



VIZP – Vodohospodářské inženýrství a životní prostředí

Přednáška č.2 – Základy hydrologie

- ✓ Obsah hydrologie, základní pracovní metody
- ✓ Bilance oběhu vody v přírodě
- ✓ Měření a vyhodnocení hydrologických veličin
- ✓ Extrémní hydrologické jevy, předpovědi

Obsah hydrologie

Hydrologie je věda, která se zabývá poznáním zákonů výskytu a oběhu vody v přírodě.

Inženýrská hydrologie se zabývá se charakteristikami hydrologického režimu vodních objektů a poskytuje je pro potřebu projekce, provozu i údržby vodohospodářských děl a stavební činnosti obecně. Součástí jsou

- ✓ **Hydrometrie** – věnuje se návrhu vhodných přístrojů, metodám měření samotnému měření.
- ✓ **Hydrografie** – zabývá se pozorováním, shromažďováním, klasifikací, tříděním a zpracováním získaného materiálu.

Úzký vztah s dalšími vědními obory, zejména s meteorologií, klimatologií, pedologií, geologií, hydrogeologií a hydraulikou, dále a agrotechnikou, lesním hospodářstvím, biologií a chemií vody ...

Historický vývoj hydrologie

- ✓ **1650** – Perreault - odhad průtoku řeky Seiny
- ✓ **1775** – Chezy – výpočet střední rychlosti vody v korytě
- ✓ **1800 – 1900** – zahájení období počátků systematického pozorování, měření a vyhodnocení hydrologických veličin
- ✓ **1850 – Woltmann – vynález hydrometrické vrtule**
- ✓ **1875** - zřízena Hydrologická komise Království českého
- ✓ **1900 – 1930** – hydrologie se stává samostatnou vědou
- ✓ **1930 – 1950** – výrazný rozvoj inženýrské hydrologie
- ✓ **1954** – založen Hydrometeorologický ústav (dnes **ČHMÚ**)
- ✓ **Současnost** – rozmach matematického modelování



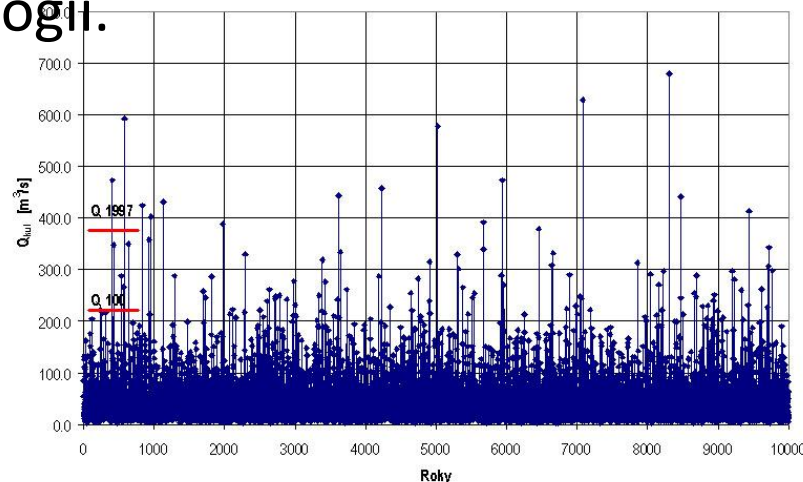
Pracovní metody v hydrologii

Statistické, pravděpodobnostní metody

- ✓ Vycházejí z pravděpodobnostního charakteru výskytu jednotlivých jevů z hlediska dlouhodobého vývoje. Donedávna měly dominantní uplatnění v hydrologii.

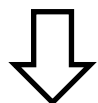
Deterministické, genetické metody

- ✓ Snaží se formulovat fyzikální podstatu jednotlivých jevů. V poslední době nebývalý rozvoj matematického modelování.
- ✓ Modely pro simulaci vývoje počasí, prostorového a časového rozložení srážek, srážko-odtokového procesu.



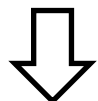
Základy pravděpodobnosti a statistiky v hydrologii

Prvotní údaje – hlášení pozorovatelů nebo záznamy z moderních přístrojů pro měření hydrologických veličin



Roztřídění podle shodného znaku (vodní stav, průtok ...)

Statistické soubory – množiny jednotlivých statistických proměnných



Zpracování statistických souborů

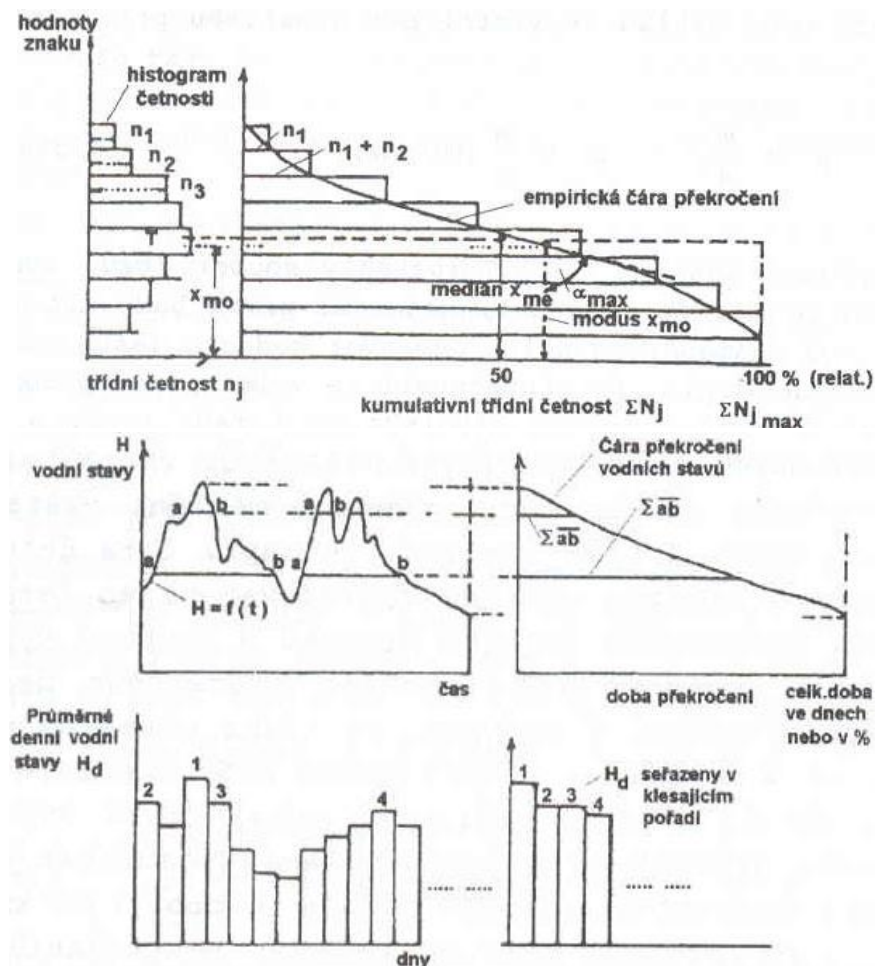
Charakteristiky souboru – podávají základní informace o některých vlastnostech statistických souborů (průměr, směrodatná odchylka, součinitel variace, součinitel asymetrie).

