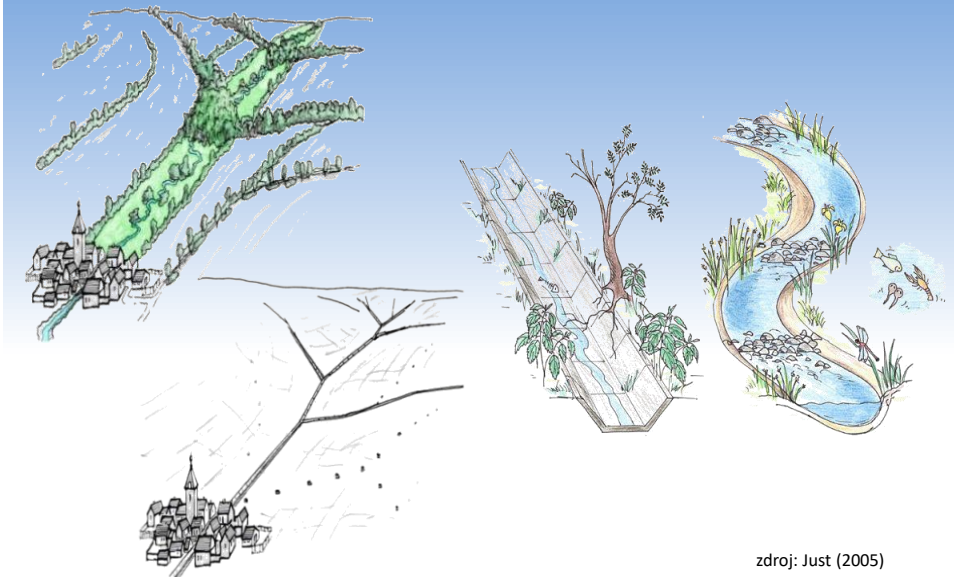
- říční vzor (půdorys)
 - geomorfologické typy vodních toků (Leopold & Wolman 1957):
 - přímé vodní toky (horské bystřinné toky)
 - divočící vodní toky (podhorské bystřinné toky)
 - meandrující toky (nížinné toky)
 - anastomózní toky (nížinné toky rozvětvené)



Hydrografie vodních toků



Hydrografie vodních toků



zdroj: Just (2005)

Hydrografie vodních toků

- **hydrologický (vodní) režim**
 - souhrn charakteristických změn stavu vodních objektů v čase
 - hydrologický režim vodních toků / jezer / podzemních vod / bažin ...
 - **hydrologický rok**
 - **měrné jednotky odtoku:**
 - **průtok (Q) [m³.s⁻¹]**
 - množství vody, protékající za 1 vteřinu příčným profilem koryta vodního toku
 - okamžitý průtok $Q = F \cdot v$
 - průměrný denní průtok (Q_d)
 - měsíční průtok (Q_m)
 - roční průtok (Q_r)
 - dlouhodobý průměrný průtok (Q_a) – normál (Ø Q_r)
 - **objem odtoku (O) [km³, m³ / časový interval]**
 - celkové množství vody, které odečte korytem za daný časový interval

Hydrografie vodních toků

- **specifický (poměrný) odtok (q) [l.s⁻¹.km⁻²]**
 - „jednotková vydatnost“
 - množství vody odtékající za jednotku času z plochy povodí
- $$q (l \cdot s^{-1} km^{-2}) = \frac{1000Q (m^3 \cdot s^{-1})}{P(km^2)}$$
- **odtoková výška (výška odtoku) (H_o) [mm.rok⁻¹]**
 - vrstva vody rovnoměrně rozložená na ploše povodí, která odečte za určité období
 - porovnání odtoku se srážkovým úhrnem v povodí za stejné období
 - vztah mezi roční odtokovou výškou (H_{or}) a ročním průtokem (Q_r)

$$H_{or}(mm) = \frac{Q_r(m^3 \cdot s^{-1}) \cdot 31,5 \cdot 10^6}{P(km^2 \cdot 10^3)} = \frac{O_r(km^3)}{P(km^2)} \cdot 10^6$$

Hydrografie vodních toků



specifický odtok v ČR

zdroj: Kříž (1983)

