

**Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Katedra hydrauliky a hydrologie**

**Předmět VIZP  
© K141 FSv ČVUT**

# **Základy hydrologie**

**Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.**

**<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/prednasky.htm>**

# Hydrologie

Věda, která se zabývá poznáním zákonů výskytu a oběhu vody v přírodě.

## Inženýrská hydrologie

Zabývá se charakteristikami hydrologického režimu vodních objektů (řeky, nádrže, jezera ...) a poskytuje je pro potřebu projekce, provozu i údržby vodohospodářských děl a stavební činnosti obecně.

Hydrologie se člení :

**Hydrometrie** – věnuje se návrhu vhodných přístrojů, metodám měření samotnému měření.

**Hydrografie** – zabývá se pozorováním, shromažďováním, klasifikací, tříděním a zpracováním získaného materiálu.

# Úzká spolupráce s dalšími vědními obory

**Meteorologie** – zkoumá fyzikální změny a děje v ovzduší  
přeměna par na srážky právě v ovzduší. 

**Klimatologie** – zabývá se dlouhodobým vývojem počasí.

**Pedologie, geologie, hydrogeologie** – ovlivňují množství srážek,  
které se vsákne pod povrch země.

**Hydraulika** – popisuje proudění vody

**Agrotechnika, lesní hospodářství.**  
**Termika, biologie, chemie vody.**

# Historický vývoj hydrologie

Až do minulého století se kryje s vývojem hydrauliky, geofyziky a fyzického zeměpisu.

**1800 – 1900** – období pozorování, měření, experimentů, modernizace a matematizace.

**1900 – 1930** – hydrologie začíná existovat jako samostatná věda.

**1930 – 1950** – výrazný rozvoj především inženýrské hydrologie.

**Současnost** – období rozmachu matematických modelů.

# Základní úkol hydrologie – určení hlavního prvku - průtoku

Definice průtoku – objem vody proteklý daným profilem za jednotku času.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q – průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ], V – objem [ $\text{m}^3$ ], t – čas [s]

**17.století** – Toricelli – první měření průtoku výtokem do nádoby.

**1650** – Perreault – první přibližný odhad průtoku vody v řece Seiny v Paříži  první kvantitativní vztah oběhu vody v přírodě.

**1732** – Pitot – objevil možnost měření místní (bodové) rychlosti vody pomocí speciální trubice (**Pitotova trubice**).

**1775** – Chezy – uveřejnil způsob výpočtu střední (průřezové) rychlosti v (**Chezyho rovnice**).

**Velký zvrat v hydrologii** – vynález **hydrometrické vrtule Woltmanna**.

# Historie hydrologické služby v Čechách

- 1. polovina 19.století** – první soustavná pozorování a měření hydrologických veličin a prvků, založení sítě srážkoměrných stanic (F.J.Studnička)
- 1875** – zřízena **Hydrologická komise Království českého**. Kromě srážkoměrného oddělení obsahuje i oddělení vodoměrné vedené A.R.Harlacherem – zasloužil se o zpracování teoretických základů hydrometrických metod využívaných dodnes.
- 1920** – založen Státní ústav hydrologický (dnes Výzkumný ústav vodohospodářský – VÚV TGM).
- 2. sv.válka** – srážkoměrná pozorování svěřena složkám meteorolog.
- 1954** – spojením meteorologické a hydrologické služby založen Hydrometeorologický ústav (dnes Český hydrometeorol. ústav – ČHMÚ)

# 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.

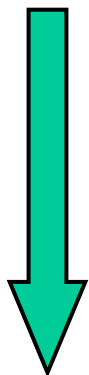


Modely pro simulaci vývoje počasí, prostorového a časového rozložení srážek, srážko-odtokového procesu.

# Základy pravděpodobnosti a statistiky využívané v hydrologii

## Prvotní údaje

Hlášení pozorovatelů nebo záznamy z moderních přístrojů .



Roztřídění prvků podle shodného znaku (např. vodní stav, průtok, srážkový úhrn, intenzita srážky, teplota).

Vzniká statistická proměnná (hodnota společného znaku).

## Statistické soubory

Množiny jednotlivých statistických proměnných.



Zpracování statistických souborů

## Charakteristiky souboru

Podávají základní informace o některých vlastnostech statistických souborů.



# Základní statistické charakteristiky užívané v hydrologii

**Průměr**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

**Variační rozpětí (rozkyv, amplituda)**

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

**Průměrná odchylka**

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

**Rozptyl**

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

**Směrodatná odchylka**

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

**Součinitel variace**

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2} \quad \text{kde} \quad k_i = \frac{x_i}{\bar{x}}$$

**Součinitel asymetrie**

$$C_s = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{C_v^3}$$

# Čáry překročení

**Čáry překročení – zcela zásadní pracovní nástroj v hydrologii.**

Poskytuje informaci **kolikrát** nebo **po jakou dobu** byla určitá hodnota znaku v určitém období (např. pozorování) **dosažena** nebo **překročena**.

Výsledkem zpracování čar překročení jsou mimo jiné návrhové veličiny pro projektování vodohospodářských a jiných staveb.

Druhy čar překročení :

**Empirická čára překročení**

Výsledek zpracování jednotlivých statistických souborů.

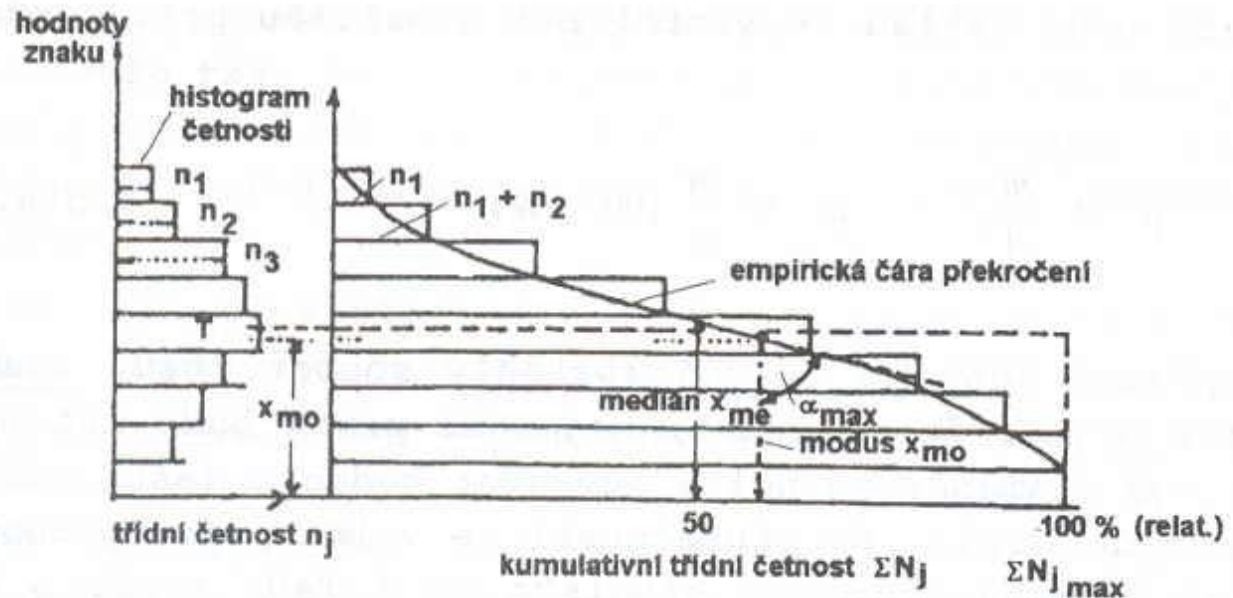
**Teoretické čáry překročení**

Využívají se základní statistické charakteristiky souborů a zákony rozdělení pravděpodobnosti.

Smyslem vyrovnání průběhu ve střední části a extrapolace do oblasti extrémních hodnot.

## Možnosti zpracování empirických čar překročení

1. Pro rozsáhlé soubory se v minulosti používala metoda založená rozdělení prvků statistického souboru do dílčích tříd - intervalů. Ty byly charakterizovány počtem výskytů – histogram četnosti. Čára překročení je potom součtovou čarou k histogramu četnosti.



2. Na základě výpočtu pravděpodobnosti po seřazení souboru o  $n$  prvcích dle velikosti,  $m$  je potom pořadové číslo prvku.

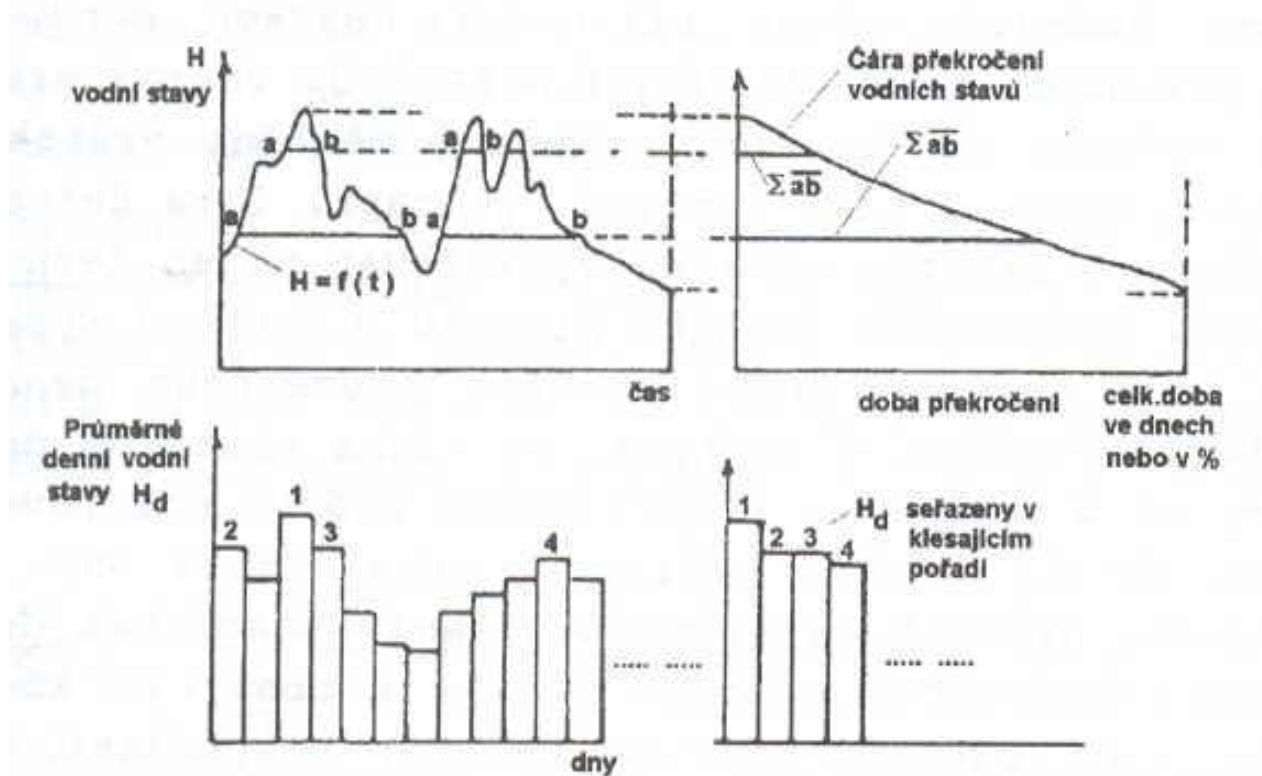
Základní rovnice

$$p = \frac{m}{n}$$

Čegodajev

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

3. V případě spojitého průběhu čáry jevy (například hydrogram – závislost  $Q$  na  $t$ ) součtem dob trvání pro různé velikosti posuzovaného jevu z čáry průběhu jevu.
4. V případě sloupcového zobrazení čáry jevu seřazením jednotlivých sloupců dle velikosti v klesajícím pořadí.

