



# **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

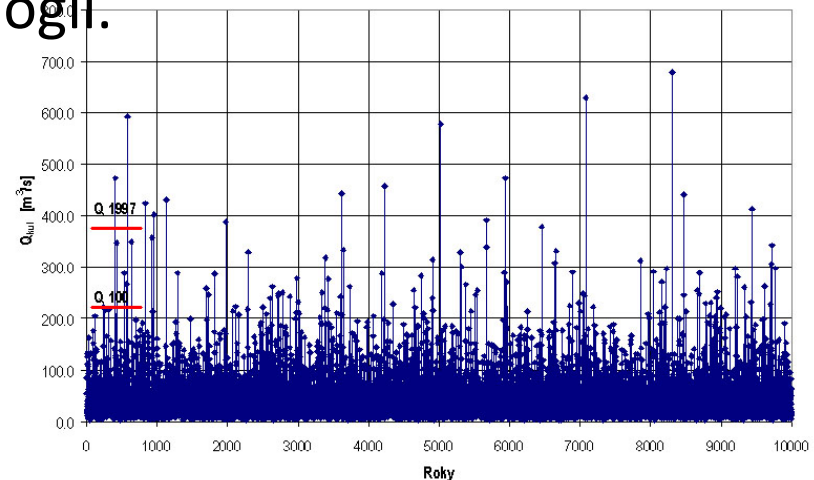
- ✓ **1650** – Perreault - odhad průtoku řeky Seiny
- ✓ **1775** – Chezy – výpočet střední rychlosti vody v korytě
- ✓ **1800 – 1900** – zahájení období počátků systematického pozorování, měření a vyhodnocení hydrologických veličin
- ✓ **1850 – Woltmann – vynález hydrometrické vrtule**
- ✓ **1875** - 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.

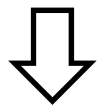


## Deterministické, genetické metody

- ✓ 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.

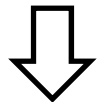
# Základy pravděpodobnosti a statistiky v hydrologii

**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

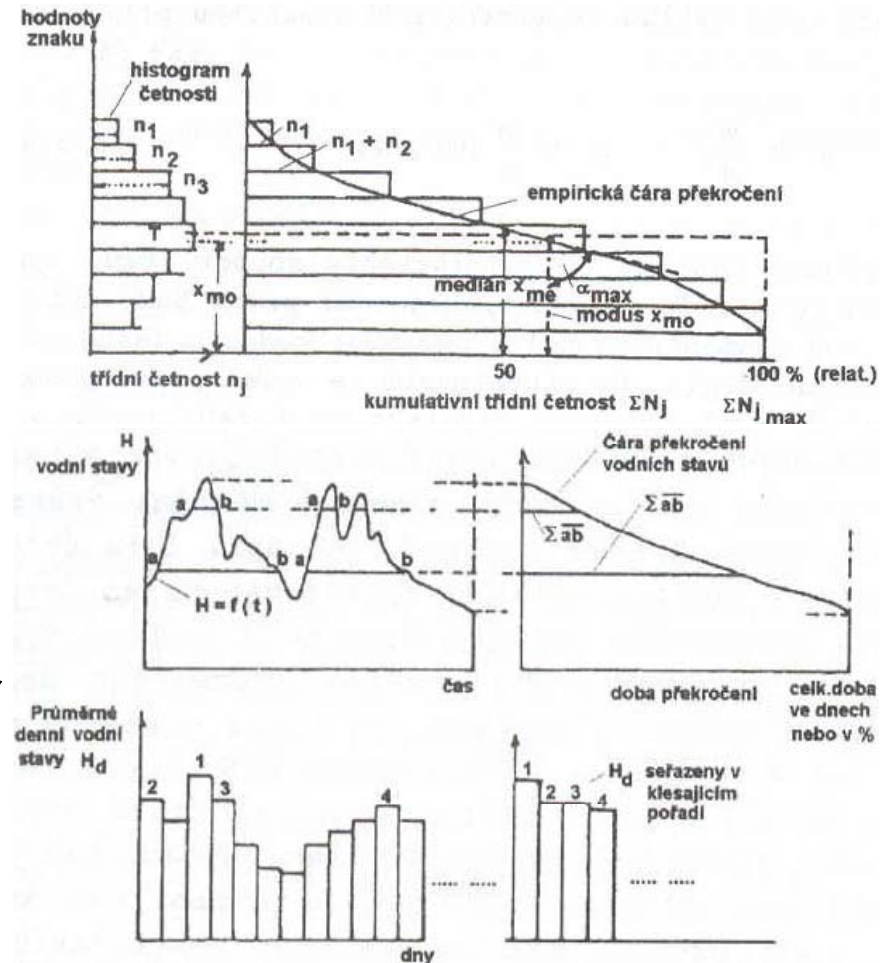
**Charakteristiky souboru** – podávají základní informace o některých vlastnostech statistických souborů (průměr, směrodatná odchylka, součinitel variace, součinitel asymetrie).