Čáry překročení – zásadní pracovní nástroj v hydrologii – poskytují informaci kolikrát nebo po jakou dobu byla určitá veličina v posuzovaném období dosažena nebo překročena

Empirická čára překročení

Možnosti sestavení

- ✓ Čára překročení je součtovou čarou k histogramu četnosti
- ✓ V případě spojitého průběhu čáry jevu součtem dob trvání
- ✓ V případě sloupcovitého zobrazení čáry jevu seřazením sloupců dle velikosti v klesajícím pořadí
- ✓ Výpočtem pravděpodobnosti po seřazení souboru o n prvcích dle velikosti v klesajícím pořadí, m je pak pořadové číslo.

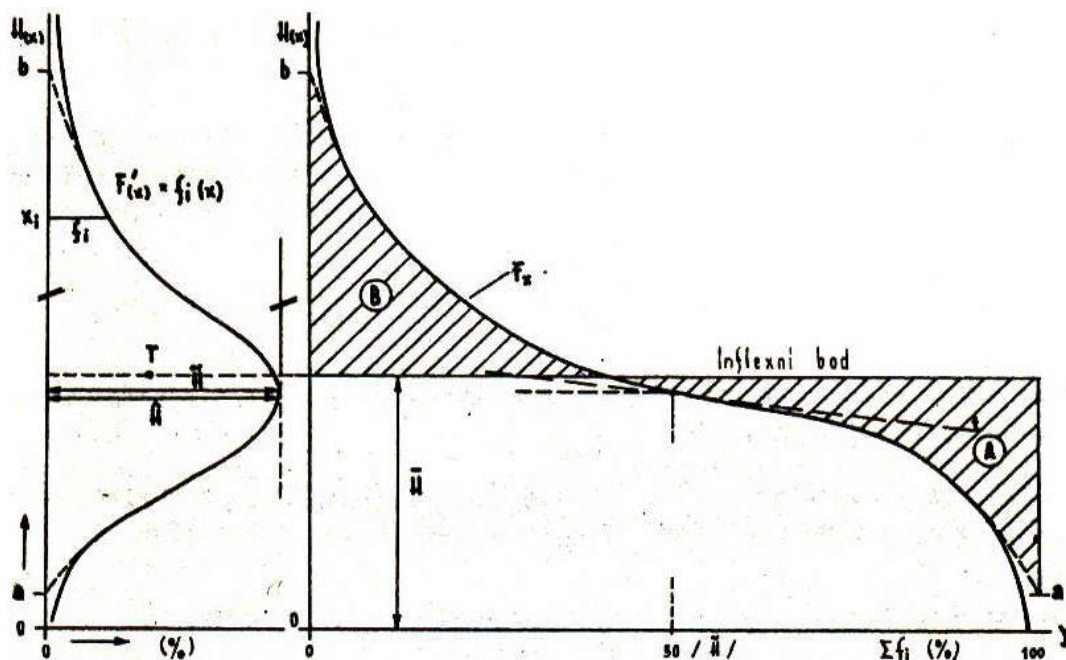


$$p = \frac{m - 0.3}{n + 0.4}$$

Teoretická čára překročení

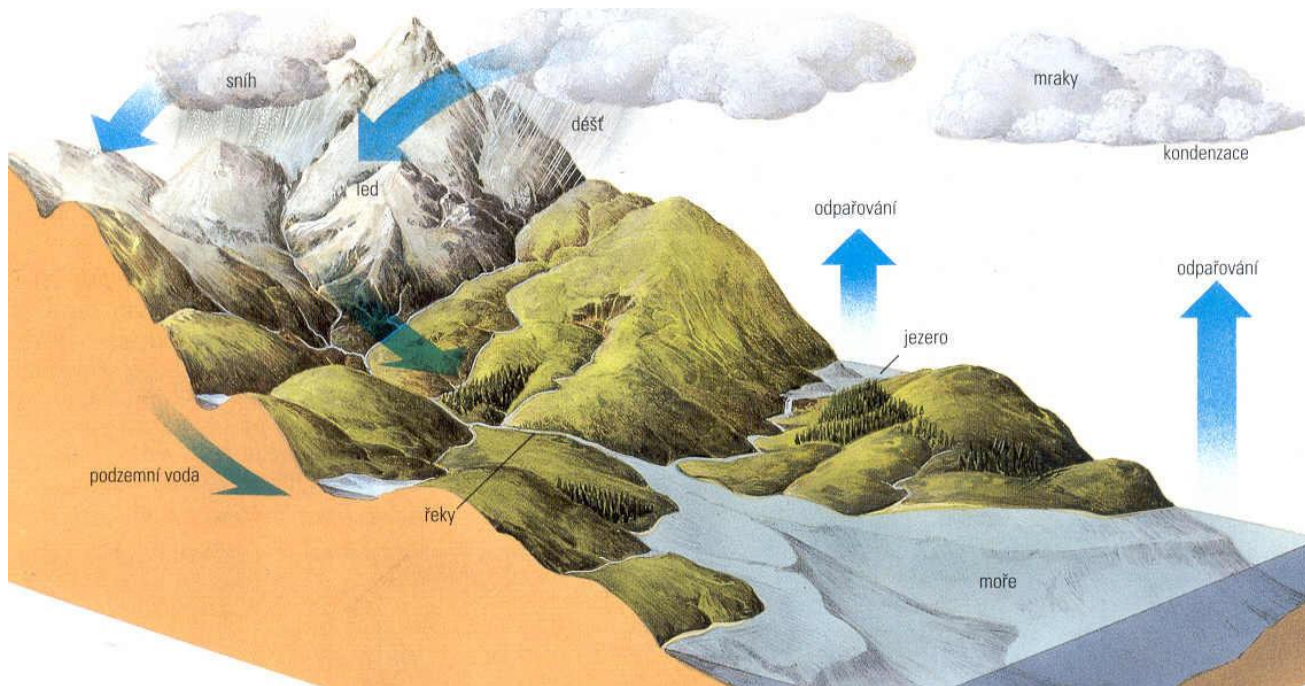
K sestavení teoretické čáry překročení se využívá některá z křivek rozdělní pravděpodobnosti.

Pro hydrologické jevy je charakteristická **asymetrie výskytu**, nejčastěji se využívá křivka **Pearson III**, její průběh závisí na průměru \bar{x} , součiniteli asymetrie C_s a součiniteli variace C_v .



