

# Klimatologie a hydrogeografie

## Lekce 6

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



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 27. 11. 2017

## 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](http://www.chmi.cz)

# Hydrologická data

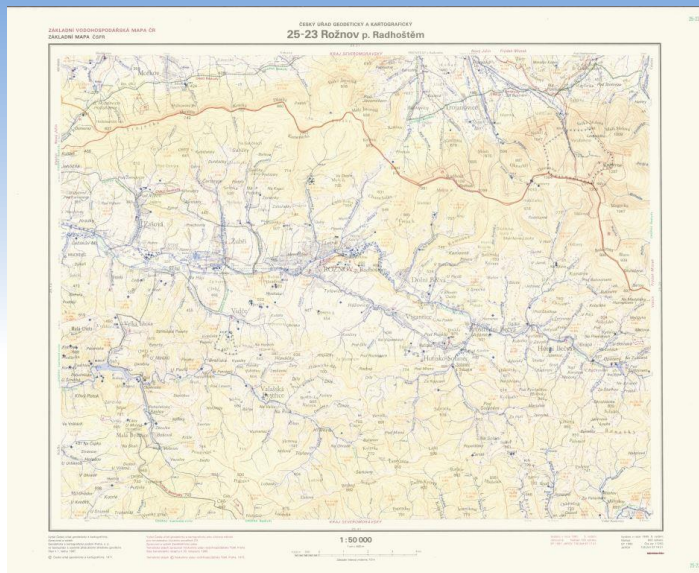
- **Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV T. G. M., v. v. i.)**
  - Odbor hydrauliky, hydrologie a hydroekologie
  - Odbor ochrany vod a informatiky
  - Odbor technologie vody
  - Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů
- **provoz hydroekologického informačního systému (HEIS)**
  - 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](http://www.pla.cz) | [www.pvl.cz](http://www.pvl.cz) | [www.poh.cz](http://www.poh.cz) |  
[www.pmo.cz](http://www.pmo.cz) | [www.pod.cz](http://www.pod.cz)

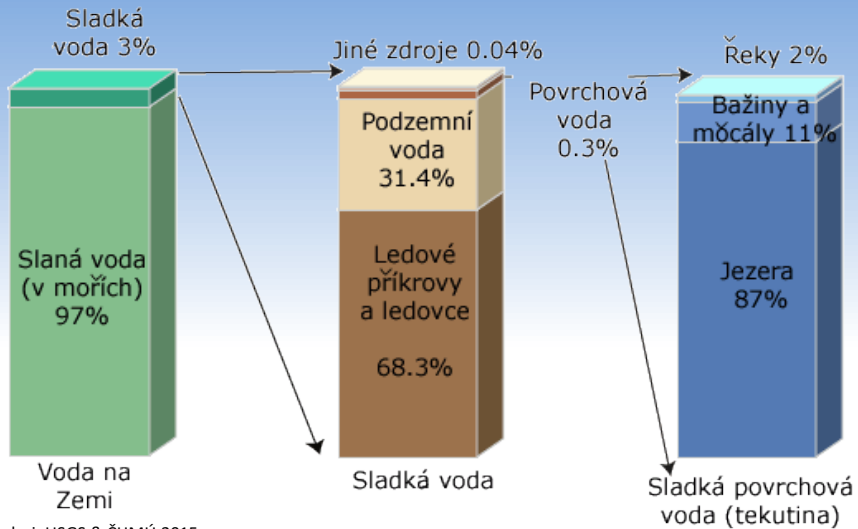
## Hydrologická data



## Zásoby a oběh vody na Zemi

- plocha oceánů a moří – **361 mil. km<sup>2</sup>** (70,8 % z plochy povrchu Země)
- **nerovnoměrné rozložení vody a pevniny na Zemi**
  - S polokoule: pevnina 100 mil. km<sup>2</sup> / voda 155 mil. km<sup>2</sup>
  - J polokoule: pevnina 49 mil. km<sup>2</sup> / voda 206 mil. km<sup>2</sup>
- vliv na oběh vody, odlišnost klimatu, vodní bilanci, ...
- **světový oceán** – 1338 mil. km<sup>3</sup> (0,01 % objemu Země)
- **pevninské vody** – cca 48 mil. km<sup>3</sup> (z toho cca 35 mil. km<sup>3</sup> sladké vody)
  - pevninské ledovce (cca 24 mil. km<sup>3</sup>, 69 % zásob sladké vody)
  - podpovrchové vody (23,7 mil. km<sup>3</sup>)
  - voda v jezerech a vodních tocích (13,5 mil. km<sup>3</sup>)
  - 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