**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.

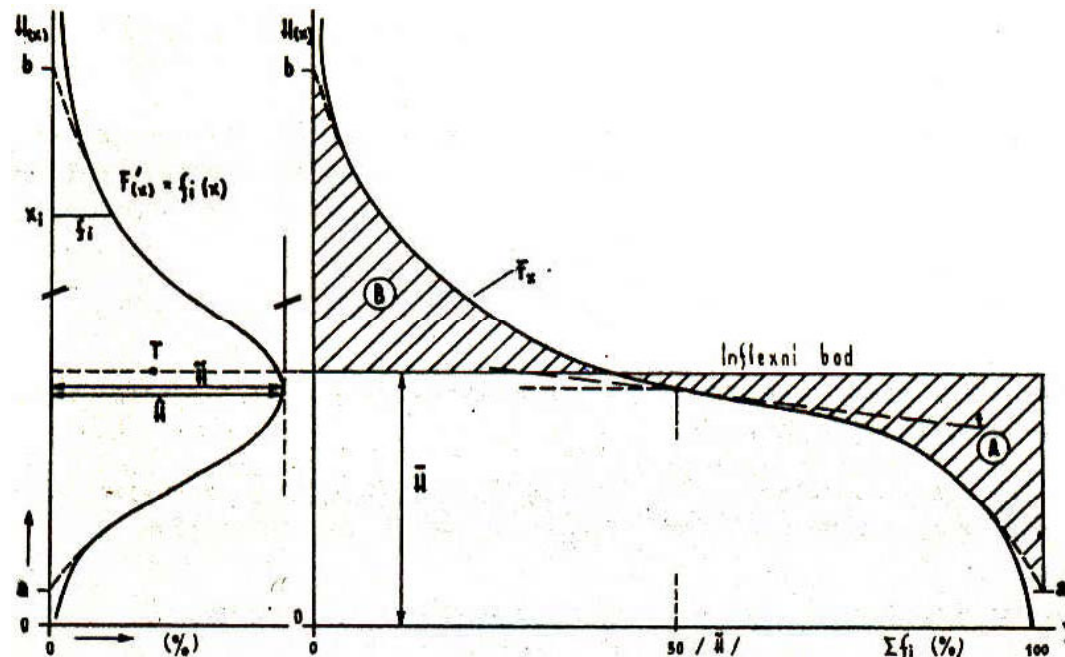


$$p = \frac{m - 0.3}{n + 0.4}$$

## Teoretická čára překročení

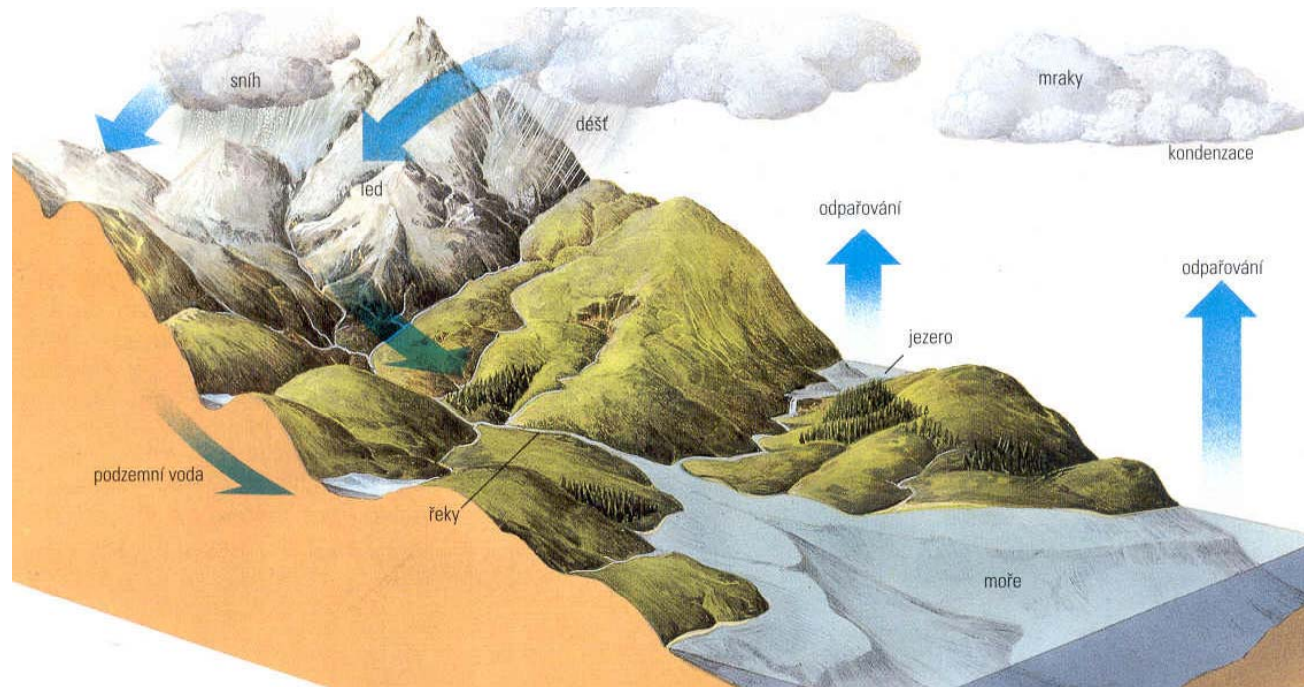
K sestavení teoretické čáry překročení se využívá některá z křivek rozdělní pravděpodobnosti.