Cíle teoretických čar překročení – vyhlazení průběhu čáry překročení, extrapolace do oblasti extrémních pravděpodobností

Bilance vody v přírodě



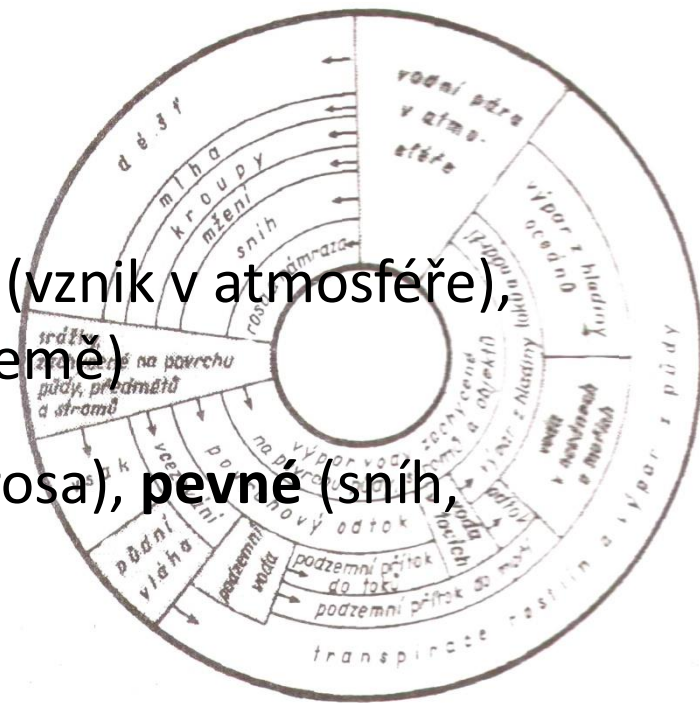
Základní bilanční rovnice $H_s = H_o + H_v \pm R$ [m^3] nebo [mm vod.sloupce]

- ✓ H_s – množství srážek spadlých na povodí
- ✓ H_o – množství vody odteklé z povodí závěrným profilem
- ✓ H_v – množství vody odpařené z povrchu povodí
- ✓ R – změna zásob vody v povodí

Srážky

Členění srážek dle různých kritérií

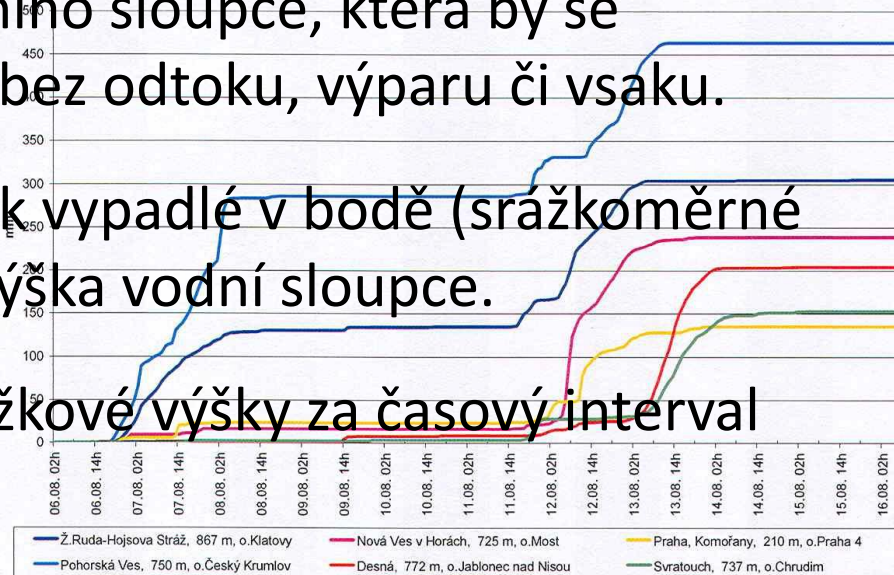
- ✓ dle způsobu a místa vzniku – **vertikální** (vznik v atmosféře), **horizontální** (kondenzace na povrchu země)
- ✓ dle skupenství – srážky **kapalné** (déšť, rosa), **pevné** (sníh, kroupy)



Základní parametry

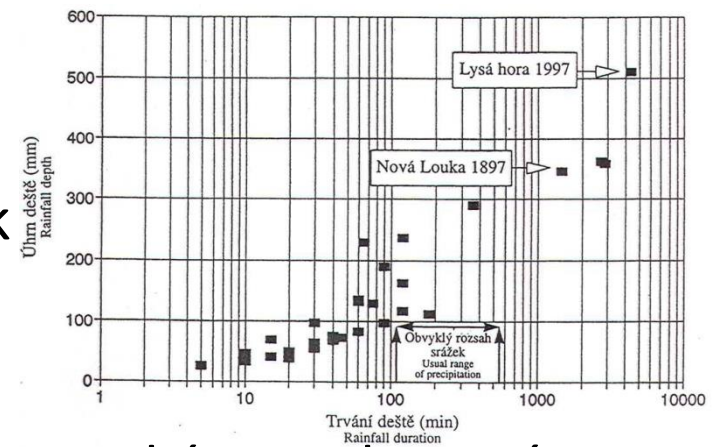
- ✓ **Srážková výška H_s** – výška vodního sloupce, která by se vytvořila z deště na dané ploše bez odtoku, výparu či vsaku.
- ✓ **Srážkový úhrn** – množství srážek vpadlé v bodě (srážkoměrné stanici) vyjádřené rovněž jako výška vodní sloupce.
- ✓ **Intenzita srážky i** – velikost srážkové výšky za časový interval

$$i = \frac{\Delta H_s}{\Delta t}$$



Druhy dešťů

Základní druhy kapalných vertikálních srážek



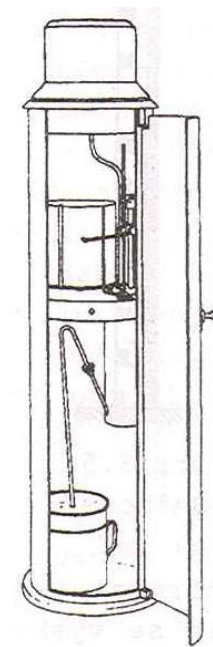
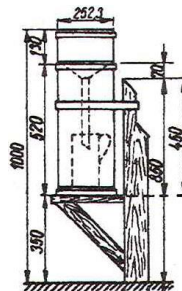
- ✓ **Deště z tepla** - ohřátí vlhkého vzduchu o zemský povrch \Rightarrow výstup do vyšších vrstev \Rightarrow dynamické ochlazení \Rightarrow dosažení rosného bodu \Rightarrow vysrážení kapek či ledových krystalů (velké intenzity srážek, menší zasažené plochy - přívalové lijáky).
- ✓ **Deště orografické** - výstup vlhkých vzdušných hmot vynucené reliéfem území (vytrvalé deště s menší intenzitou).
- ✓ **Deště cyklonální** – doprovázejí postupující tlakovou depresi, malé hluboké cyklony (průtrže mračen velké intenzity), ploché cyklony (vytrvalé deště zasahující velká území s nižšími intenzitami).