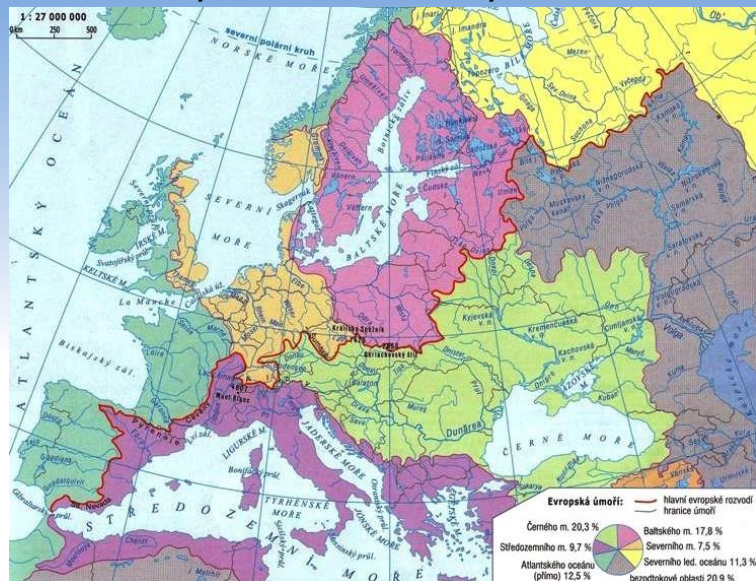
## Zásoby a oběh vody na Zemi



## 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 km<sup>3</sup>
  - 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

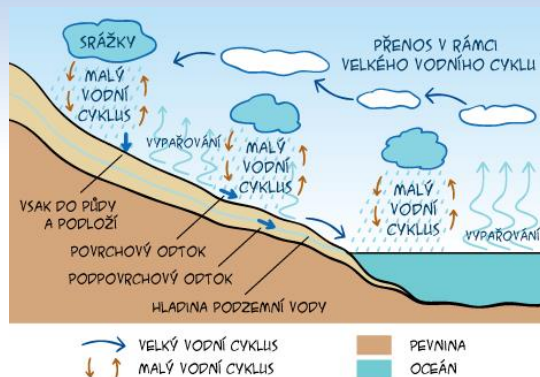


zdroj: Štiková, Tabarková 2003

## Zásoby a oběh vody na Zemi

- **malý a velký oběh (cyklus) vody**
  - roční výpar z oceánu: 505 000 km<sup>3</sup>
  - roční výpar z pevniny: 72 000 km<sup>3</sup>
  - roční srážky nad oceánem: 458 000 km<sup>3</sup>
  - cca 47 000 km<sup>3</sup> vody je transportováno na pevninu (8 % výparu z oceánu)

- **evaporace**
- **transpirace**
- **kondenzace**
- **sublimace**





## Zásoby a oběh vody na Zemi

- cca 13 000 km<sup>3</sup> 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 vláhá
  - 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