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]

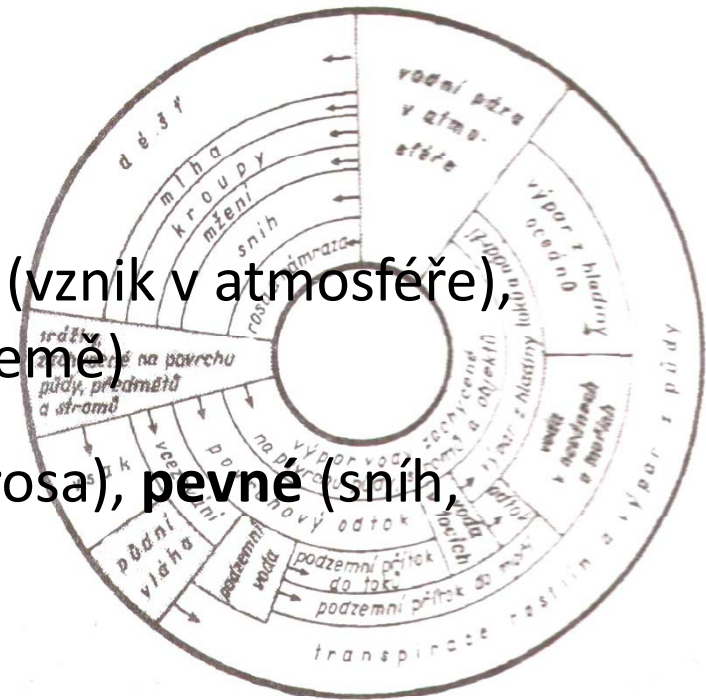
- ✓  $H_s$  – množství srážek spadlých na povodí
- ✓  $H_o$  – množství vody odteklé z povodí závěrným profilem
- ✓  $H_v$  – množství voda odpařené z povrchu povodí
- ✓  $R$  – změna zásob vody v povodí



# Srážky

Členění srážek dle různých kritérií

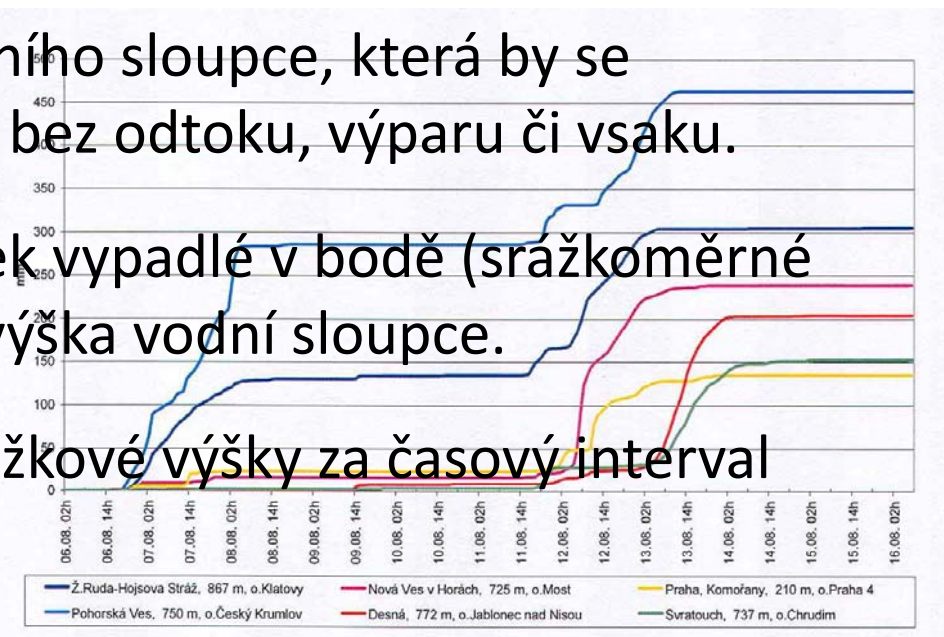
- ✓ dle způsobu a místa vzniku – **vertikální** (vznik v atmosféře), **horizontální** (kondenzace na povrchu země)
- ✓ dle skupenství – srážky **kapalné** (déšť, rosa), **pevné** (sníh, kroupy)



Základní parametry

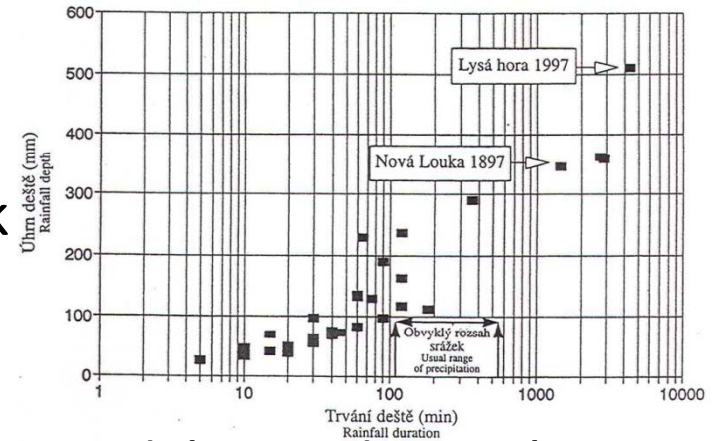
- ✓ **Srážková výška  $H_s$**  – výška vodního sloupce, která by se vytvořila z deště na dané ploše bez odtoku, výparu či vsaku.
- ✓ **Srážkový úhrn** – množství srážek vypadlé v bodě (srážkoměrné stanici) vyjádřené rovněž jako výška vodní sloupce.
- ✓ **Intenzita srážky  $i$**  – velikost srážkové výšky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