Hydrografie vodních toků

- **součinitel odtoku (koeficient odtoku) (φ) [číselná hodnota / %]**
 - hodnota udávající poměr mezi výškou odtoku a srážkovým úhrnem nebo objemem odtoku a srážkami v ploše povodí
 - podíl spadlých srážek, který je odváděn vodními toky

$$\varphi = \frac{H_o(\text{mm})}{H_s(\text{mm})} = \frac{O(\text{km}^3)}{S(\text{km}^3)}$$

Hydrologie vodních toků

- **POVRCHOVÝ ODTOK**

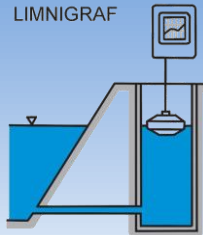
- **vodní stav [cm]**

- výška hladiny nad zvoleným pevným bodem (nulou vodočtu)
 - vodočetná lať (kolmé a šikmé vodočty)
 - kontinuální záznam pomocí limnigrafu
 - vodoměrná stanice



Hydrologie vodních toků

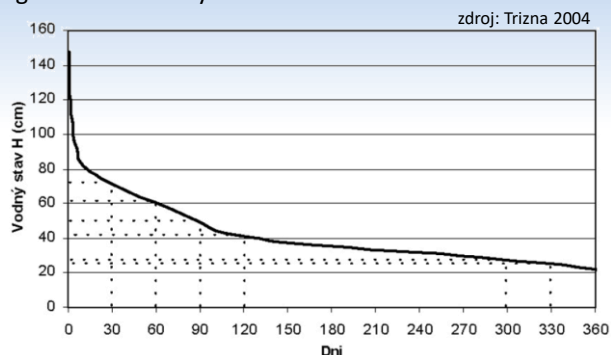
LIMNIGRAF



Hydrologie vodních toků

- **hydromodul:** rozpětí mezi max. (H_{\max}) a min. (H_{\min}) vodním stavem v průběhu roku
- **čára vodních stavů**
- obyčejný vodní stav (medián)
- nejčastěji se vyskytující vodní stav (modus)
- **čára překročení** – histogram kumulovaných četností

– M denní stavy

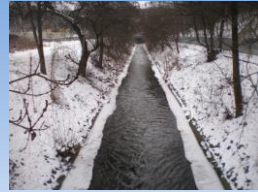


Hydrologie vodních toků

- **ledový režim vodních toků**
 - problém neexistence dlouhých časových řad záznamů o ledových jevech
 - vliv lidské činnosti
 - určují se:
 - krajní a průměrná data výskytu pevných a pohyblivých ledových útvarů (led u břehu, resp. ledová tříšť, chod ledů)
 - mezní a průměrné hodnoty trvání ledové pokrývky (zámruzu)
 - průběhy růstu vrstvy ledu (obvykle jen zjištění max. tloušťky ledové pokrývky)
 - 3 fáze pozorování ledových jevů:
 - podzimní
 - zimní
 - jarní
 - hlavní ukazatele: datum vzniku ledových úkazů, doba trvání, druh ledových jevů, intenzita jejich výskytu, tloušťka ledové pokrývky

Hydrologie vodních toků

- břehový led
- ledová mázdra
- ledová tříšť
- ledový nápěch
- hlubinný (dnový) led
- ledová celina (zámrz řeky)
- propar
- ledová zácpa (bariéra)



Hydrologie vodních toků

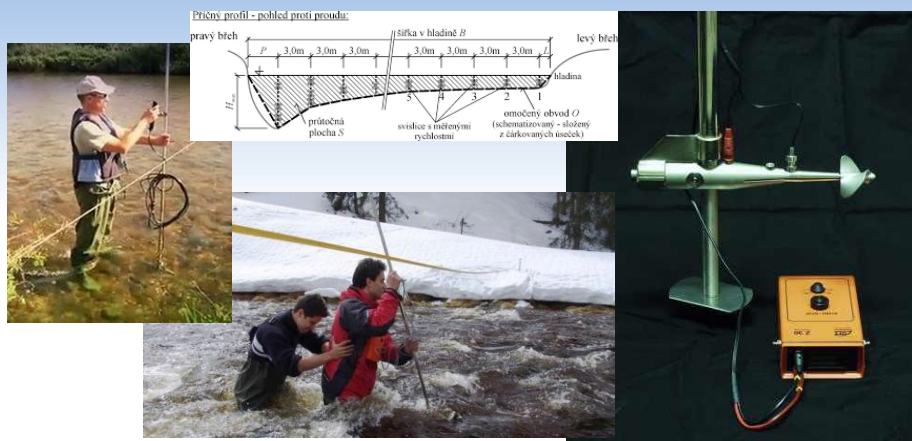
- **typy vodních toků dle ledového režimu:**
 - zcela promrzající toky ve vysokých z. š.
 - toky s každoročně se opakujícím dlouhodobým zámrzem (vyšší z. š. a mírný pás s kontinent. podnebím)
 - toky s proměnlivým ledovým režimem
 - toky s méně častým výskytem ledových útvarů
 - horské vodní toky s proměnlivým ledovým režimem v čase i prostoru