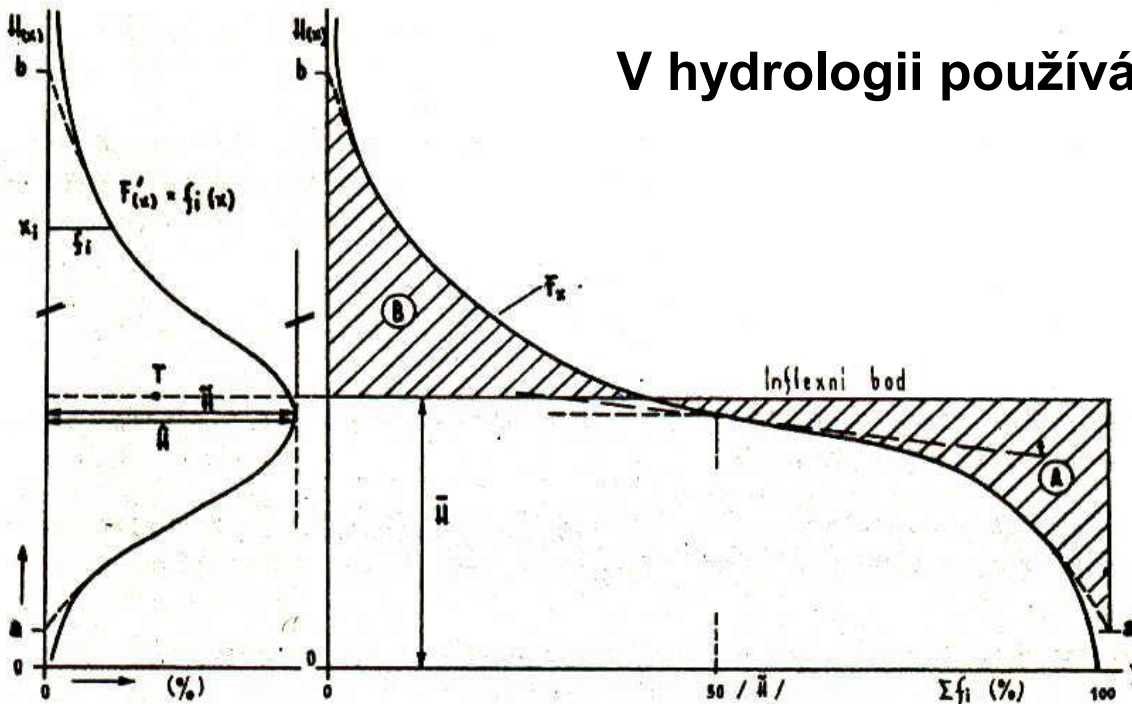


5. Obecně z čáry četnosti jako součtovou čáru k čáře diferenciální.

## Možnosti zpracování teoretických čar překročení

Výpočet teoretické čary překročení odpovídající určitému zákonu rozdělení pravděpodobnosti.

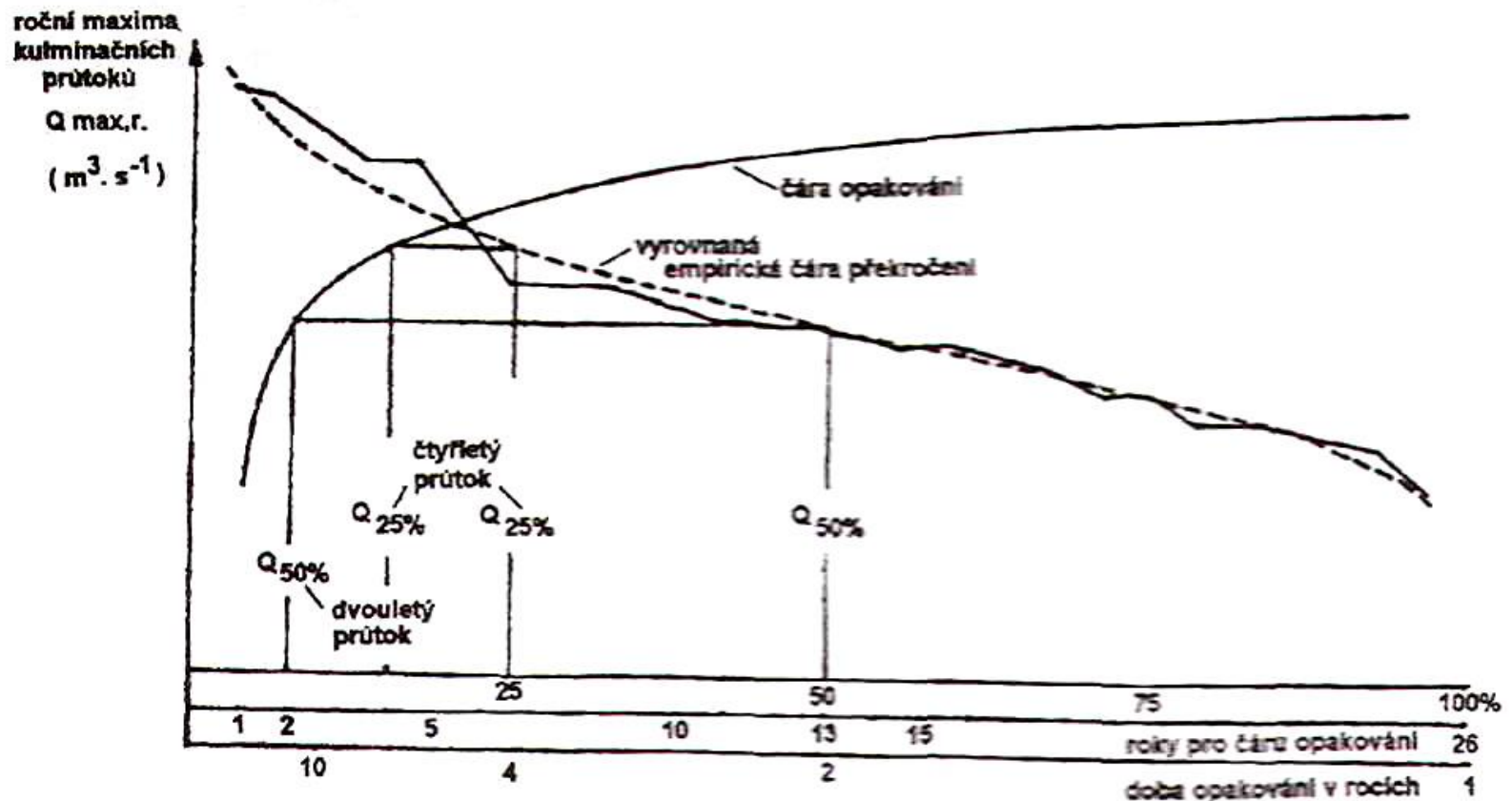
1. Zákon rozdělení Laplace-Gaussův – symetrické rozdělení pravděpodobnosti – neodpovídá rozdělení hydrologických prvků – v hydrologii se používá jen výjimečně..
2. Zákon rozdělení Pearson III – průběh funkcí  $x$ ,  $C_s$  a  $C_v$ .



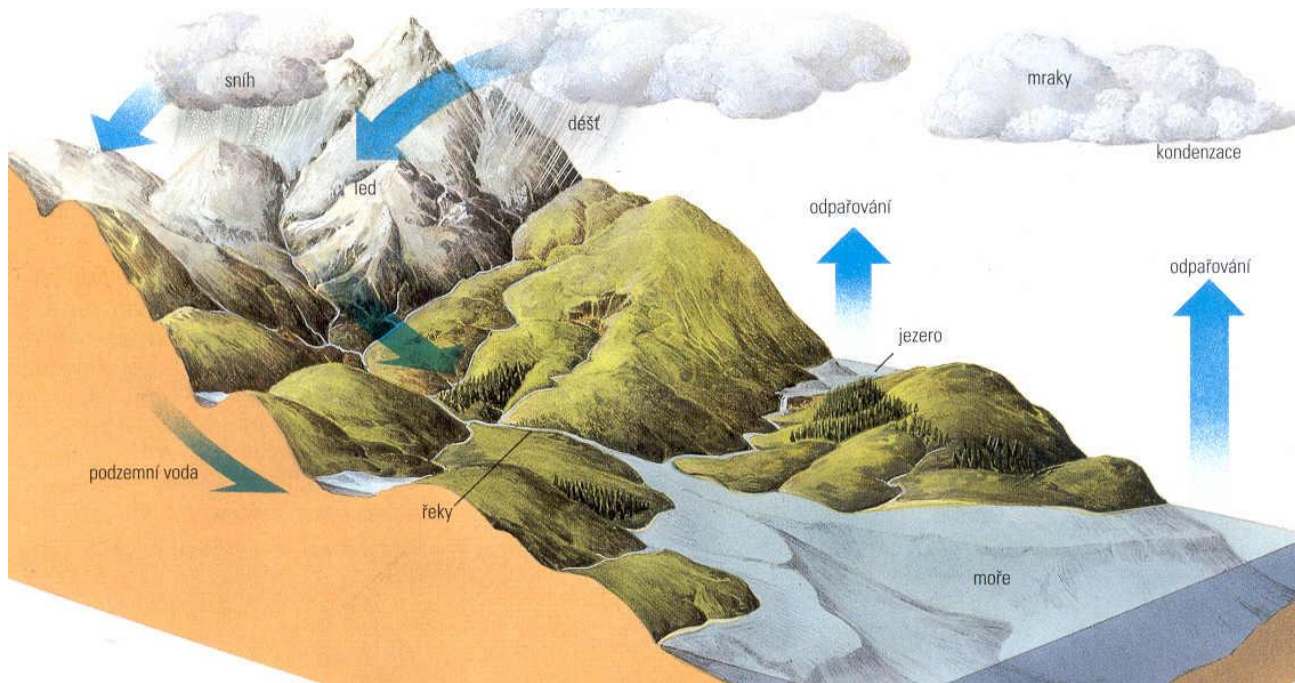
V hydrologii používán nejčastěji.