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



# Druhy dešťů

Základní druhy kapalných vertikálních srážek



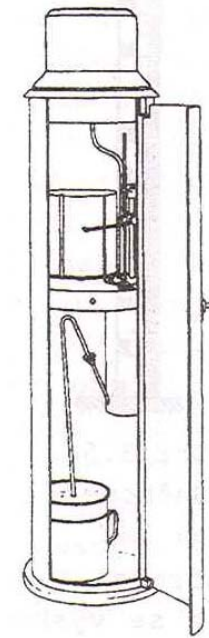
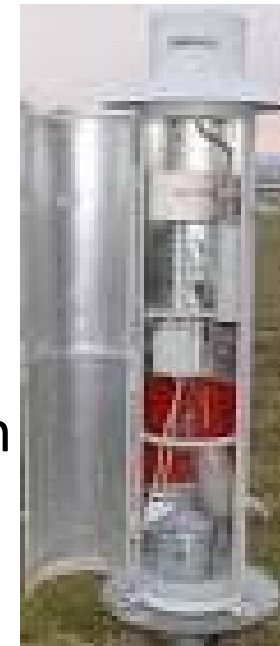
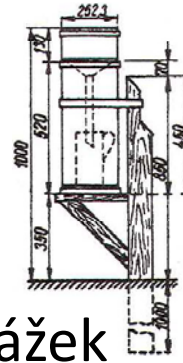
- ✓ **Deště z tepla** - ohřátí vlhkého vzduchu o zemský povrch  $\Rightarrow$  výstup do vyšších vrstev  $\Rightarrow$  dynamické ochlazení  $\Rightarrow$  dosažení rosného bodu  $\Rightarrow$  vysrážení kapek či ledových krystalů (velké intenzity srážek, menší zasažené plochy - přívalové lijáky).
- ✓ **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 – záchytná kruhová plocha **500 cm<sup>2</sup>** (D=252.3 mm), výška hrany **1 m** nad terénem.