Měření srážek

Standardní parametry srážkoměrných přístrojů – zachytná kruhová plocha **500 cm²** (D=252.3 mm), výška hrany **1 m** nad terénem.

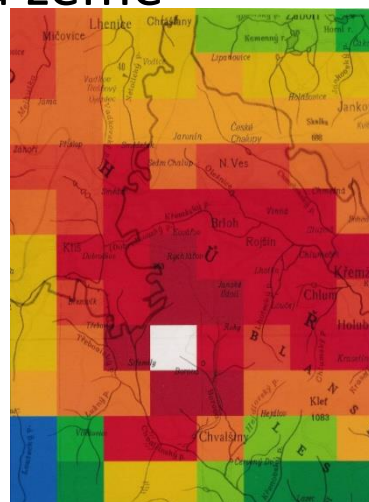
Měření kapalných srážek

- ✓ Srážkoměr – nutný pozorovatel
- ✓ Ombrograf – kontinuální měření srážek
- ✓ Totalizátor – měření v nepřístupných místech
- ✓ Radarové snímkování povrchu země



Měření sněhových srážek

- ✓ Sněhoměrná lať
- ✓ Váhový sněhoměr

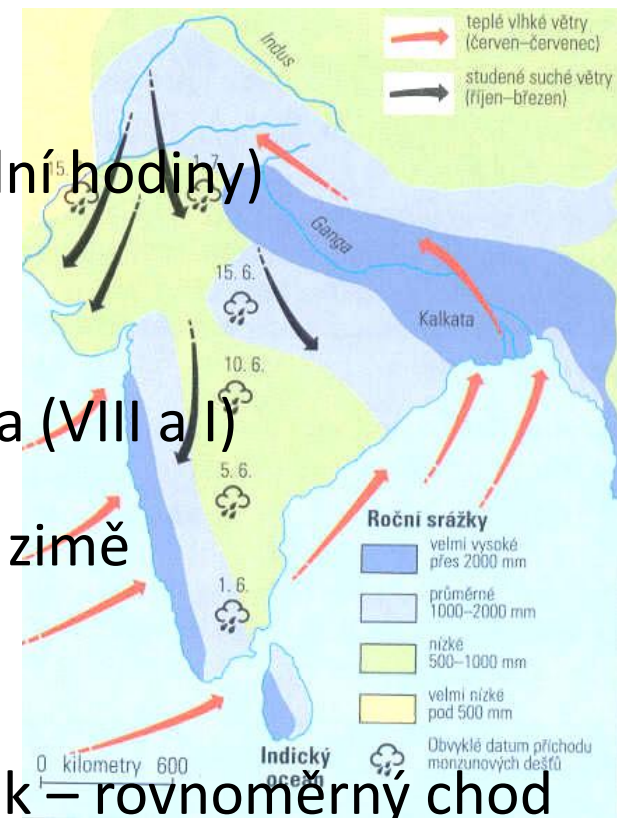


Časové rozdělení srážek

Denní chod srážek (u nás často ranní a odpolední hodiny)

Roční chod srážek

- ✓ rovníkový typ – 2 maxima (IV a XI), 2 minima (VIII a I)
- ✓ monzunový typ - velké srážky v létě, malé v zimě
- ✓ subtropický typ – srážky v zimě, suché léto
- ✓ Přímořské oblasti mírných zeměpisných šířek – rovnoměrný chod



Extrémní dlouhodobé roční úhrny srážek

- ✓ Minima – u nás 400 mm (Slaný, Dyje-Svratka), svět 1 mm (Chile)
- ✓ Maxima – u nás 1700 mm (severní hory), v Evropě 4000mm (sever Anglie, část Švédska), svět 16000mm (jižní svahy Himaláje).

Srážková sezona – měsíční srážkové > dlouhodobý průměr

Prostorové rozdělení srážek

Izohyety - čáry spojující na mapě místa se stejnými srážkovými úhrny, mohou být vztaženy k různým časovým obdobím (průměrný rok, konkrétní rok, měsíc, jednotlivý déšť).

Průměrná srážka na povodí – stanovení na základě srážkových úhrnů ze stanic v posuzovaném povodí



- ✓ **Metoda aritmetického průměru** - aritmetický průměr srážkových úhrnu ze všech stanic na povodí.
- ✓ **Metoda čtvercové sítě** – Aritmetický průměr z úhrnů pro každý čtverec (kde není stanice – lineární interpolace)
- ✓ **Metoda polygonů (metoda Thiessena)** – každé stanici je přisouzena plocha polygonu tvořené **osami souměrnosti na spojnicí jednotlivých stanic**
- ✓ **Metody založené na vyhodnocení izohyet**

Odtok – základní pojmy

Nevsáknutá část srážky a vyvěrající voda z podzemních pramenů stékají působením gravitace ve směru největšího sklonu.

Plošný odtok \Rightarrow postupné soustřeďování (ron, stružky, potoky, řeky).

Říční soustava – hlavní tok se svými přítoky.

Říční síť – systém říčních soustav.