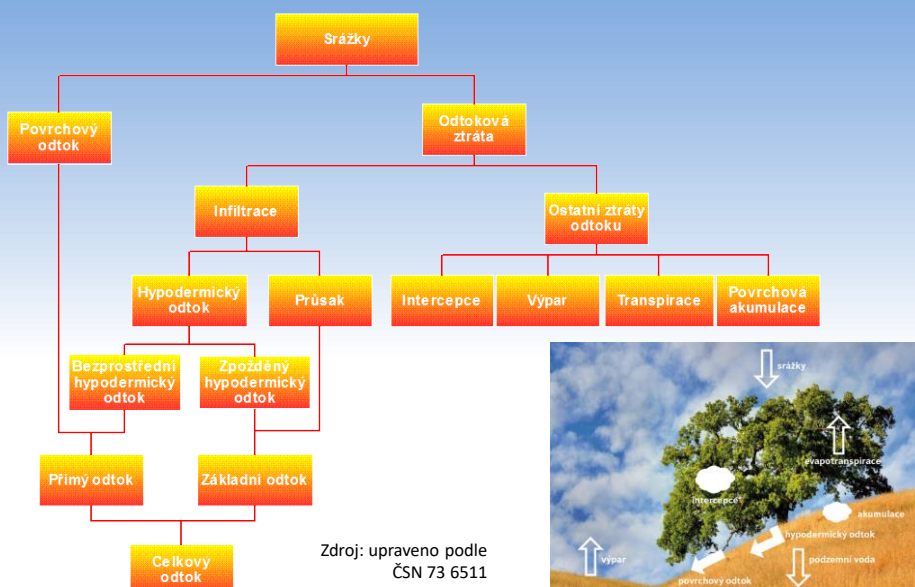
## Zásoby a oběh vody na Zemi

- **hl. zdroj vláhý = 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. km<sup>3</sup> vody/ rok)

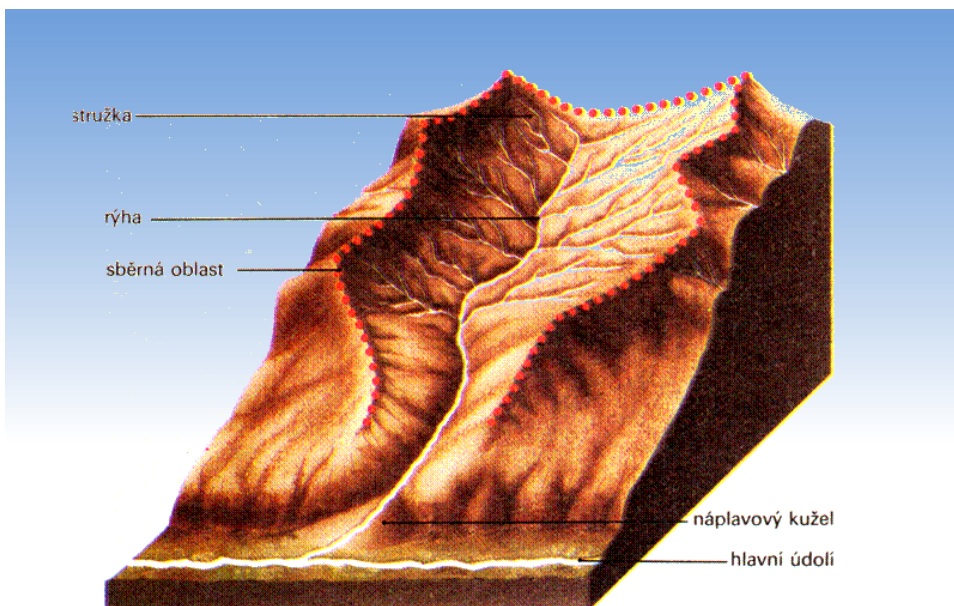
## Hydrografie vodních toků

- **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



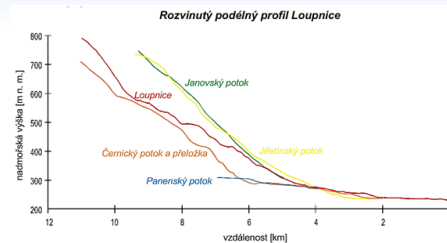
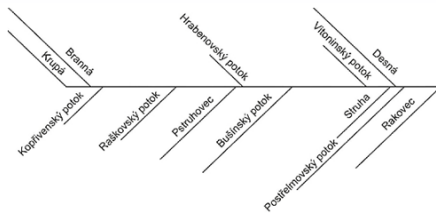
# Hydrografie vodních toků