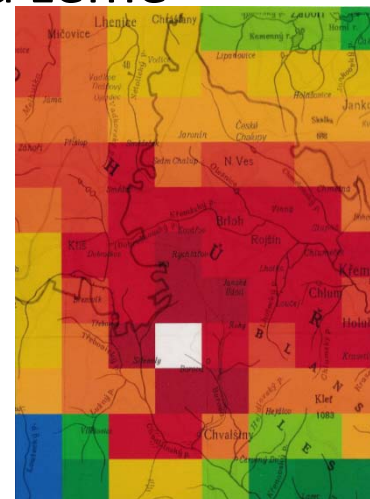
## Měření kapalných srážek

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



## Měření sněhových srážek

- ✓ Sněhoměrná lať
- ✓ Váhový sněhoměr

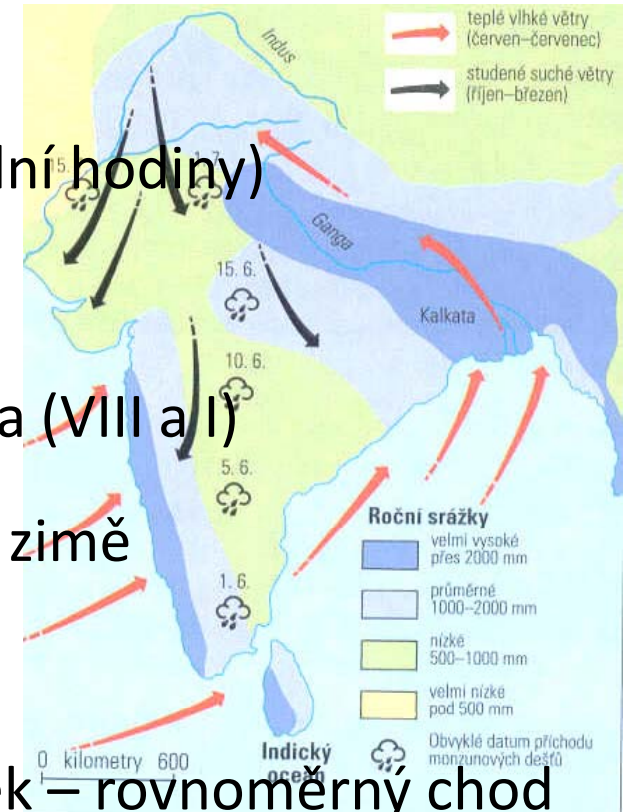


# Časové rozdělení srážek

**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

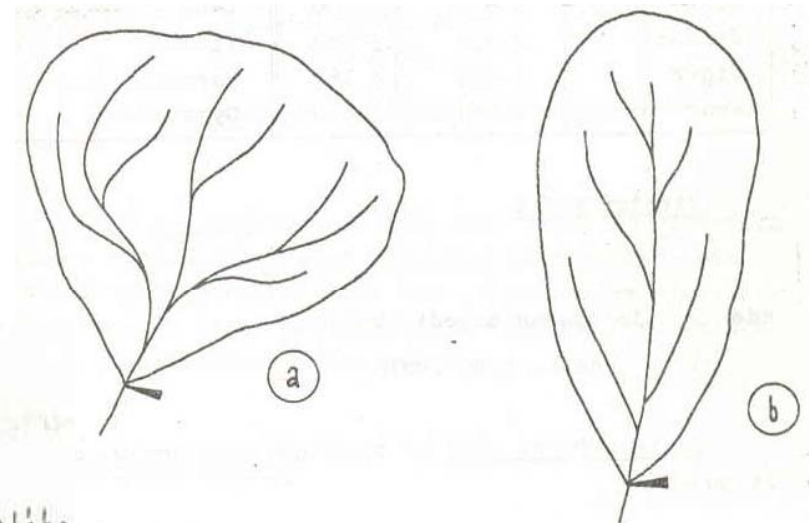
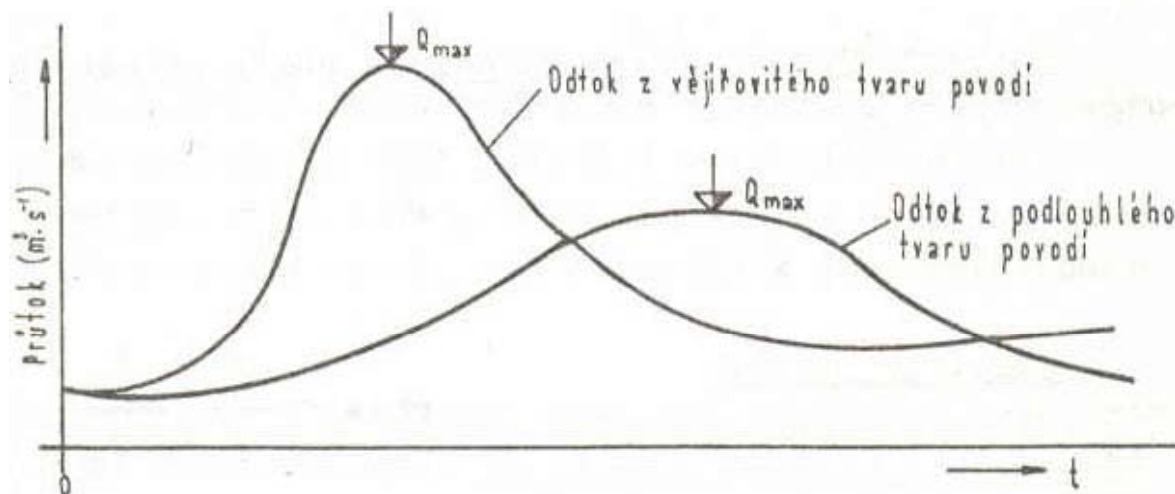
**Schematický podélný profil**

# 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  $\text{m}^3$ ]

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  $Q=V/t$ ).

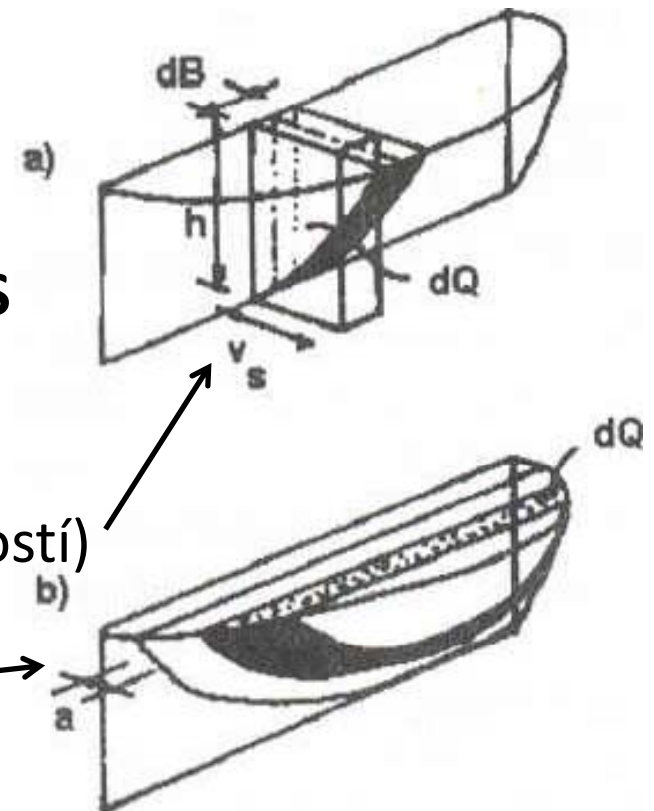
Vodní toky – hydrometrování vyhodnocení průtoku ze složitého rychlostního pole (doba měření – desítky minut)