Charakteristiky toku

Pramen – počátek toku – pramen soustředěný či nesoustředěný

Ústí toku – místo, kde se tok vlévá do jiného toku

Délka toku L – vzdálenost od pramene k ústí, měřeno osou koryta

Staničení profilu – vzdálenost daného profilu od ústí, měřeno osou

Stupeň vývinu toku – d/L , d je délka přímé spojnice pramene a ústí

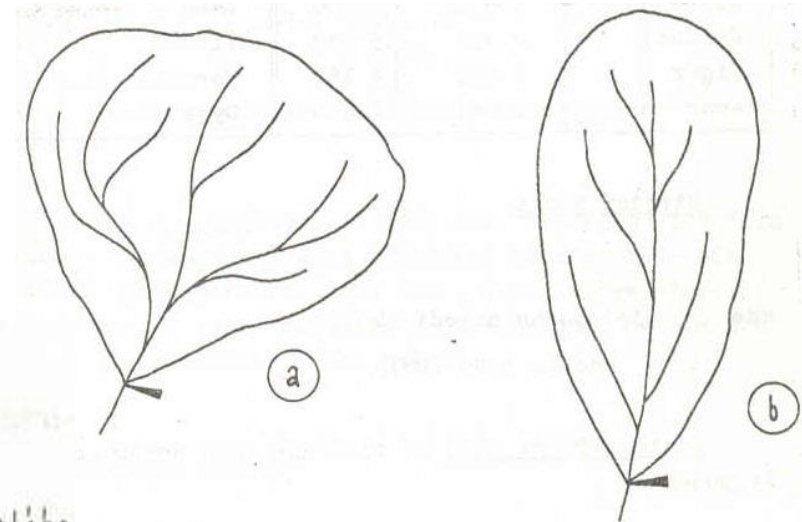
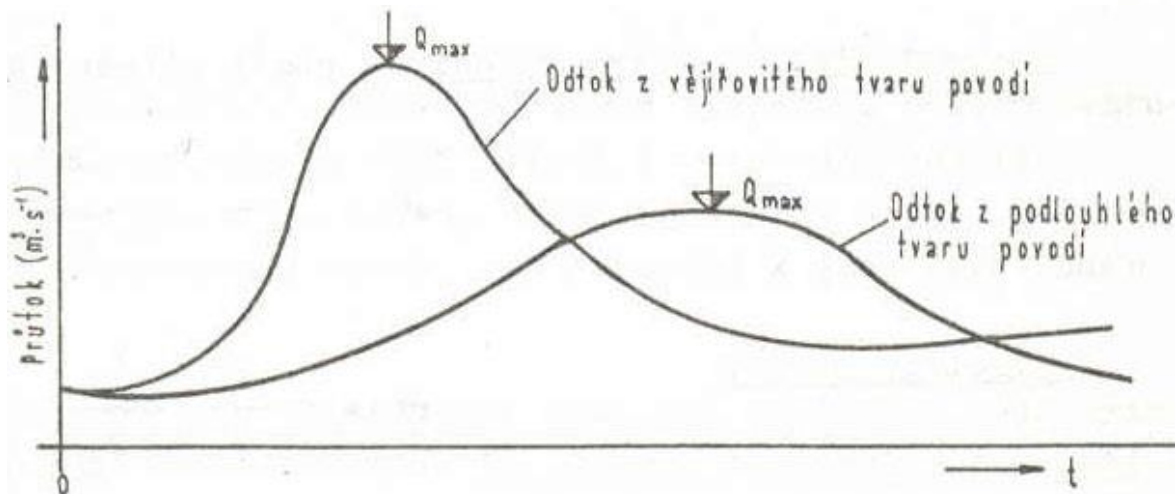
Schematický podélný profil

Faktory ovlivňující odtok

Fyzikálně geografické vlastnosti povodí

- ✓ zeměpisná poloha \Rightarrow klimatické poměry
- ✓ orografické poměry \Rightarrow výškové a sklonitostní poměry
- ✓ geologické a půdní poměry
- ✓ rostlinná pokrývka

Velikost a tvar povodí



Zpracování údajů o odtoku

Průtok Q – objem vody proteklý profilem za jednotku času [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_d , Q_m , Q_r , Q_a – průměrný denní, průměrný měsíční, průměrný roční a dlouhodobý průměrný průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Proteklé množství O – objem vody proteklý profilem za delší časové období [zpravidla tisících m^3]

Typické charakteristiky odtoku

- ✓ Denní odtok $O_d = 86400 \cdot Q_d$
- ✓ Měsíční odtok (n -počet dní v měsíci) $O_m = 86400 \cdot n \cdot Q_m$
- ✓ Roční odtok $O_r = 31.536 \cdot 10^3 \cdot Q_r$
- ✓ Průměrný roční odtok $O_a = 31.536 \cdot 10^3 \cdot Q_a$

Specifický odtok – průtok vztažený na jednotku plochy povodí

$$q = \frac{Q}{S} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}]$$

Měření průtoku

Stanovení průtoku vody – zásadní problém hydrologie.

Drobné prameny - lze měřit proteklý objem za čas (podstata $Q=V/t$).

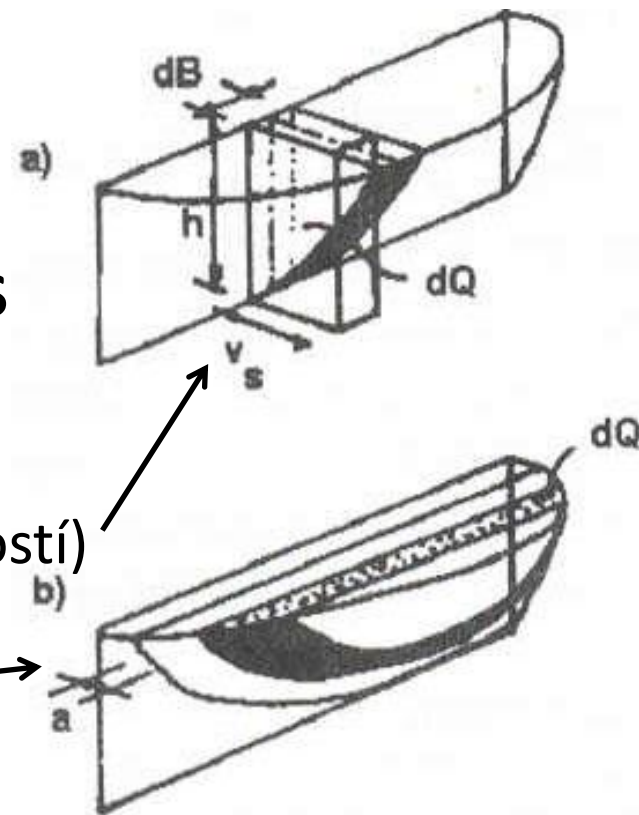
Vodní toky – hydrometrování vyhodnocení průtoku ze složitého rychlostního pole (doba měření – desítky minut)

- ✓ Rozdělení rychlostí po svislici
- ✓ Rozdělení rychlostí po šířce profilu

$$dQ = u \cdot \cos \alpha \cdot dS \Rightarrow Q = \int_0^S u \cdot dS = \int_0^h \int_0^B u \cdot dS$$

Metody numerického řešení

- ✓ Metoda Harlachera (na základě svisl. rychlostí)
- ✓ Metoda Culmanna (na základě izotach)



Hydrometrování

Klasický přístup – využití hydrometrické vrtule pro změření bodové rychlosti proudění $u_i = \alpha \cdot n_s + \beta$ (n_s – specifické otáčky vrtule)

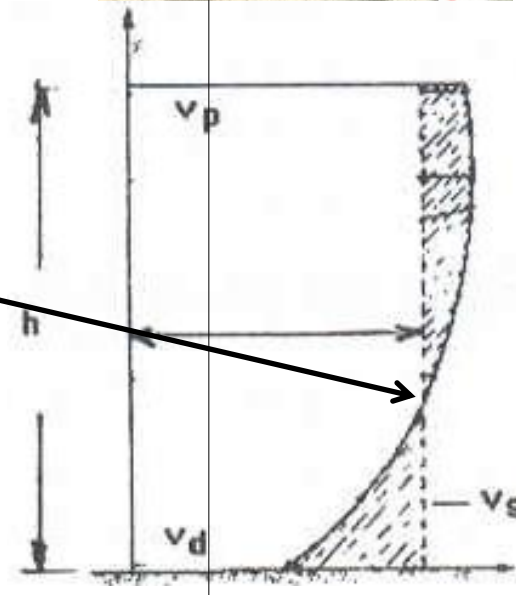
Výpočet průměrné svislicové rychlosti dle počtu měření ve svislici