Hydrologie vodních toků

- **teplotní režim vodních toků**
 - **větší toky:** vyrovnané teploty vody v příčném profilu koryta
 - **menší a členitější toky:** přítomnost mělčin, tůní, ... → povrchová vrstva vody je oproti dnové vrstvě teplejší v létě a chladnější na podzim a v zimě
 - změny teploty vody v průběhu dne:
 - určené vodností, provzdušňováním vody
 - nejvýraznější v létě na malých tocích mírných šířek a na horských tocích v teplém pásu Země
 - průměrná denní teplota vody
 - v ČR se měří jen 1 x denně při ranním odečtu vodního stavu
 - roční amplituda teploty vody nejvyšší ve středních z. š. (až 30 °C)

Hydrologie vodních toků

- **hydrologické charakteristiky průtoku**
 - metody měření průtoku vodních toků
 - **hydrometrování** (hydrometrická vrtule)

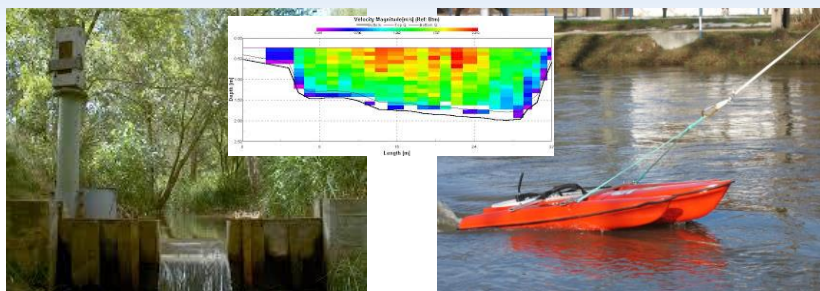


Hydrologie vodních toků

- **přímá měření**
 - měrná nádoba
 - měrné přepady (Ponceletův a Thomsonův přeliv)
- **indikátorové metody**
 - stabilní chemická látka či radionuklid
- **ultrazvuková metoda**
 - ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

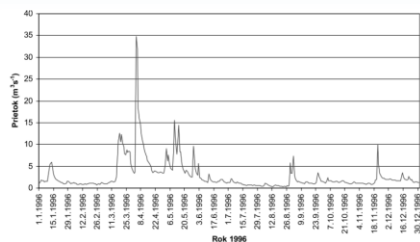


Thomsonův přeliv (úhel 90°)



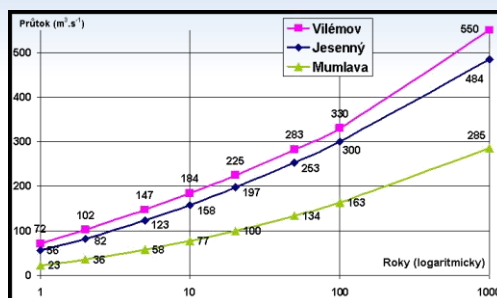
Hydrologie vodních toků

- **hydrologický režim**
 - výsledek přírodních podmínek povodí a charakteru lidských aktivit v krajině
 - ovlivňuje charakter koryta, nivy a údolního dna
 - časové rozložení odtoku z povodí je závislé na zdrojích vodnosti
 - denní změny průtoků jsou obvykle velmi malé
 - výjimka = pramenné úseky ledovcových toků
 - **hydrogram** (čára průtoků)
 - velikost změn průtoků v čase, jejich rychlost a četnost výskytu