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

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

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

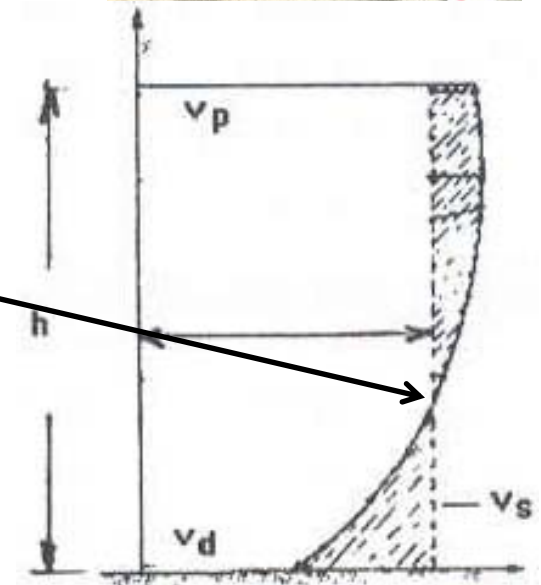
✓ 5 bodová metoda  $v_i = \frac{1}{10} \cdot (u_p + 3 \cdot u_{0.8} + 3 \cdot u_{0.4} + 2 \cdot u_{0.2} + u_d)$

✓ 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  $Q = \sum_1^n Q_i$



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

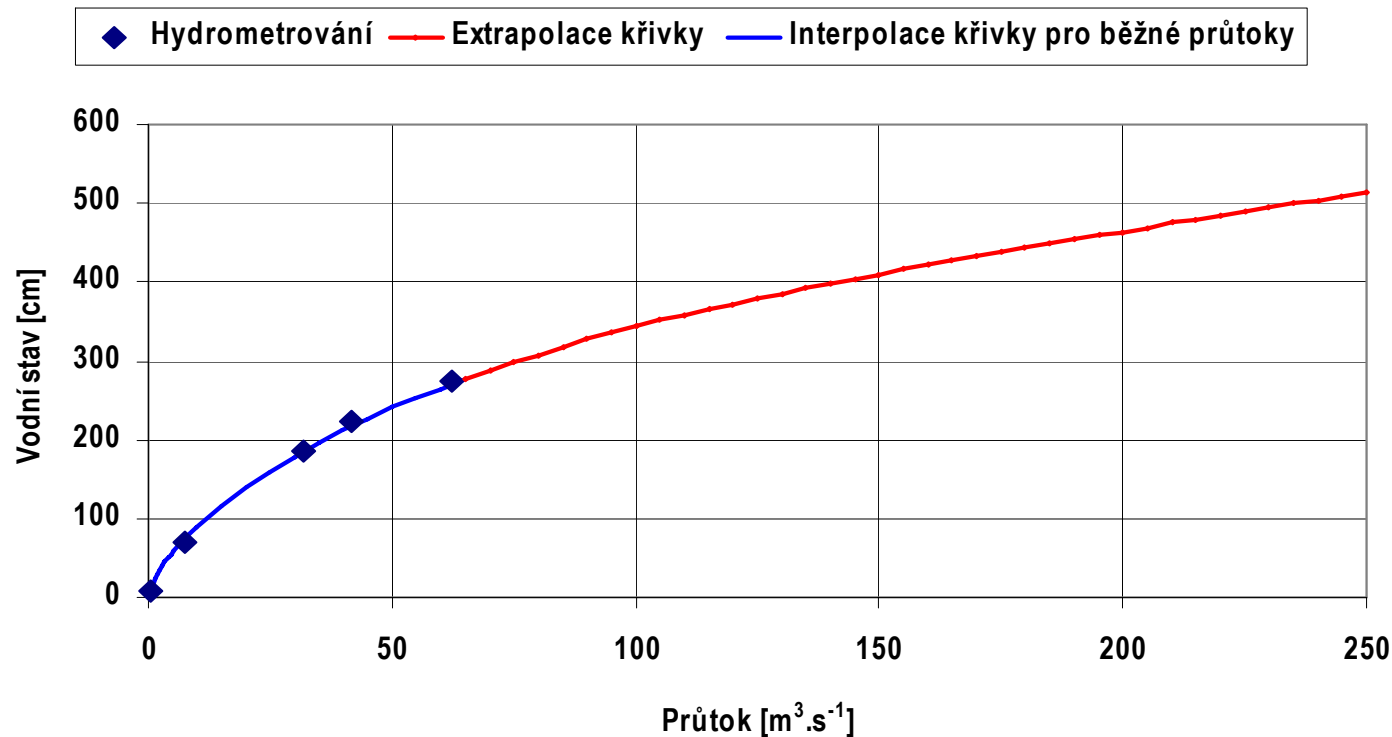
- ✓ Vodočetná lať svislá nebo šikmá, vyznačené pásky znamenající zpravidla 2 cm výšky vodního sloupce, čtení vztaženo ke zvolené 0 vodočtu, nutný pozorovatel.
- ✓ Klasické limnigrafy – šachta spojená přívodním potrubím s korytem, užití principu spojených nádob, měření hladiny plovákem, záznam na mm papír
- ✓ 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