# Čáry opakování

Vychází z čáry překročení a vyjadřují zákonitost růstu kulminačního průtoku s počtem období, ve kterém je tento průtok  $Q_N$  dosažen nebo překročen v průměru jednou.



# Bilance oběhu vody v přírodě



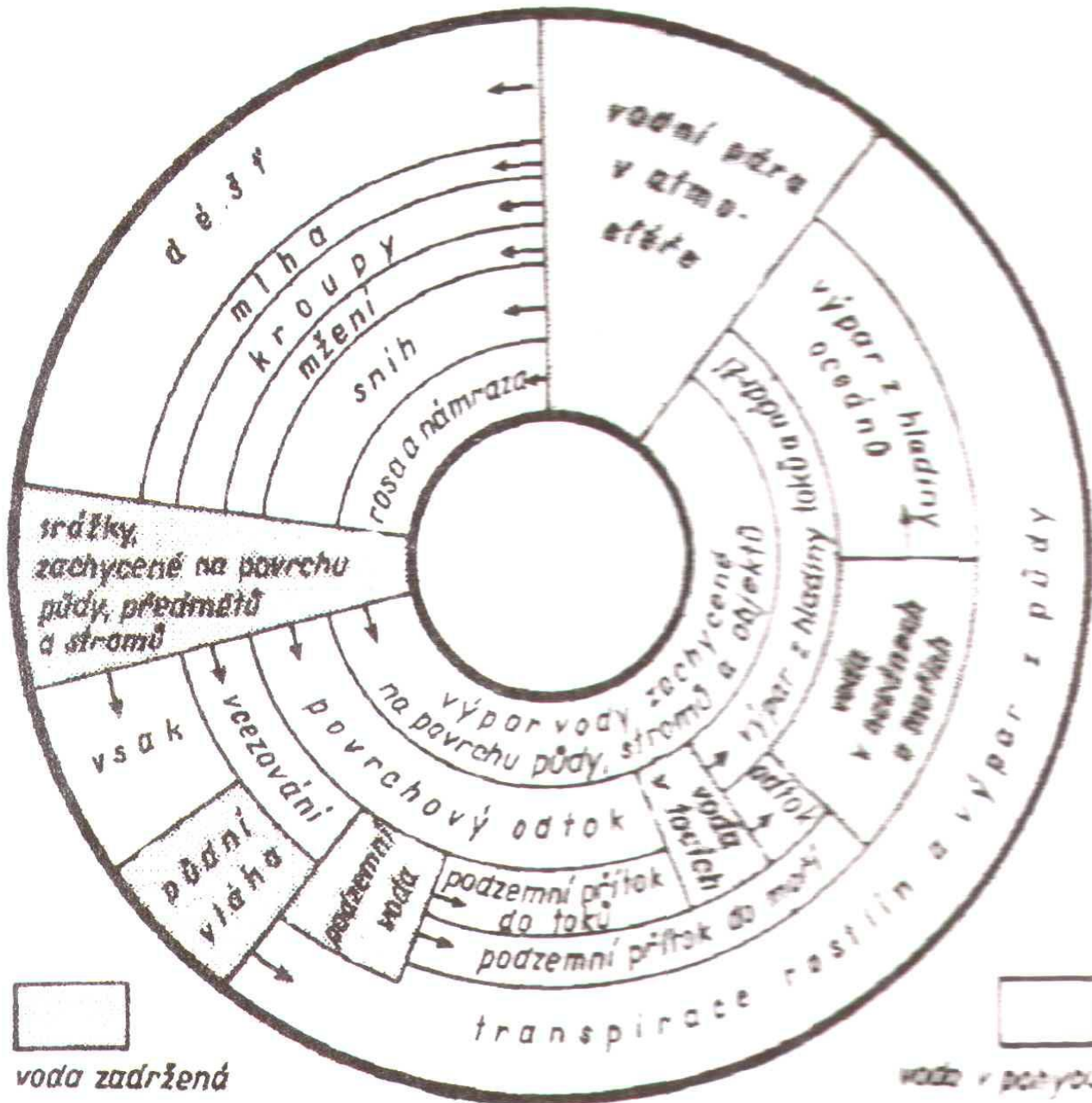
Základní bilanční rovnice  $H_s = H_o + H_v \pm R$  [m<sup>3</sup>] nebo [mm]

$H_s$  – množství srážek spadlé 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 skupenství** – srážky **kapalné** (déšť, rosa), **pevné** (sníh, kroupy)

**dle způsobu a místa vzniku** – **horizontální** (kondenzace na povrchu země), **vertikální** (vznik v atmosféře)

Základní parametry

**Srážková výška  $H_s$  [mm]** – 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.

# Měření srážek

**Srážkoměr – měří pouze srážkový úhrn za zvolené období**

**Ombrograf – měří kontinuální průběh srážek**

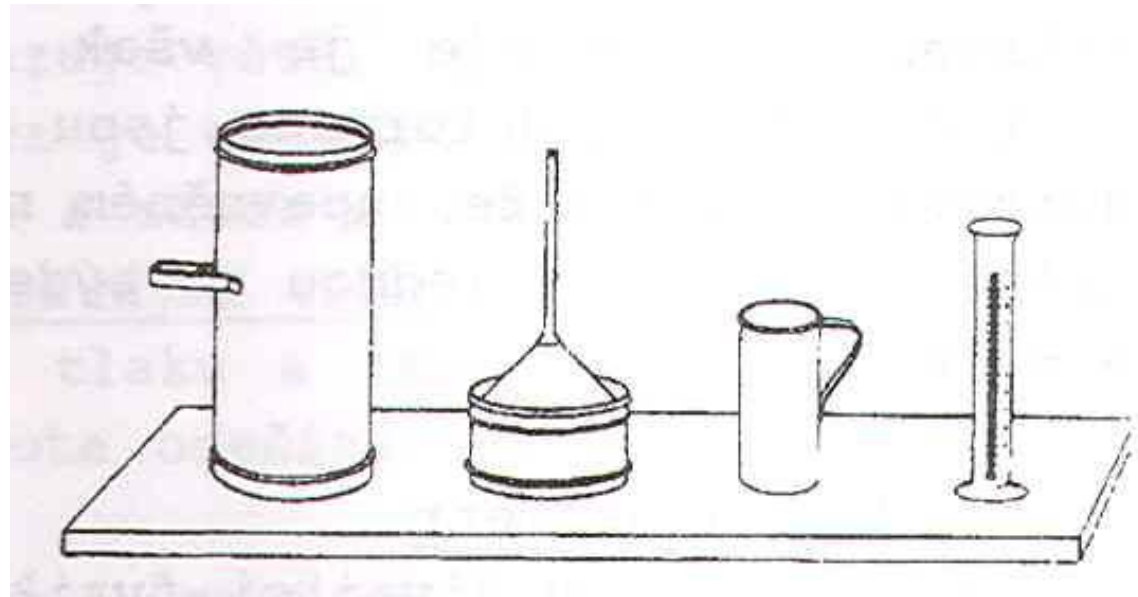
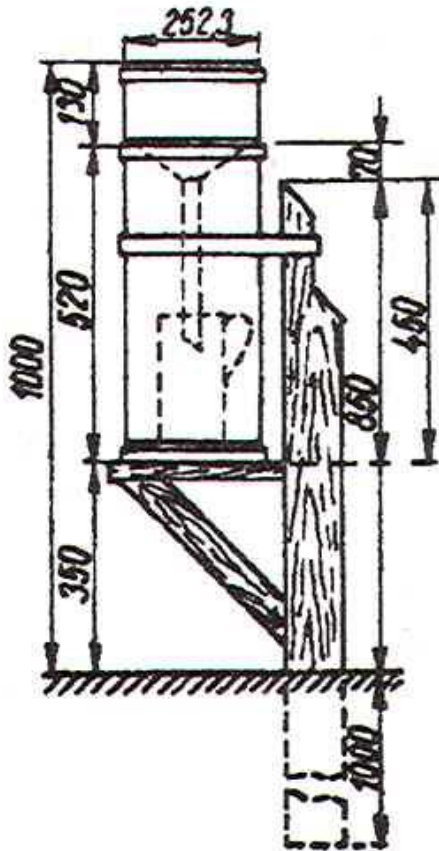


## Srážkoměr

Záchytná plocha – 500 cm<sup>2</sup>

Výška hrany záchytného otvoru - 1 m nad terémem

Měření velikosti srážky – změření celkového objemu zachycené vody, stanovení srážkového úhrnu po vydělení plochou otvoru.



Měření zpravidla každý den v 7.00 hod.

## Totalizátor

Použití v málo dostupných místech (především na horách)

Měření srážkového úhrnu v dlouhých intervalech.

Podmínka uchování beze ztrát – omezení výparu.

Přeměna tuhých srážek na kapalné – vyhřívaný totalizátor.

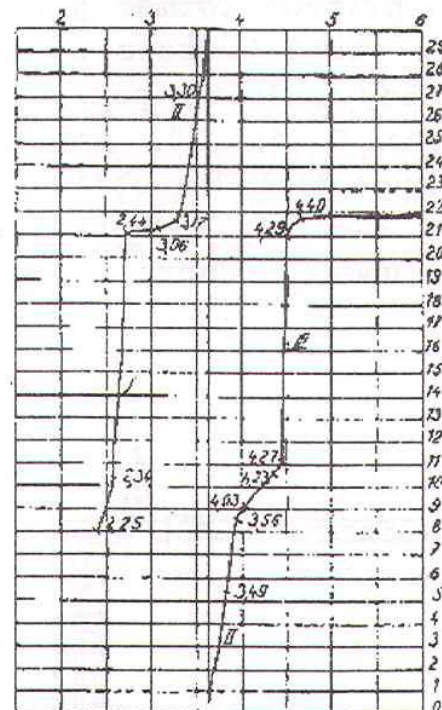
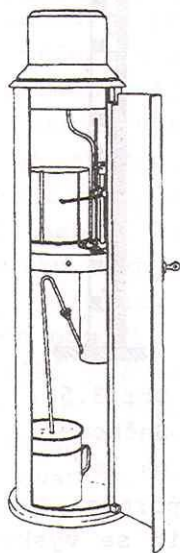


# Ombrograf

Záchytná plocha – 500 cm<sup>2</sup>

Výška hrany záchytného otvoru - 1 m nad terénem

Měření časového průběhu nárůstu srážkového úhrnu pomocí plovákové komory s plovákem → přenos pomocí registračního zařízení na záznamový (milimetrový papír) - ombrogram.