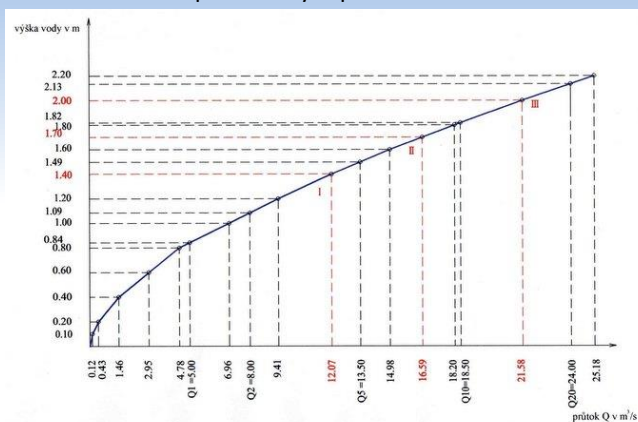
Hydrologie vodních toků

- **průměrný průtok** – aritmetický průměr průtoků za určité období
- **maximální / minimální průtok**
- **N-letý maximální průtok** (N-letá voda) – max. průtok, který je dosažen nebo překročen **průměrně** jednou za N let
 - pravděpodobnost výskytu (**doba opakování**) N-letého průtoku je $1/N$
- **čára překročení denních průtoků**
 - lze určit M-denní průtoky (prům. denní průtok, dosažený nebo překročený M dní v roce)
- **N-letý minimální průtok**



Hydrologie vodních toků

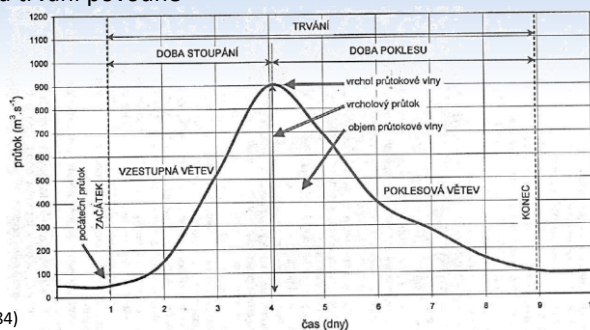
- **vztah mezi vodním stavem a průtokem**
 - **měrná (konsumpční) křivka průtoků**
 - tvar křivky závislý na morfometrii měrného profilu a morfometrii úseku vodního toku nad a pod měrným profilem



Hydrologie vodních toků

- **extrémní průtoky**

- **povodňové průtoky (povodeň)**: výrazný vzestup hladiny vodního toku nad úroveň hrany koryta, způsobený zvětšením průtoků nebo snížením velikosti průtočného profilu
- inundační (záplavové) území toku (obvykle Q_{20} , Q_{50} a Q_{100})
- povodňová vlna – objem, tvar, vrchol (kulminační průtok Q_{max})
- doba trvání povodně



zdroj: Herber (1984)

Hydrologie vodních toků

- **typy povodní podle příčiny vzniku**

- letní povodně
- letní příválové povodně
- povodně z tání
- ledové povodně

- **faktory ovlivňující vznik povodní**

- **meteorologické příčiny**

- předběžné faktory
- příčinné faktory

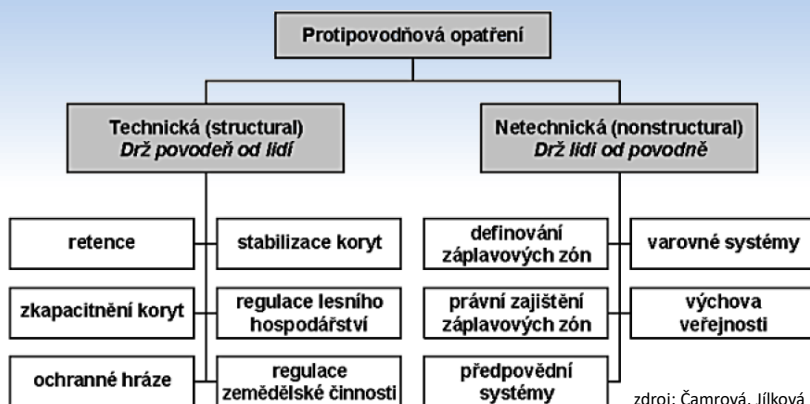
- **hydrologické příčiny**

- intercepce
- zpomalení odtoku vlivem charakteru reliéfu
- infiltrace
- retence
- objem říční sítě a vodních nádrží (+ míra jejich naplnění)
- charakter povodí a říční sítě