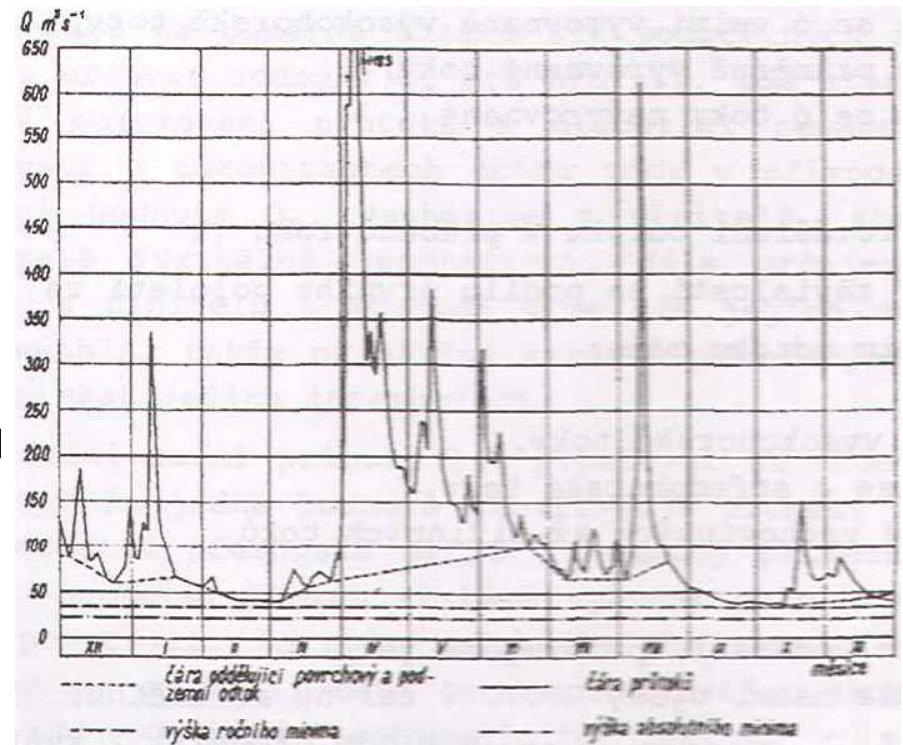
Výskyt minimálních průtoků v případě dlouhodobého období bez povrchového odtoku

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  $t$

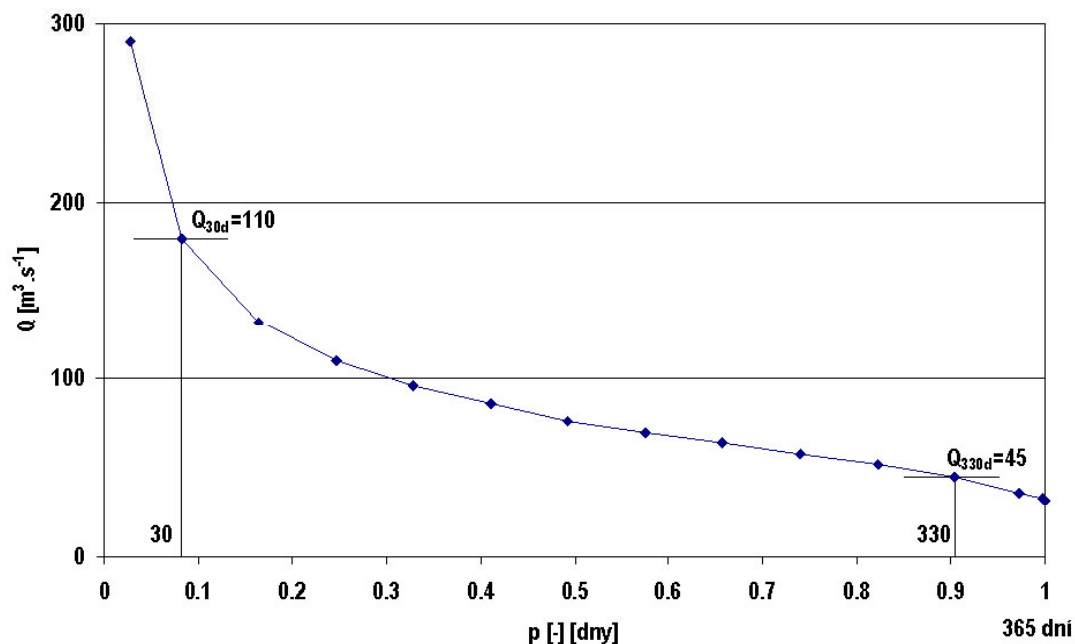


# Čára překročení m-denních průtoků

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 období  
dosažen nebo překročen po  
330 dní v roce.