zdroj: Jakeš, 1984

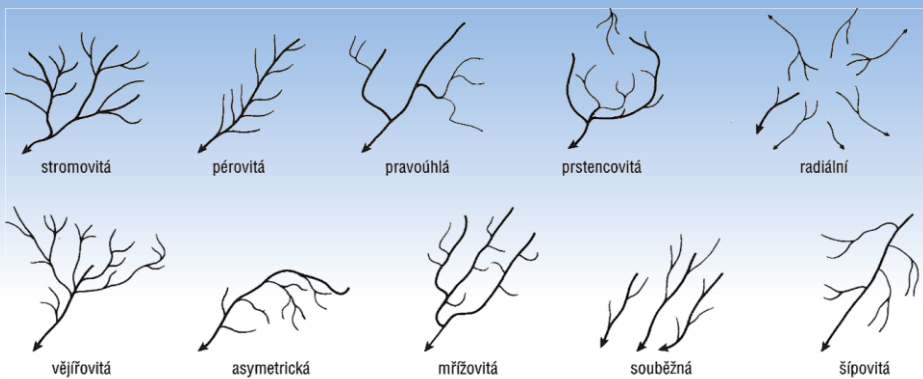
# Hydrografie vodních toků

- **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**

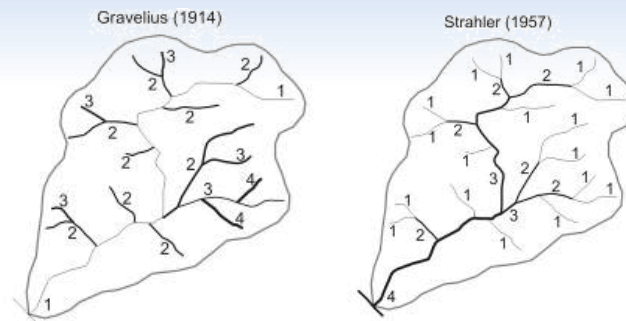


- **hustota říční sítě**

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

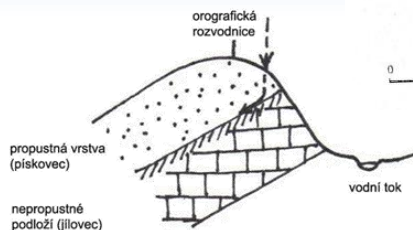
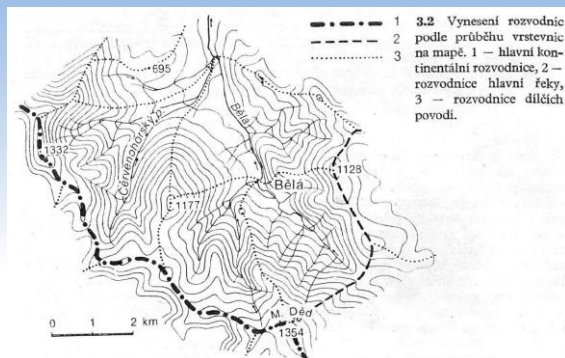
## Hydrografie vodních toků

- 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)