- ✓ 5 bodová metoda $v_i = \frac{1}{10} \cdot (u_p + 3 \cdot u_{0.8} + 3 \cdot u_{0.4} + 2 \cdot u_{0.2} + u_d)$
- ✓ 3 bodová metoda $v_i = \frac{1}{4} \cdot (u_{0.8} + 2 \cdot u_{0.4} + u_{0.2})$
- ✓ 1 bodová metoda $v_i = u_{0.4}$

Výpočet průtoku v pásu šířky B_i podél svislice i
s průměrnou hloubkou H_i $Q_i = B_i \cdot H_i \cdot v_i$

Výpočet celkového průtoku v případě měření v
 n svislicích $Q = \sum_{i=1}^n Q_i$

Nové možnosti měření rychlostního pole pomocí **ultrazvukového** systému ADCP založeném na **Dopplerově principu**.



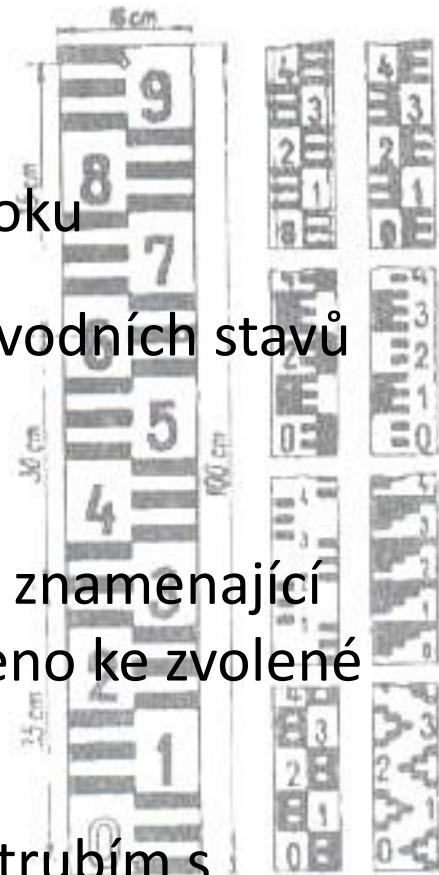
Vodní stavy

Vodní stav – určení polohy hladiny v profilu vodního toku

Vodoměrná (limnigrafická) stanice – určená k měření vodních stavů

Přístroje a objekty k určené k měření vodních stavů

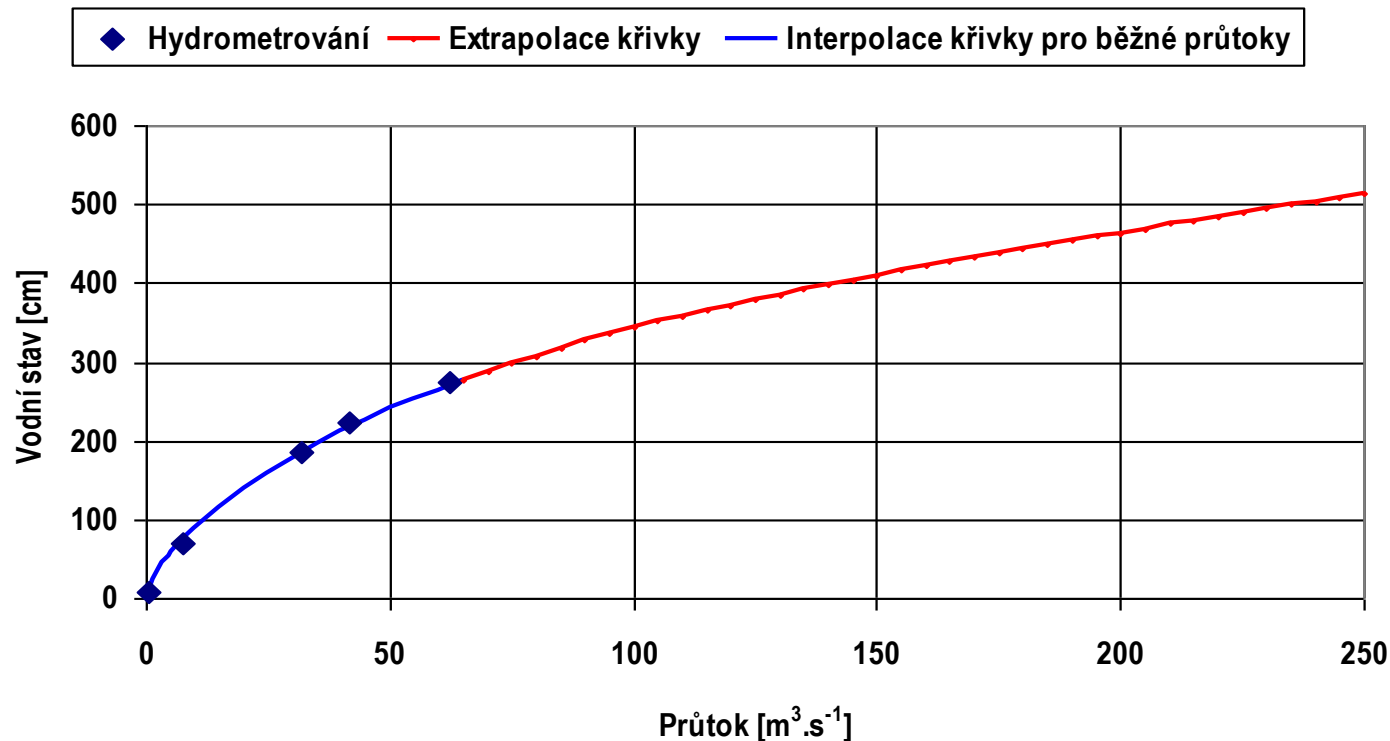
- ✓ Vodočetná lať svislá nebo šikmá, vyznačené pásy znamenající zpravidla 2 cm výšky vodního sloupce, čtení vztaženo ke zvolené 0 vodočtu, nutný pozorovatel.
- ✓ Klasické limnigrafy – šachta spojená přívodním potrubím s korytem, užití principu spojených nádob, měření hladiny plovákem, záznam na mm papír
- ✓ Nové přístroje – zejména ultrazvukové, tlakové a bublinkové měřiče polohy hladiny, běžný dálkový přenos dat