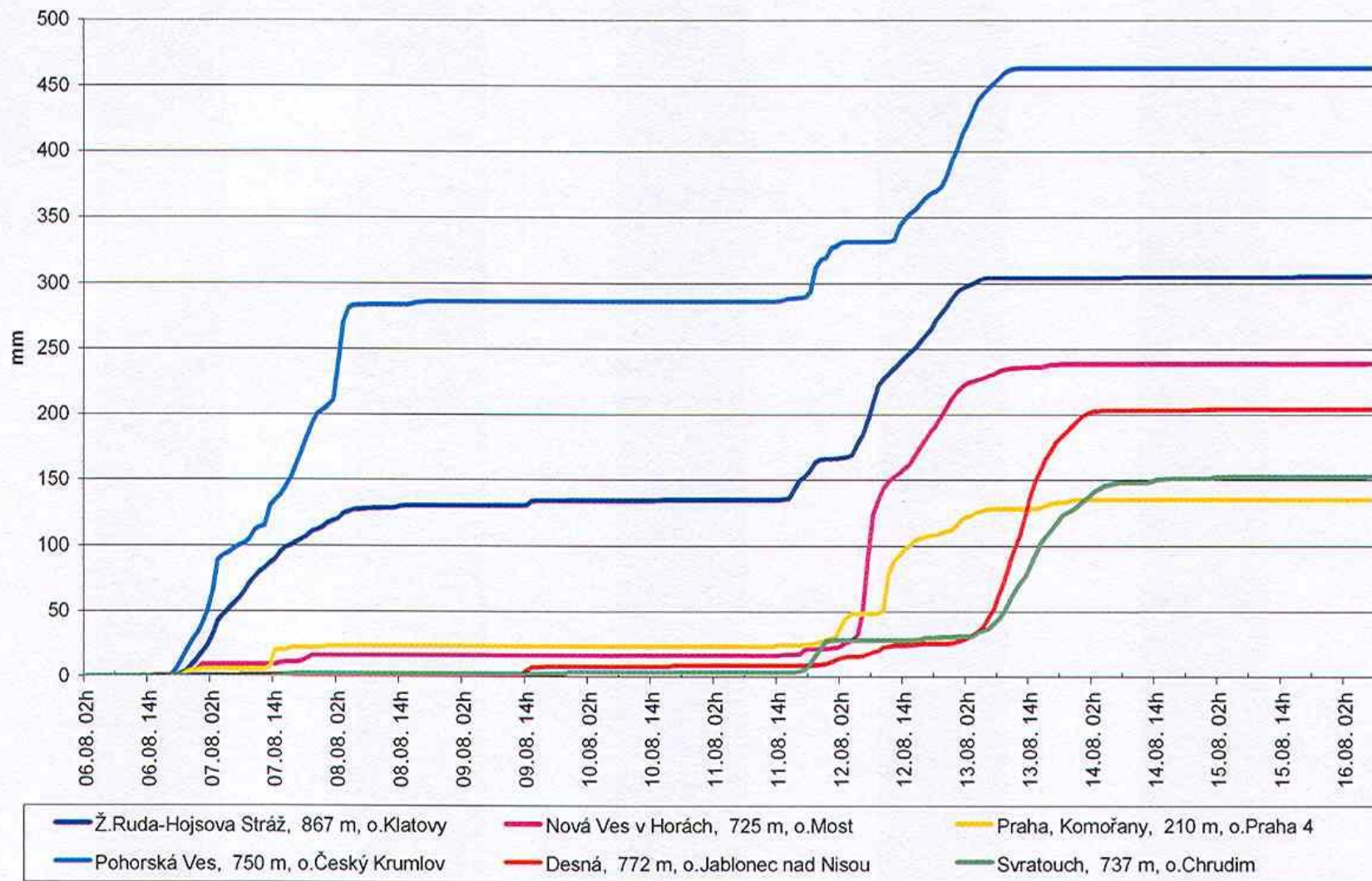


## Intenzita deště

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

Ombrogram  
součtová čára intenzit deště

# Kumulativní úhrny srážek dle vybraných ombrogramů ze srpna 2002





K141 VIN



Základy hydrologie







# Měření tuhých srážek

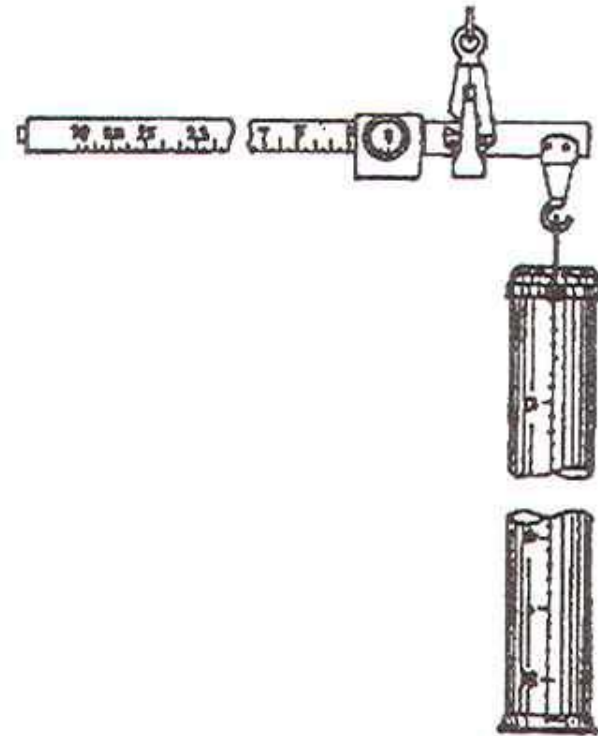
Měření výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu  
Stanovení obsahu zásob vody ve sněhu.

$$\rho_s = \frac{m_s}{S \cdot h_s} \rightarrow$$

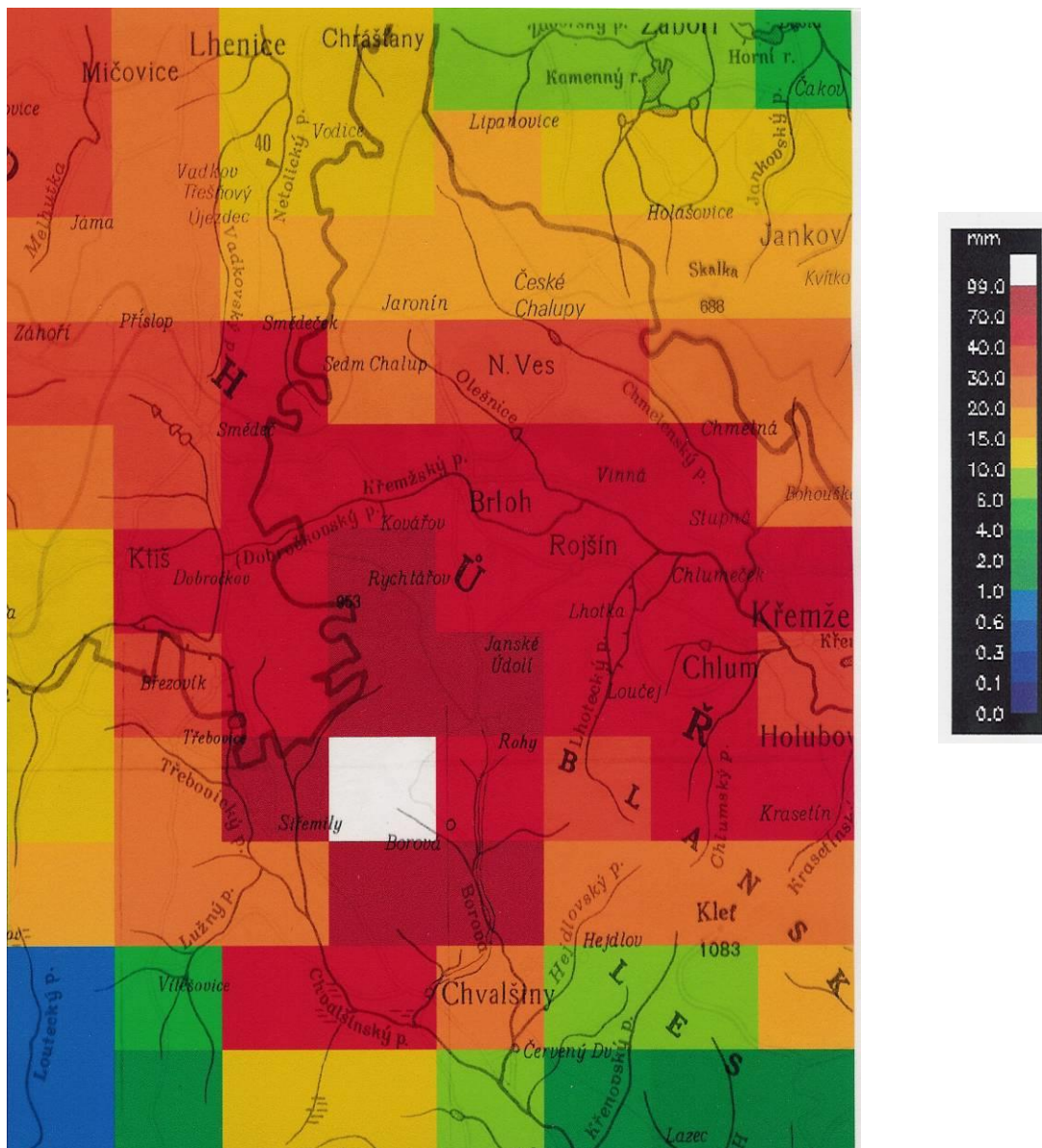
Sněhoměrná lat'