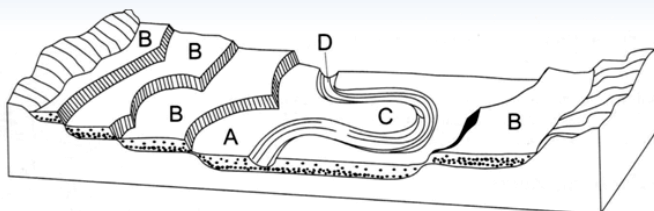
## Hydrografie vodních toků

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

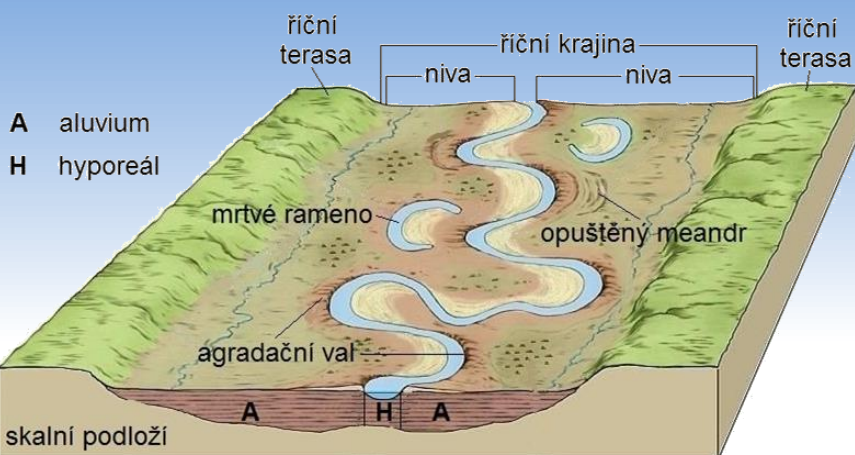


## Hydrografie vodních toků

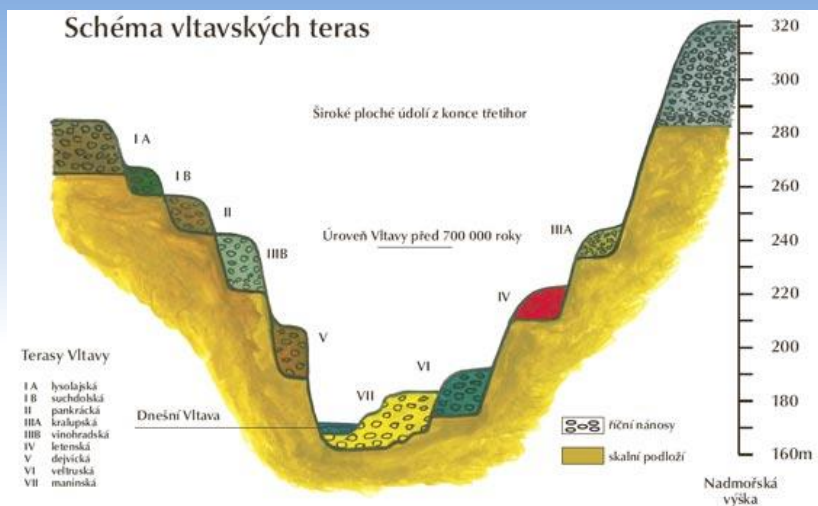
- **údolí vodních toků** – „úzká, protáhlá a obvykle křivolaká sníženina zemského povrchu, protékaná trvale nebo občasně vodou“ (Netopil a kol. 1984)
  - suché údolí (epizodický nebo periodický odtok)
  - říční údolí
- údolní dno
  - údolnice (údolní osa) – v říčním údolí obvykle souhlasí s proudnicí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



## Hydrografie vodních toků



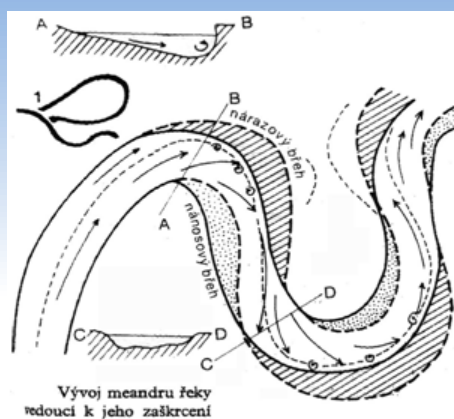
## Hydrografie vodních toků



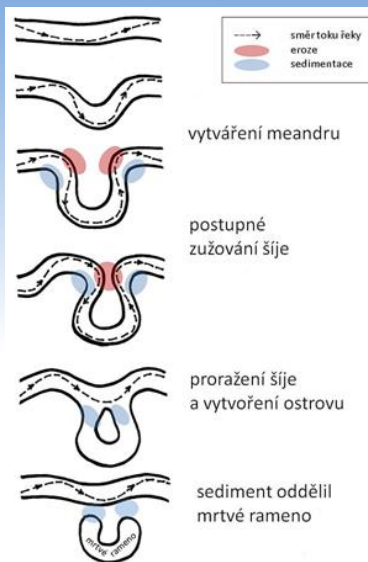
podle: Ložek (1979)

## 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



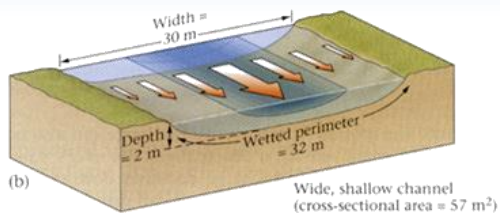
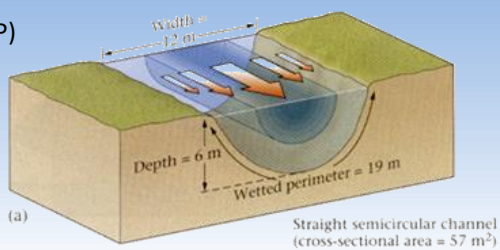
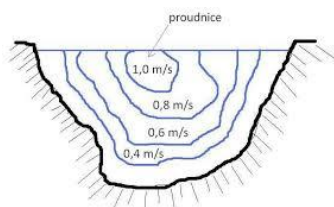
## Hydrografie vodních toků