Měrná křivka

Měrná křivka vyjadřuje závislost průtoku na vodním stavu $Q=f(H)$

Základem hydrometrování v profilu pro různé vodní stavy



- ✓ Měrná křivka vodoměrné stanice
 - ✓ Kontinuální záznam vodních stavů stanice
- } Kontinuální průběh průtoku Q v čase

Minimální průtoky

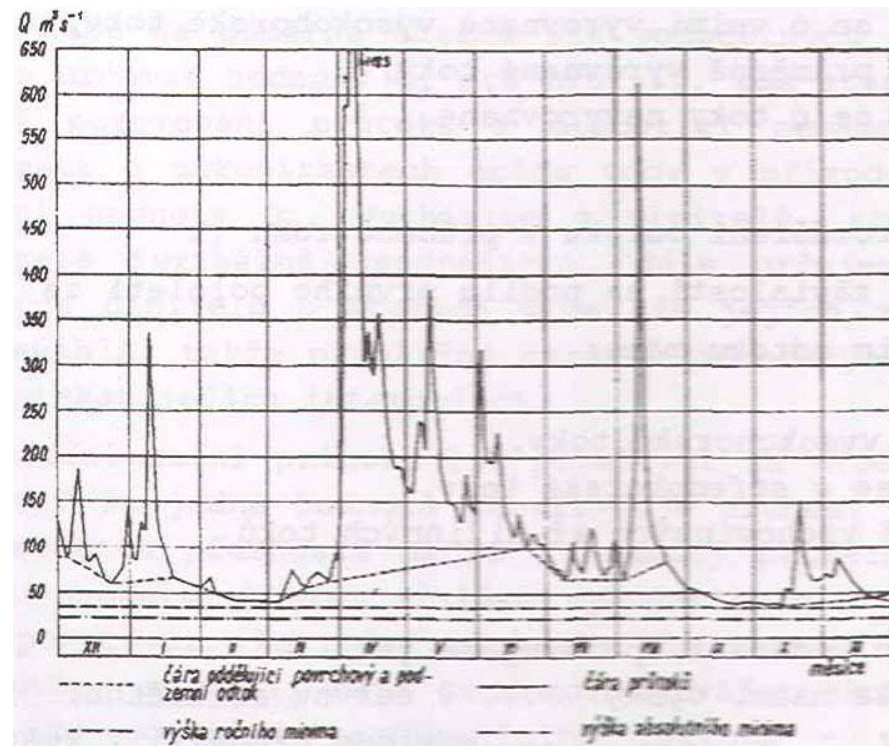
Výskyt minimálních průtoků v případě dlouhodobého období bez povrchového odtoku

Důležité charakteristiky

- ✓ Roční minimum
- ✓ Absolutní minimum
- ✓ Doba trvání minimálních průtoků
- ✓ Výtoková čára

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

Q_0 – počáteční průtok, Q_t průtok v čase t

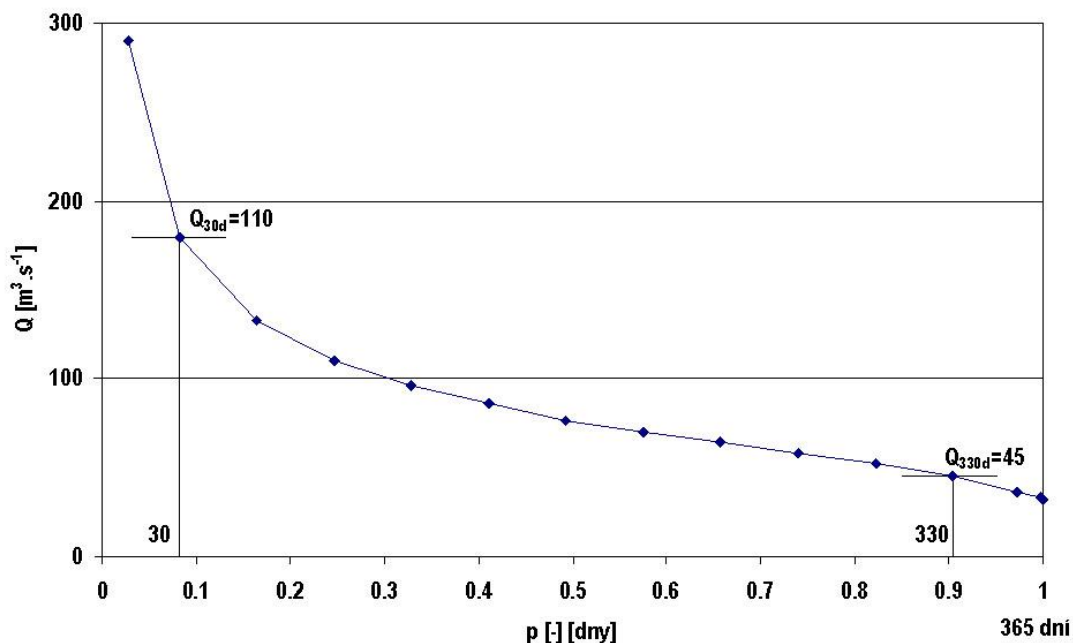


Čára překročení m-denních průtoků

Charakterizuje pravděpodobnost výskytu běžných a minimálních průtoků. Stanovuje ze statistického souboru průměrných denních průtoků za dlouhodobé období.

Zpracovávané hodnoty čáry překročení m-denních průtoků poskytovaných výhradně ČHMÚ:

Q_{30d} , Q_{60d} , Q_{90d} , Q_{120d} , Q_{150d} , Q_{210d} , Q_{240d} , Q_{270d} , Q_{300d} , Q_{330d} , Q_{355d} , Q_{364d}



Definice jednotlivých veličin :
 Q_{330d} („330-ti denní průtok“)—průměrný denní průtok, který je v dlouhodobém průměru (průměrném roce) dosažen nebo překročen po 330 dní v roce.

Maximální průtoky

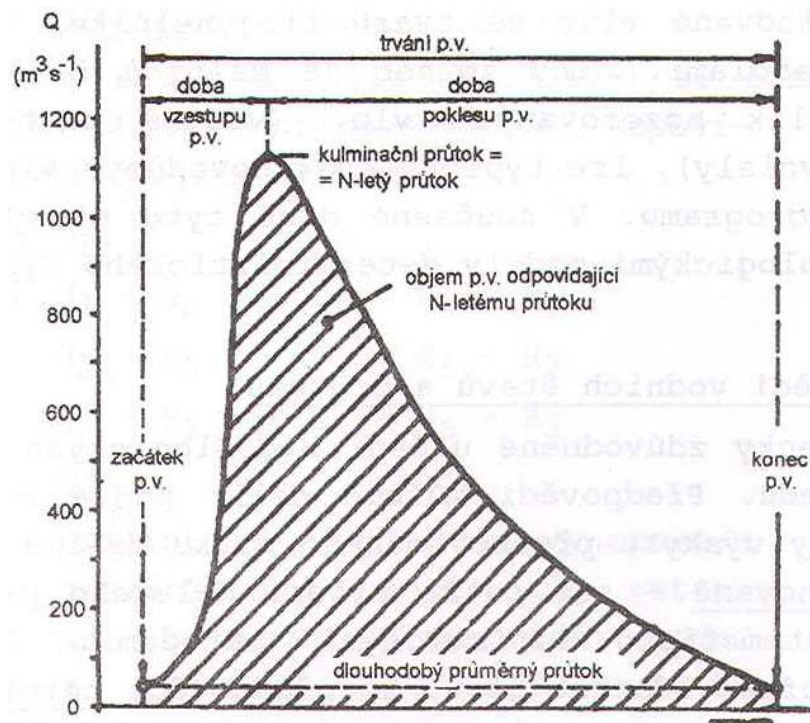
Maximální průtoky jsou vyvolány významnými srážkami, kdy se voda již nestačí infiltrovat do půdy ($i_s > i_i$, i_i je intenzita infiltrace).