Váhový sněhoměr



# Analýza srážkových úhrnů z radarových snímků



# Časové rozdělení srážek

## Denní chod srážek

u nás nejčastěji 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**

– rovnoměrné rozdělení po celý rok

## Dlouhodobý roční úhrn srážek

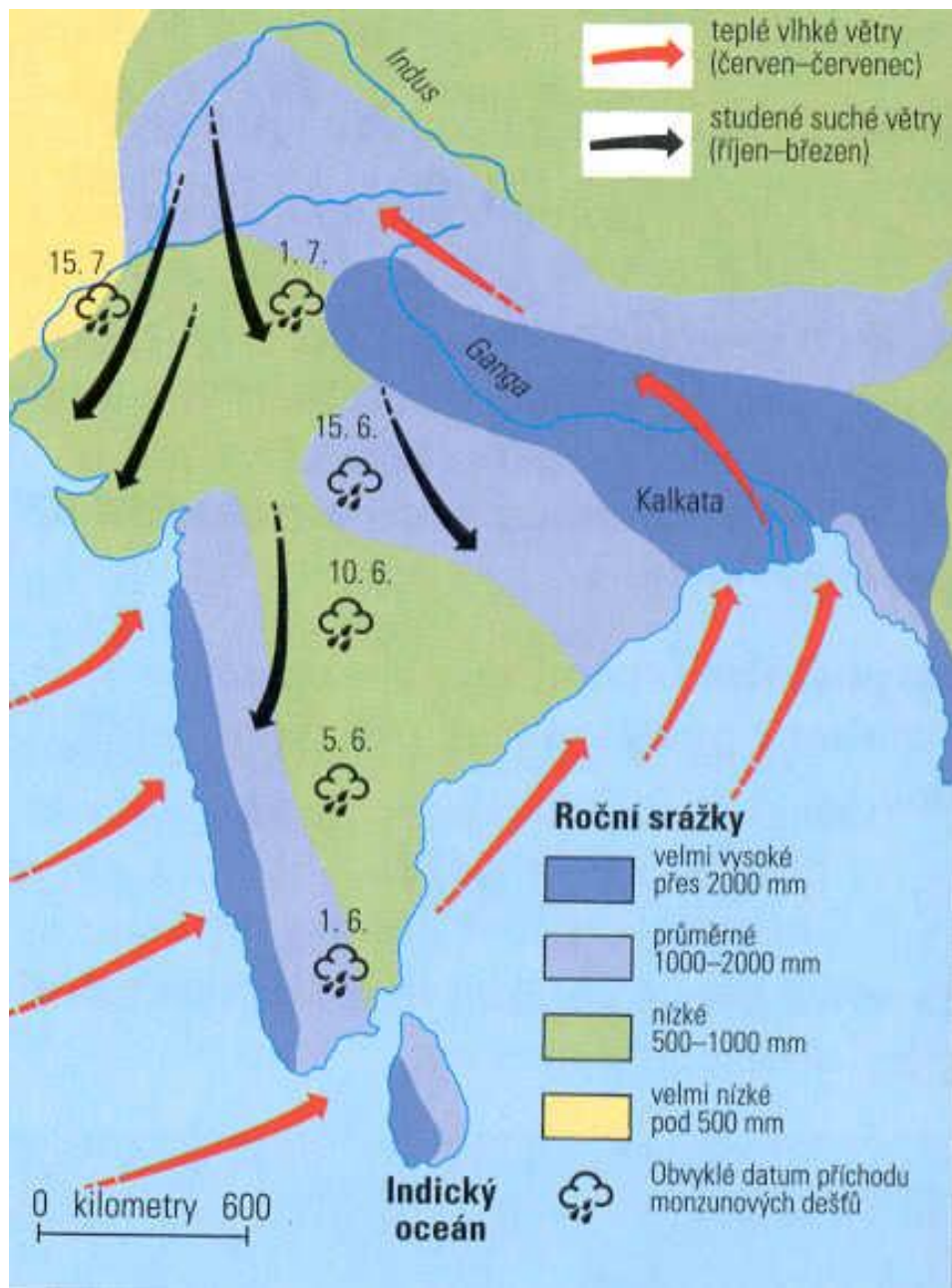
**Minima** – u nás 400 mm (Slaný, Žatec, soutok Dyje a Svatky)

– ve světě 1 mm (části Chile), 5 mm (Sahara)

**Maxima** – u nás 1700 mm (Krkonoše, Jeseníky, Beskydy)

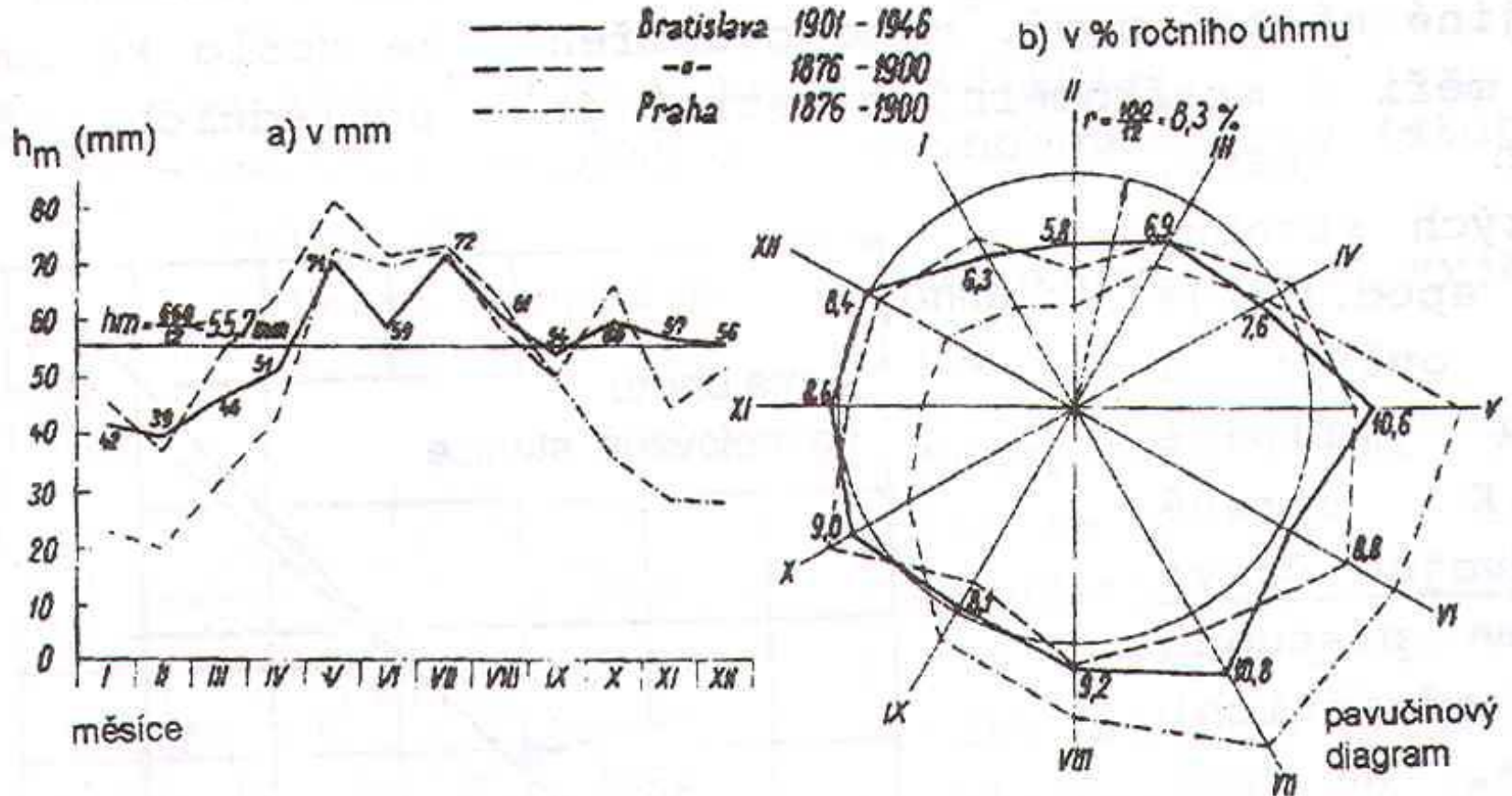
– ve světě až 16000 mm (jižní svahy Himaláji)

– v Evropě 4000 mm (severní Anglie, část Švédska)



**Srážková sezóna** – období, kdy jsou měsíční srážkové úhrny větší než dlouhodobý průměr

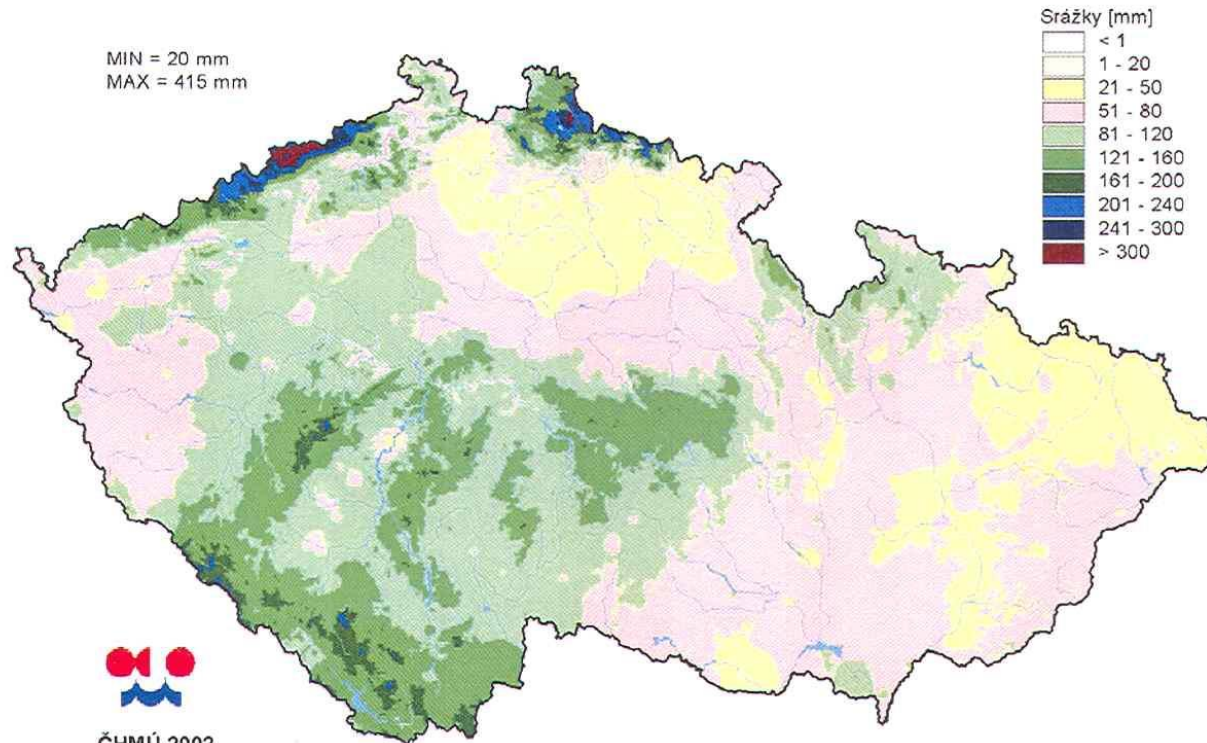
U nás – převaha srážek IV až X – celkem 2/3 celoročního sr.úhrnu



# Plošné rozdělení srážek

**Izohyety** – čáry spojující na mapě místa se stejnými srážkovými úhrny

Izohyety mohou být vztaženy k různým časovým obdobím – (průměrný rok, konkrétní rok, měsíc jednotlivý déšť’).