Hydrologie vodních toků

- **stupně povodňové aktivity**

- I. stupeň – bdělost
- II. stupeň – pohotovost
- III. stupeň – ohrožení



Hydrologie vodních toků

- **minimální průtoky**

- období ve kterém průtok na vodním toku poklesne pod hladinu normálového průtoku (Q_a)
- široké spektrum příčin
- horské toky – minima typicky na konci zimy
- nížinné toky – minima typicky koncem léta nebo na podzim
- suché období – 3 po sobě následující dny, kdy průtok dosáhl hodnoty rovné nebo nižší než Q_{355}
- meteorologické sucho – nedostatek srážek
- agronomické sucho – vodní stres rostlin
- hydrologické sucho – pokles průtoků, omezení rozlohy mokřadů, hladiny PZV, ...

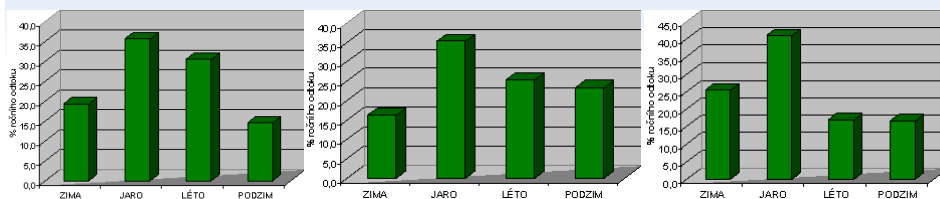
Hydrologie vodních toků



www.intersucho.cz

Hydrologie vodních toků

- **velikost a rozdělení průtoků v průběhu roku na českých vodních tocích**
 - **oblast horská sněhovo-dešťová** (část povodí Olše)
 - **oblast horská sněhová** (většina povodí či jejich horních částí s pramennou oblastí v horách – např. Úpa, Metuje, Otava, horská část Bečvy, atd.)
 - **oblast vrchovinno-nížinná** (typicky toky středních Čech a většina přítoků Moravy a Dyje)

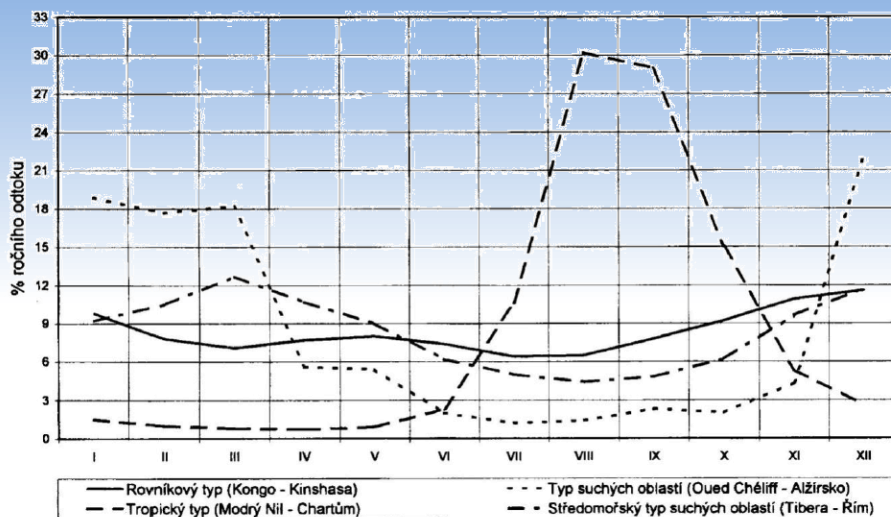


zdroj: Herber (2015, online)

Hydrologie vodních toků

• klimatická klasifikace vodních toků

zdroj: Chábera, Kössl (1999)



Hydrologie vodních toků

• klimatická klasifikace vodních toků II

zdroj: Chábera, Kössl (1999)