## 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





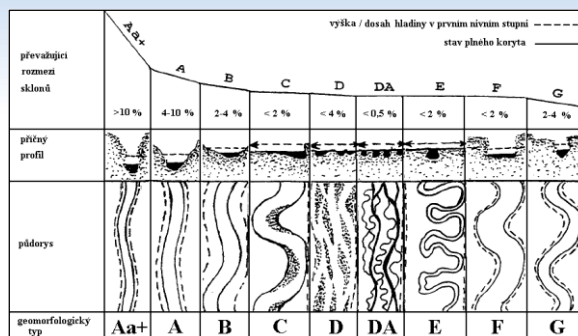


## Hydrografie vodních toků



## Hydrografie vodních toků

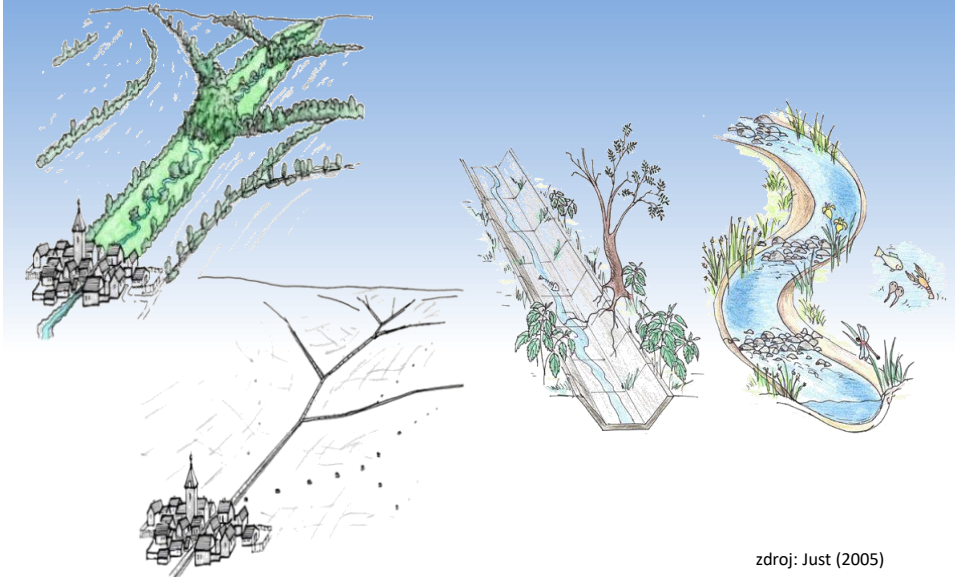
- říční vzor (půdorys)
  - geomorfologické typy vodních toků (Leopold & Wolman 1957):
    - přímé vodní toky (horské bystřinné toky)
    - divočí vodní toky (podhorské bystřinné toky)
    - meandrující toky (nížinné toky)
    - anastomózní toky (nížinné toky rozvětvené)



## Hydrografie vodních toků



## Hydrografie vodních toků



zdroj: Just (2005)

## Hydrografie vodních toků

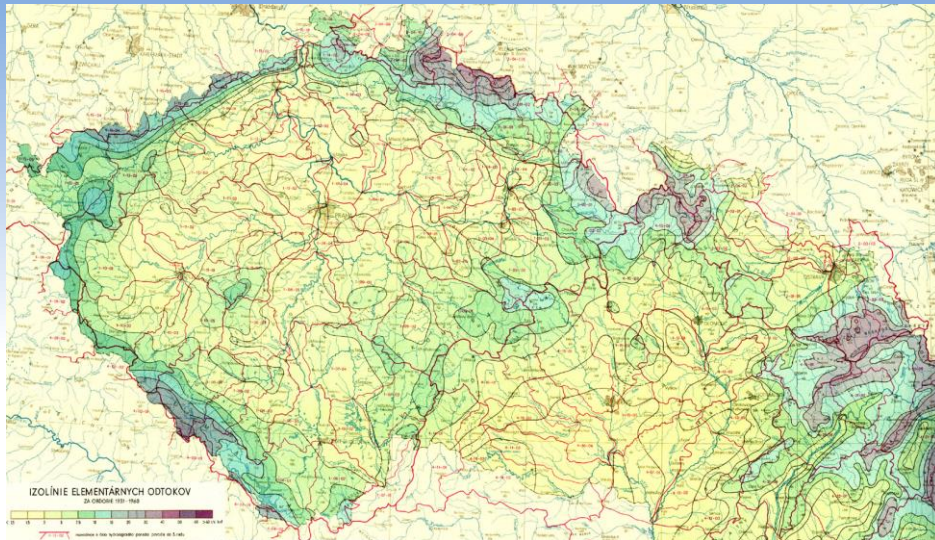
- **hydrologický (vodní) režim**
  - souhrn charakteristických změn stavu vodních objektů v čase
  - hydrologický režim vodních toků / jezer / podzemních vod / bažin ...
  - **hydrologický rok**
  - **měrné jednotky odtoku:**
    - **průtok (Q) [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]**
      - množství vody, protékající za 1 vteřinu příčným profilem koryta vodního toku
      - okamžitý průtok  $Q = F \cdot v$
      - průměrný denní průtok (Q<sub>d</sub>)
      - měsíční průtok (Q<sub>m</sub>)
      - roční průtok (Q<sub>r</sub>)
      - dlouhodobý průměrný průtok (Q<sub>a</sub>) – normál (Ø Q<sub>r</sub>)
    - **objem odtoku (O) [km<sup>3</sup>, m<sup>3</sup> / časový interval]**
      - celkové množství vody, které odečte korytem za daný časový interval