Úhrny srážek  
11.–13.8.2002



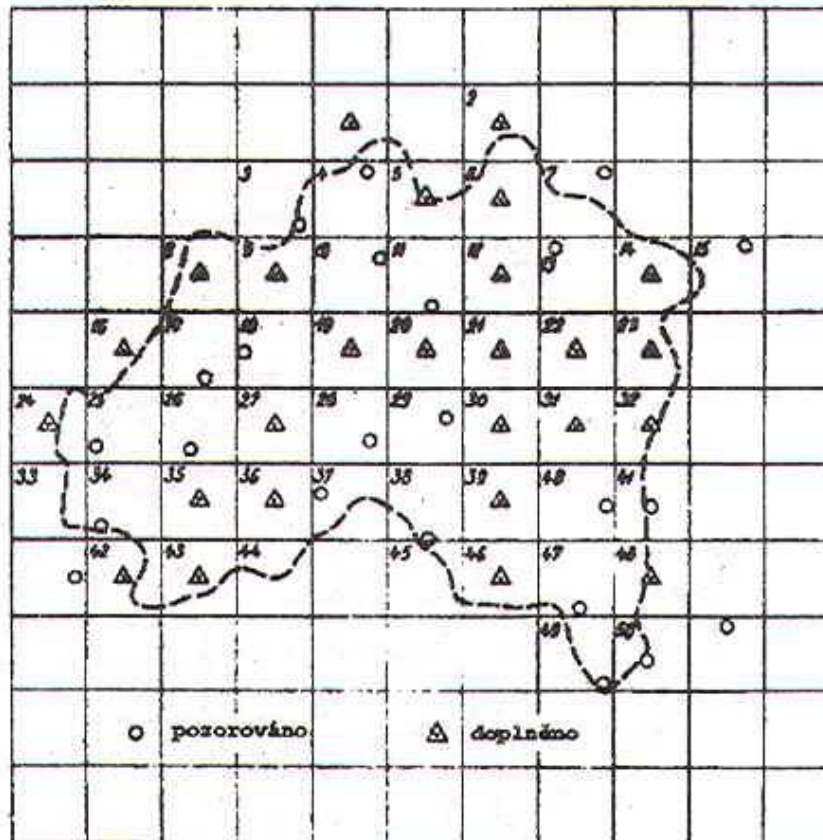
ČHMÚ 2002

© CHMI, Clidata, www.clidata.cz

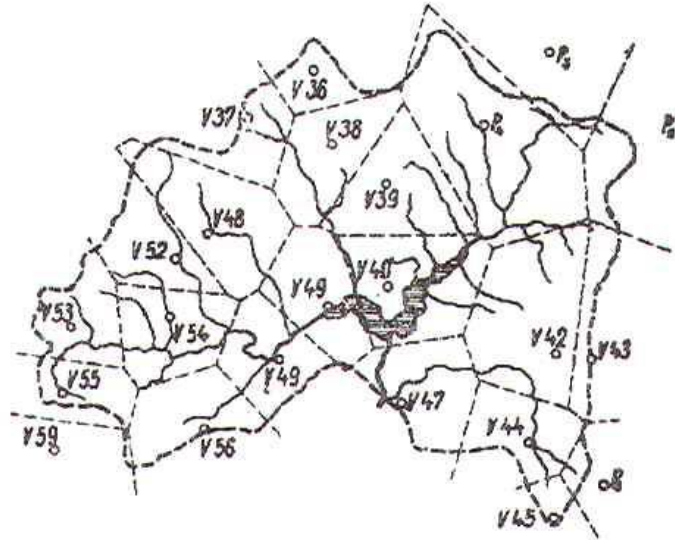
# Průměrná srážka na povodí

**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)

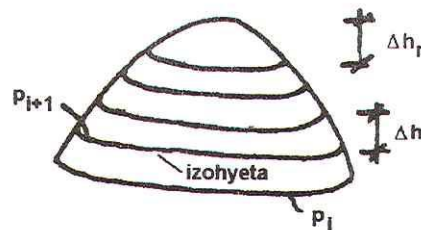
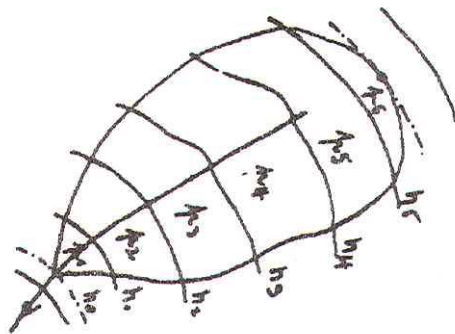


**Metoda polygonů (metoda Thiessena)** – každé stanici je přisouzena plocha polygonu tvořené osami souměrnosti na spojnicí jednotlivých stanic.



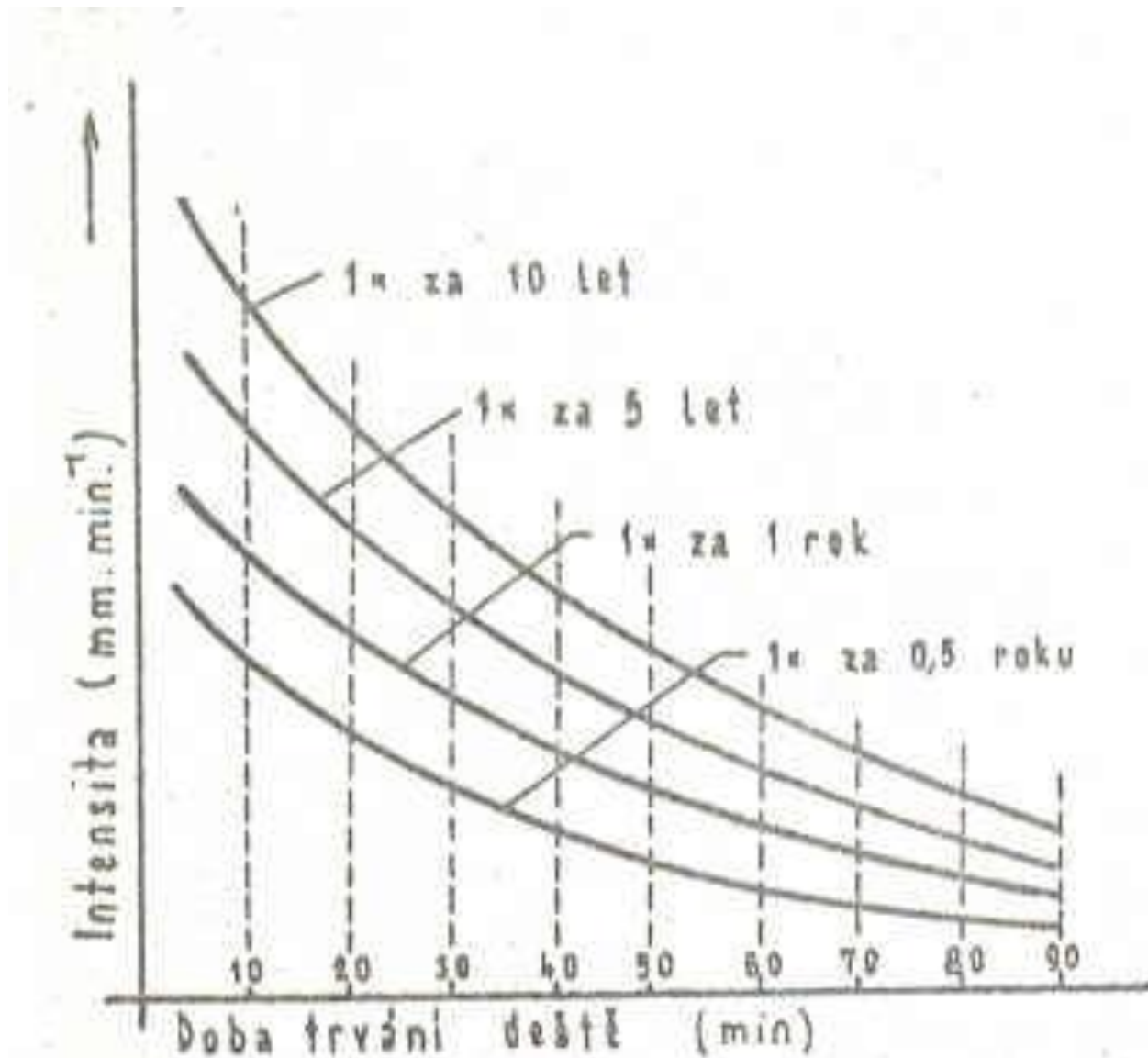
**Metody založené na vyhodnocení izohyet**

$$H_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{2} \cdot (h_{i-1} + h_i) \cdot p_i \right]}{S}$$