S růstem H_s klesá vliv i_i na velikost povrchového odtoku. Maximální výška infiltrované vody za významných srážek $H_i \approx 60 \div 100 \text{ mm}$

Důsledkem extrémních srážek – průtokové povodně charakterizované hydrogramem průtoků $Q=f(t)$.

Charakteristické veličiny povodňové vlny

- ✓ Kulminační průtok
- ✓ Doba trvání vzestupné větve
- ✓ Doba trvání sestupné větve
- ✓ Objem povodňové vlny



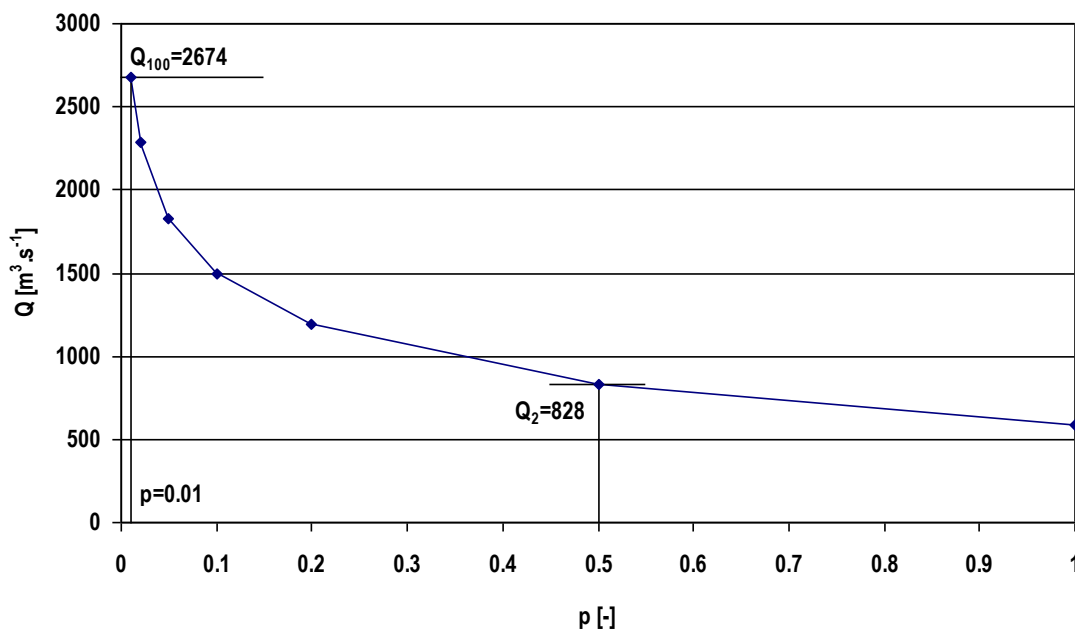
Čára překročení N-letých průtoků

Charakterizuje pravděpodobnost výskytu extrémní průtoků.

Stanovuje ze statistického souboru maximálních průtoků v každém roce pozorování, případně doplněného o maximální průtoky dalších mimořádných povodní v roce.

Zpracovávané hodnoty čáry překročení N-letých průtoků poskytovaných výhradně ČHMÚ:

$Q_1, Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}$



Definice jednotlivých veličin Q_{50} („50-ti letý průtok“)— maximální průtok dosažený nebo překročený v dlouhodobém období s pravděpodobností jednou za 50 let.

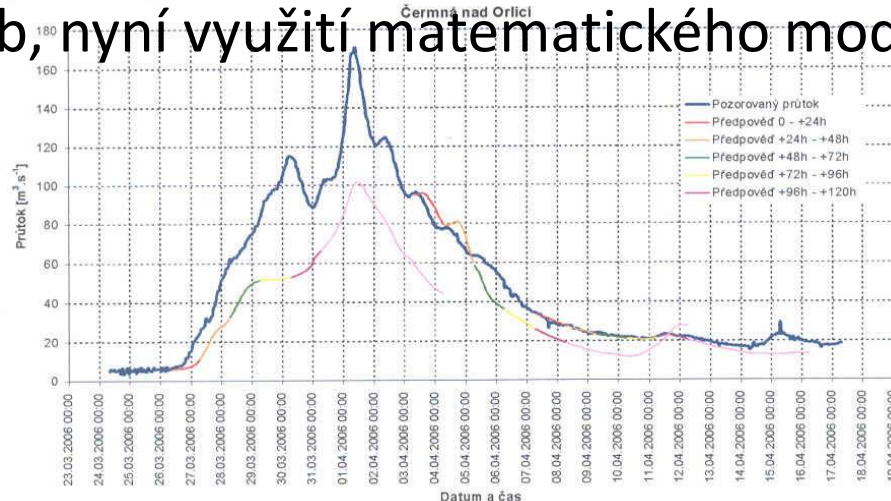
Hydrologické předpovědi

Hydrologické předpovědi **netermínované**

- ✓ Neudává se datum ani čas výskytu jevu, pouze pravděpodobnost výskytu (například N-leté a m-denní průtoky)

Hydrologické předpovědi **termínované**

- ✓ **Krátkodobé předpovědi** – v minulosti využití metod tendencí nebo postupových dob, nyní využití matematického modelování



- ✓ **Sezónní předpovědi** – předpověď odtoku z tajícího sněhu na počátku jarního období, předpověď průtoků při dlouhodobém období sucha

Závěr

- ✓ Základní pracovní metody hydrologie
- ✓ Vodní bilance
- ✓ Měření a vyhodnocení srážek vodních stavů a průtoků
- ✓ Extrémní průtoky, čáry překročení m-denních a N-letých průtoků
- ✓ Základní možnosti hydrologických předpovědí

Doporučené odkazy pro hlubší studium

Kemel: Klimatologie, meteorologie a hydrologie,
ČVUT v Praze, Fakulta stavební

<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydrology/vyuka/HYKV/default.htm>