## Hydrografie vodních toků

- **specifický (poměrný) odtok (q) [l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>]**
    - „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<sub>o</sub>) [mm.rok<sup>-1</sup>]**
    - 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<sub>or</sub>) a ročním průtokem (Q<sub>r</sub>)

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

## Hydrografie vodních toků



specifický odtok v ČR

zdroj: Kříž (1983)

## Hydrografie vodních toků

- **součinitel odtoku (koeficient odtoku) ( $\varphi$ ) [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

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

# Hydrologie vodních toků

- **POVRCHOVÝ ODTOK**

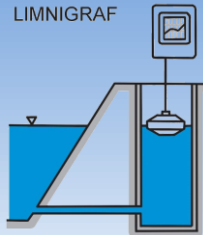
- **vodní stav [cm]**

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



# Hydrologie vodních toků

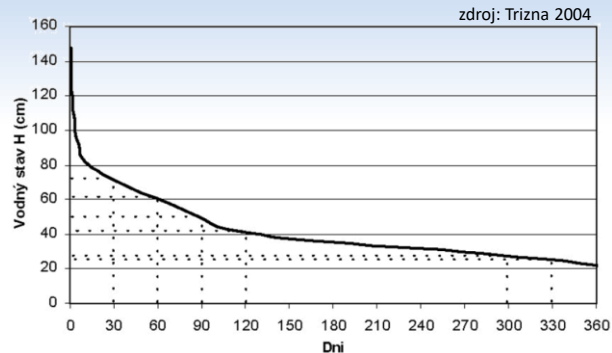
LIMNIGRAF



## 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 (zámrazu)
    - 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



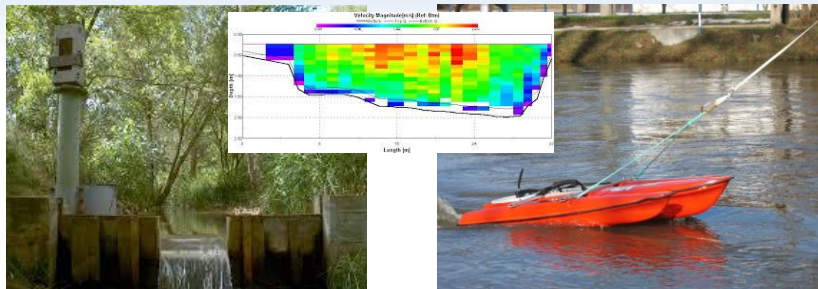


# Hydrologie vodních toků

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

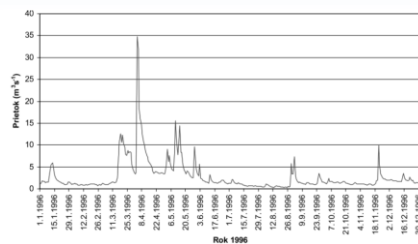


Thomsonův přeliv (úhel 90°)