# Maximální průtoky

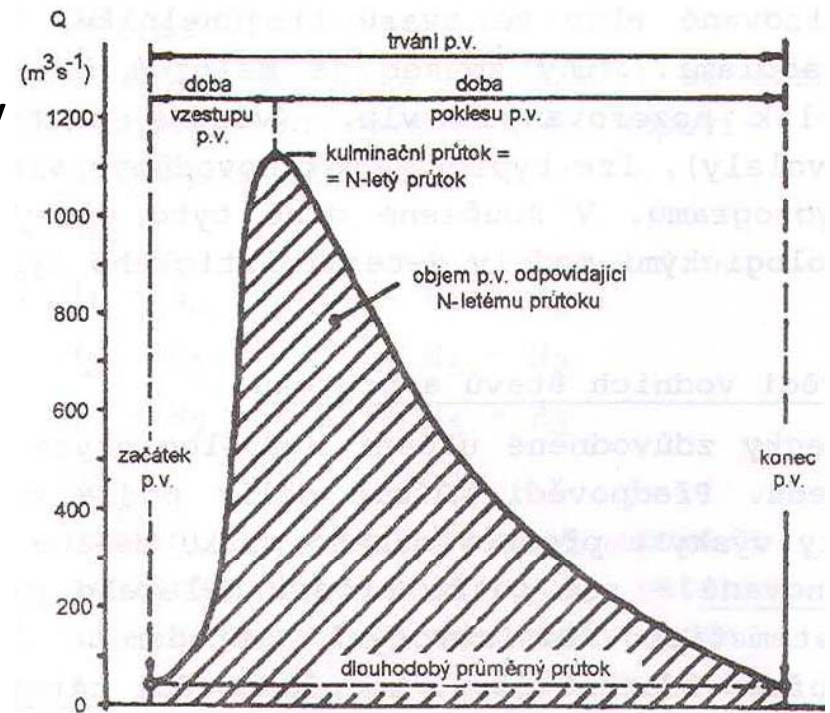
Maximální průtoky jsou vyvolány významnými srážkami, kdy se voda již nestačí infiltrovat do půdy ( $i_s > i_i$ ,  $i_i$  je intenzita infiltrace).

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 průtoku  $Q=f(t)$ .

Charakteristické veličiny povodňové vlny

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



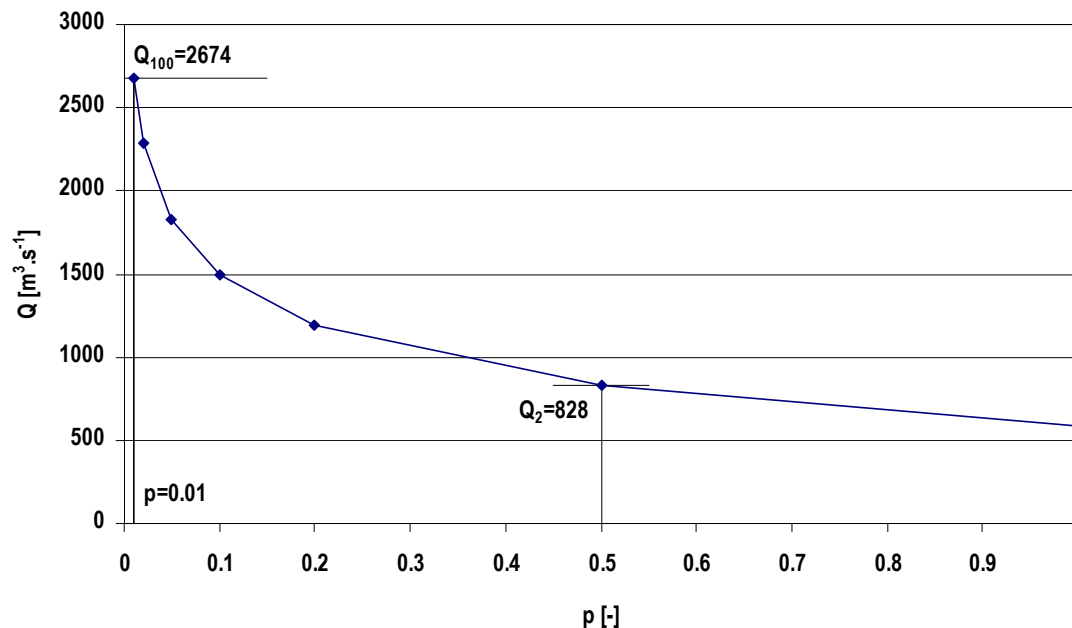
# Čára překročení N-letých průtoků

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 m-denních 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.



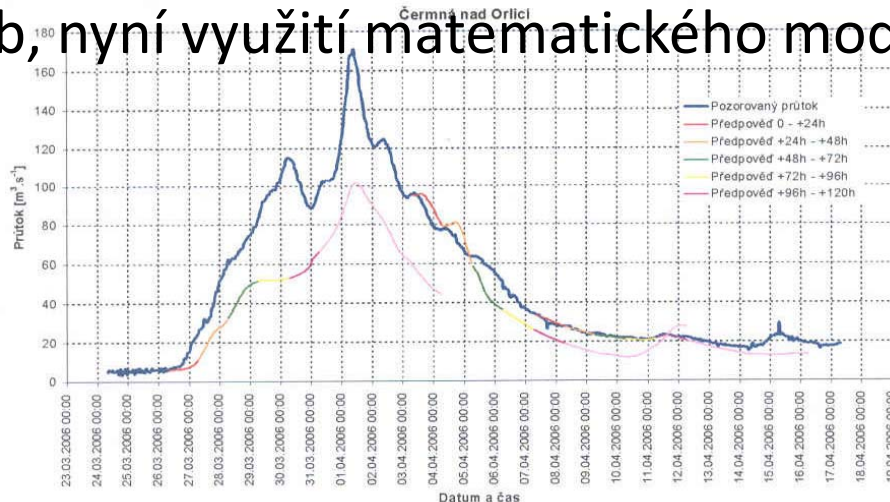
# Hydrologické předpovědi

## 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>