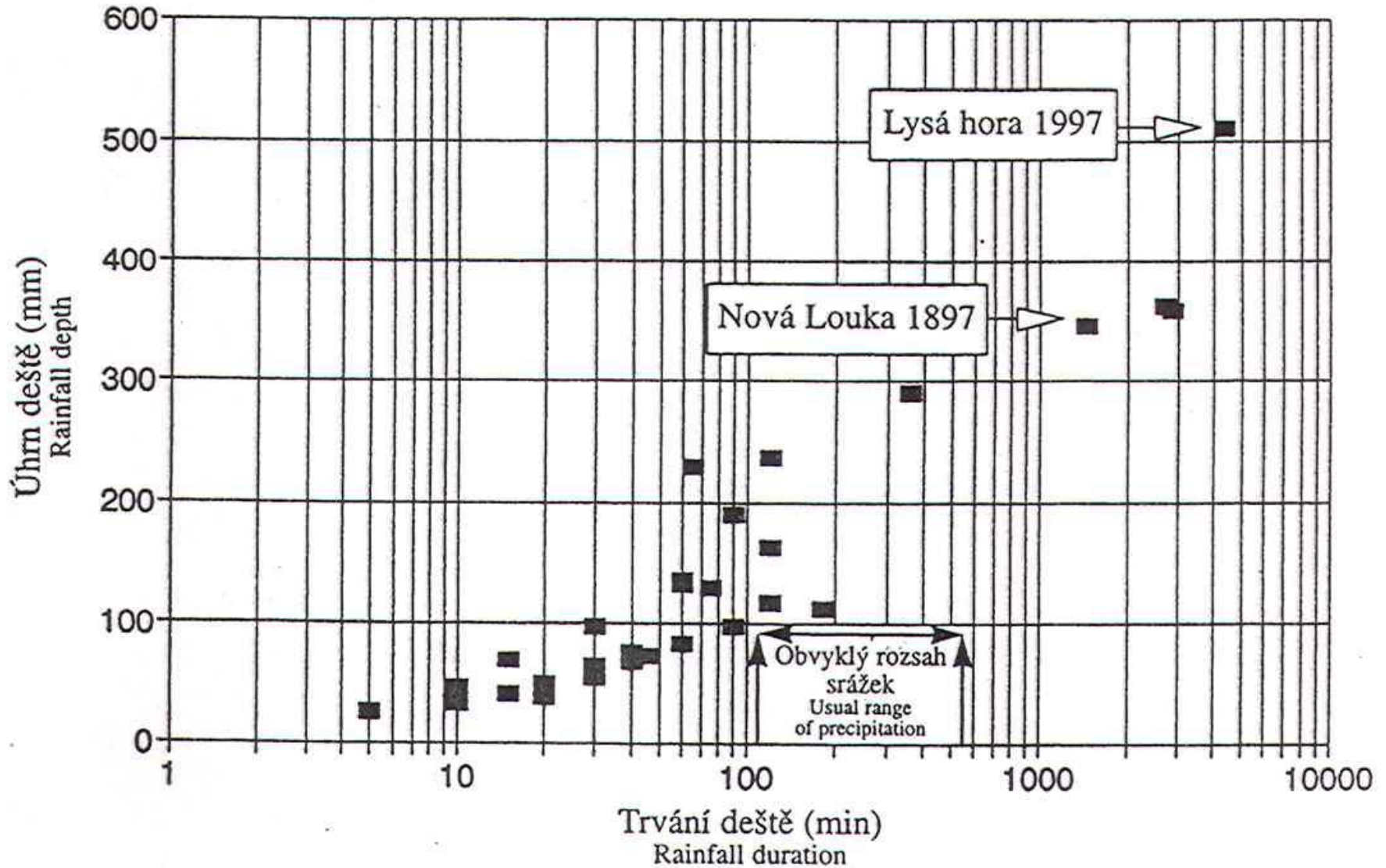






# Vztah doby trvání a intenzity deště



# Hodnocení srážek z hlediska trvání a úhrnů



# Druhy dešťů

**Deště z tepla** – ohřátí vlhkého vzduchu o zemský povrch, výstup do vyšších vrstev  dynamické ochlazení, dosažení rosného bodu  vysrážení kapek či ledových krystalů. Velké intenzity srážek, menší zasažené plochy.

**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.

# Výpar

**Výpar z volné vodní hladiny**

**Výpar ze sněhu a ledu (sublimace)**

**Výpar z povrchu půdy (bez vegetace)**

**Transpirace – voda vydechovaná do atmosféry**

} **Evapotranspirace**

# Odtok

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

Plošný odtok → postupné soustředování (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

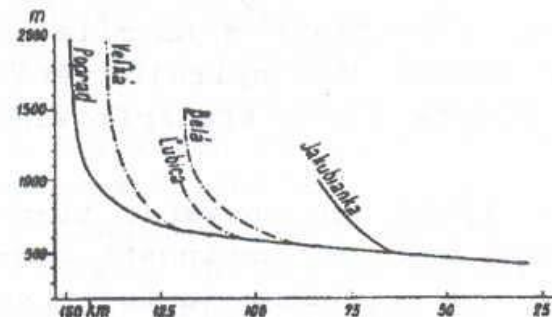
**Ústí toku** – místo, kde se tok vlévá do jiného toku

**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**



# Zpracování údajů o odtoku

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

**Proteklé množství  $O$**  – objem vody proteklý profilem za delší časové období [tis.  $\text{m}^3$ ]

**Denní odtok [ $\text{m}^3$ ]**  $O_d = 86400 \cdot Q_d$

**Odtok za průměrný měsíc**  $O_m = 86400 \cdot 30.5 \cdot Q_m$

**Odtok za rok**  $O_r = 31.536 \cdot 10^3 \cdot Q_r$

**Odtok za průměrný rok**  $\bar{O} = 31.536 \cdot 10^3 \cdot \bar{Q}$

$Q_d, Q_m, Q_r$  – průměrný denní, měsíční respektive roční průtok

$\bar{Q}$  – dlouhodobý průměrný odtok

**Specifický odtok**  $\bar{q} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2] = \frac{\bar{Q} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]}{S [\text{km}^2]}$   $S$  – plocha povodí

# Faktory ovlivňující odtok

## Fyzikálně geografické vlastnosti povodí

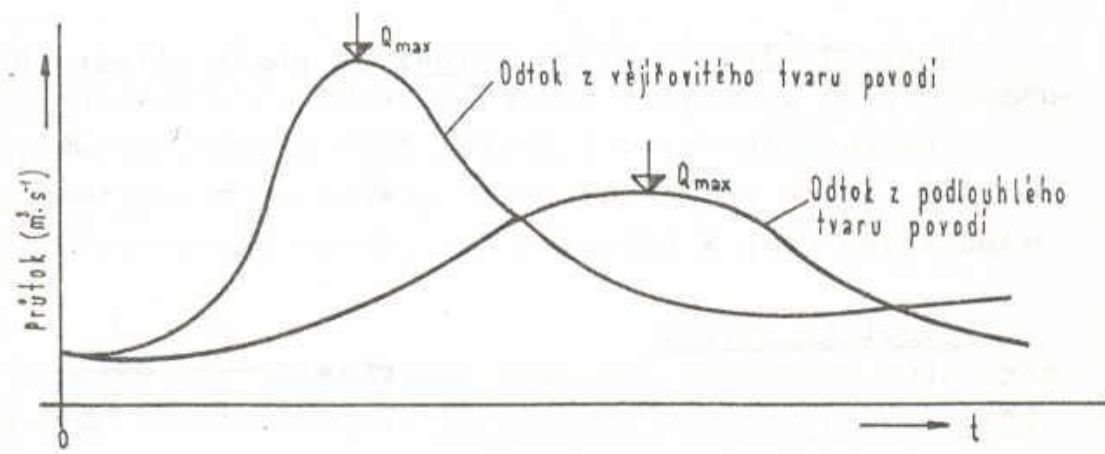
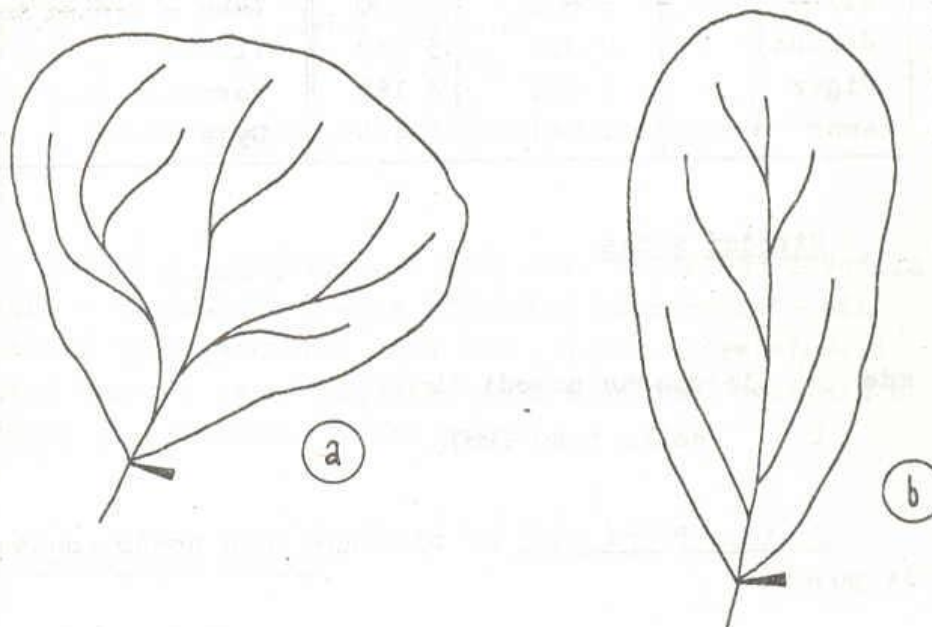
- zeměpisná poloha  $\Rightarrow$  klimatické poměry
- orografické poměry  $\Rightarrow$  výškové a sklonitostní poměry
- geologické a půdní poměry
- rostlinná pokrývka

## Velikost a tvar povodí

- velikost povodí  $S$  [km<sup>2</sup>]
- tvar povodí

$$\alpha = \frac{B}{L} = \frac{S}{L^2}$$

# Vliv tvaru povodí na hydrogram povodně

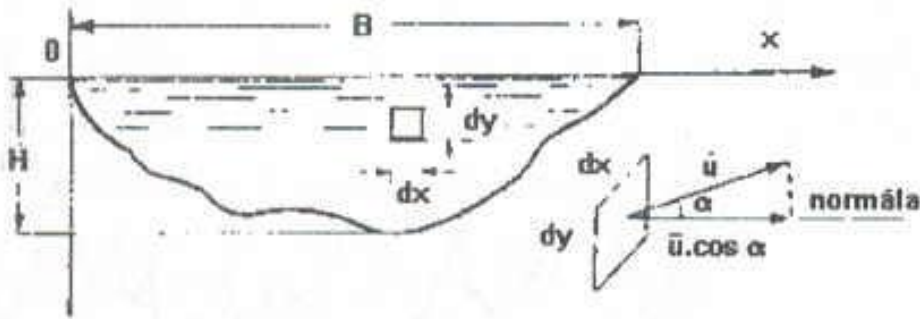




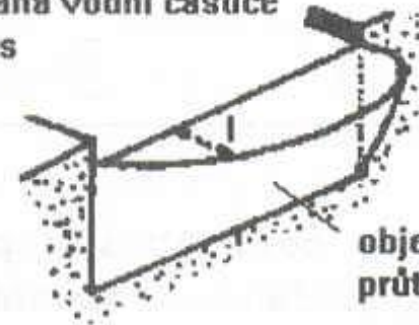
# Stanovení průtoku

**Měření průtoku** – měření proteklého objemu za čas jen ve výjimečných případech (prameny, . . .)

**Vyhodnocení průtoku ze známého rychlostního pole**



$l$  - dráha vodní částice za 1 s



objem tělesa značí průtok  $Q$  [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ]