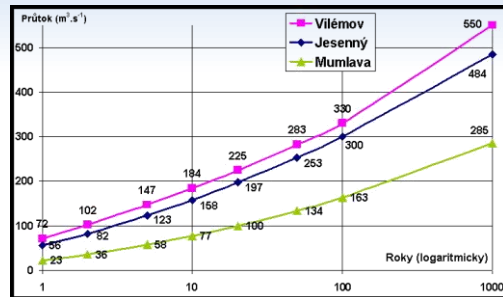
# Hydrologie vodních toků

- **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



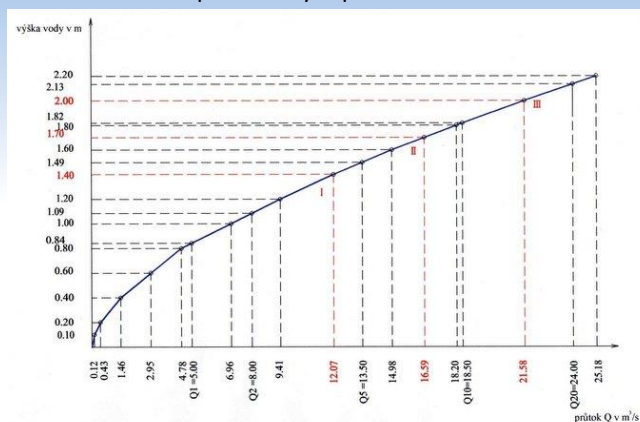
## Hydrologie vodních toků

- **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**



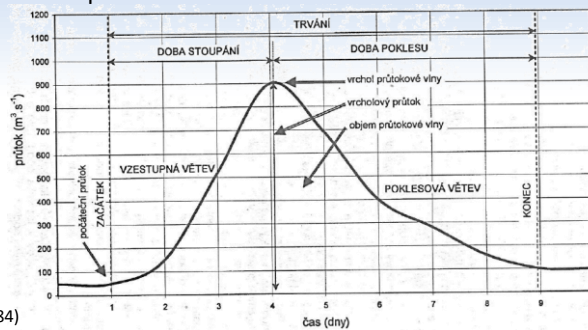
## Hydrologie vodních toků

- **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 přivalové 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, ...

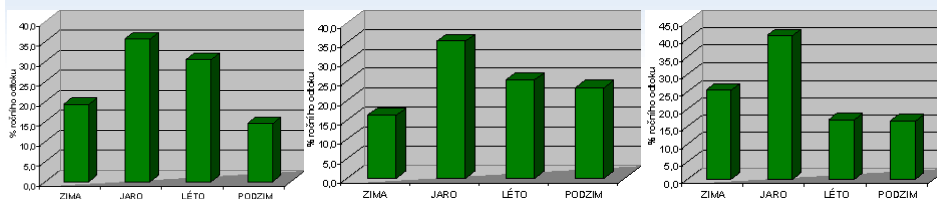
# Hydrologie vodních toků



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)

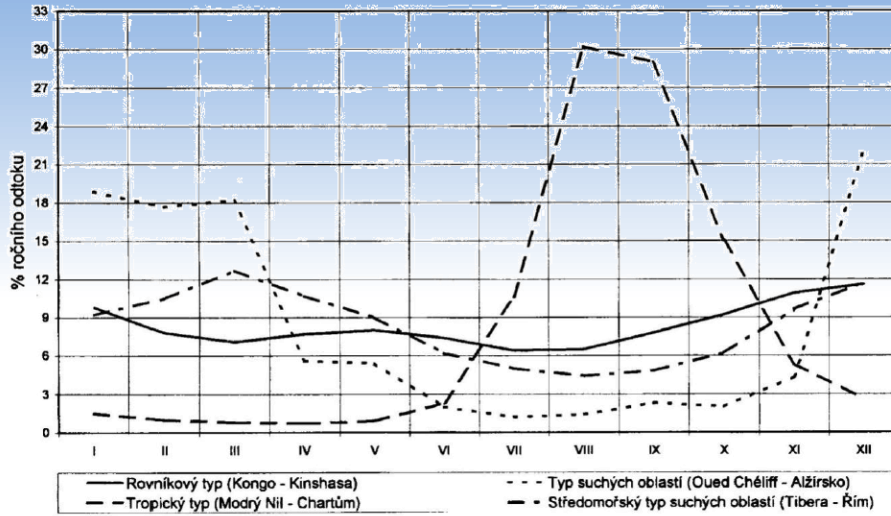


zdroj: Herber (2015, online)

# Hydrologie vodních toků

- klimatická klasifikace vodních toků

zdroj: Chábera, Kössl (1999)



# Hydrologie vodních toků

- klimatická klasifikace vodních toků II

zdroj: Chábera, Kössl (1999)