$$dQ = u \cdot \cos \alpha \cdot dS$$

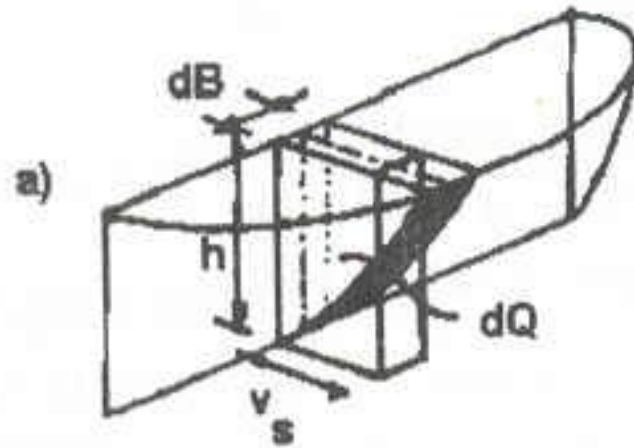


$$Q = \int_0^S u \cdot dS = \int_0^h \int_0^B u \cdot dS$$

# Metody numerického řešení diferenciální rovnice

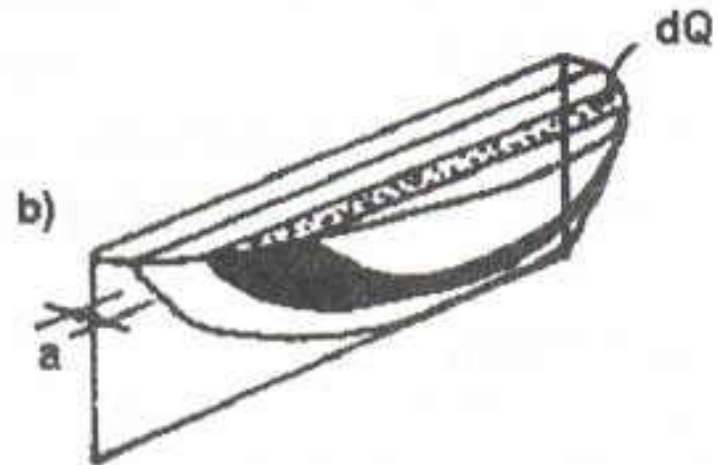
## Metoda Harlachera

na základě vyhodnocení  
střední svislicové rychlosti



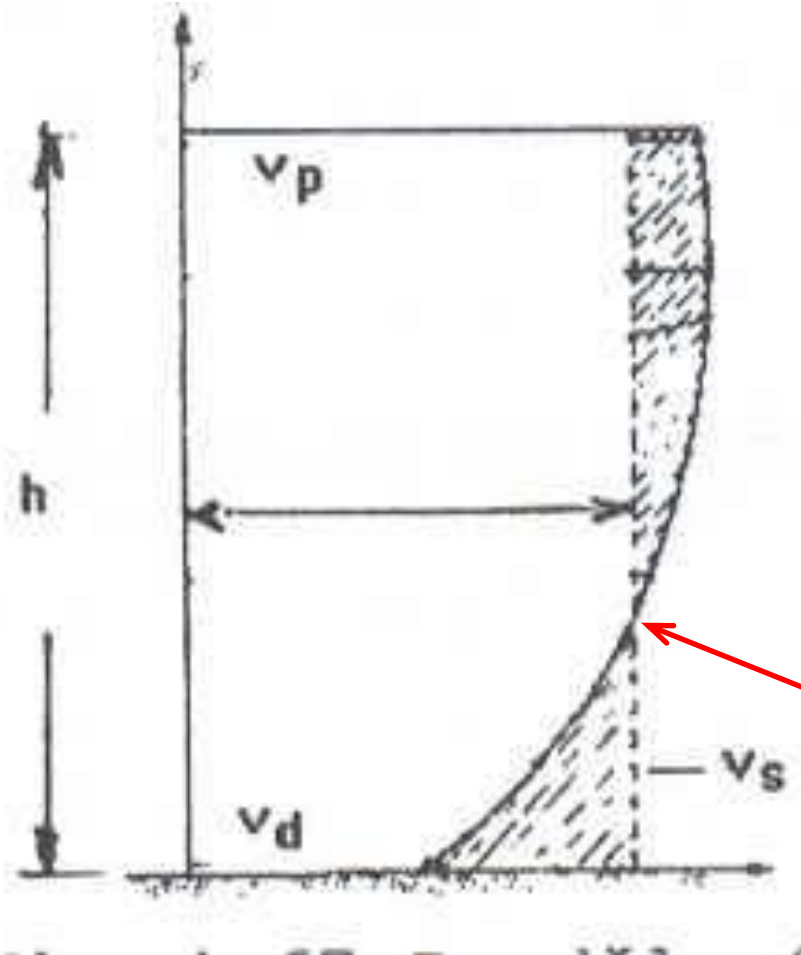
## Metoda Culmanna

na základě vykreslení izotach



# Střední svislicová rychlost

## Rozdělení rychlosti po svislici



$$\frac{v_s}{v_{\max s}} = 0.78 \div 0.93$$

Výpočet střední svislicové rychlosti

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

$$v_i = \frac{1}{4} \cdot (u_{0.8} + 2 \cdot u_{0.4} + u_{0.2})$$

$$v_i = \frac{1}{2} \cdot (u_{0.8} + u_{0.2})$$

$$v_i = u_{0.4}$$

# Přístupy stanovení bodové rychlosti

## Hydrometrická vrtule

**Princip – frekvence otáčení lopatkového kola je úměrná rychlosti obtékání vrtule**

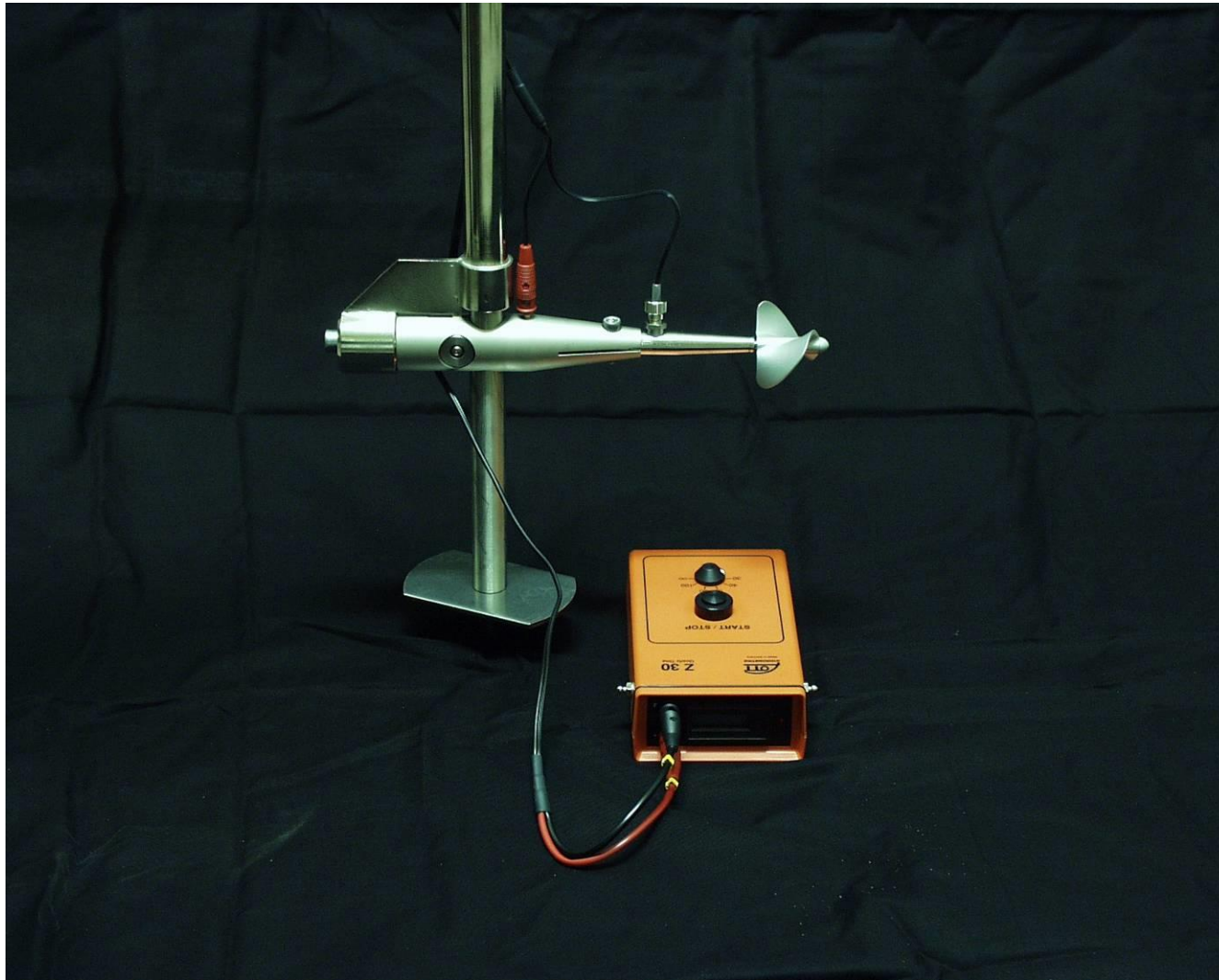
## Elektromagnetická čidla

**Princip – aplikace Faradayova zákona - při pohybu vodiče v magnetickém poli se na vodiči indukuje elektrický proud. Vodičem je voda, v čidle se cívkou vybudí magnetické pole a indukované napětí se snímá elektrodami.**

## Ultrazvuková měřidla

**Princip - aplikace Dopplerova principu - změna frekvence a vlnové délky ultrazvukového signálu v závislosti na rychlosti unášené částice.**

# Měření bodových pomocí hydrometrické vrtule



# Hydrometrování



K141 VIN

Základy hydrologie

45

# Hydrometrování za velkých hloubek či průtoků



**Hydrometrování z mostu**

**Hydrometrování z lanovky**



# Rok 2006 u nás – začátek nové éry měření průtoků

Ultrazvukový systém ADCP založený na Dopplerově principu  
(změna frekvence a vlnové délky signálu dle rychlosti částice)





# Další problém

Hydrometrování trvá dle velikosti toku cca 1 až 2 hodiny.



Výsledkem není kontinuální záznam časového průběhu průtoků.



Zásadní problém hydrologie – nalezení veličiny průběžně měřitelné, na základě které je průtok vyčíslitelný.



Touto veličinou je **VODNÍ STAV** – úroveň hladiny v posuzovaném profilu.

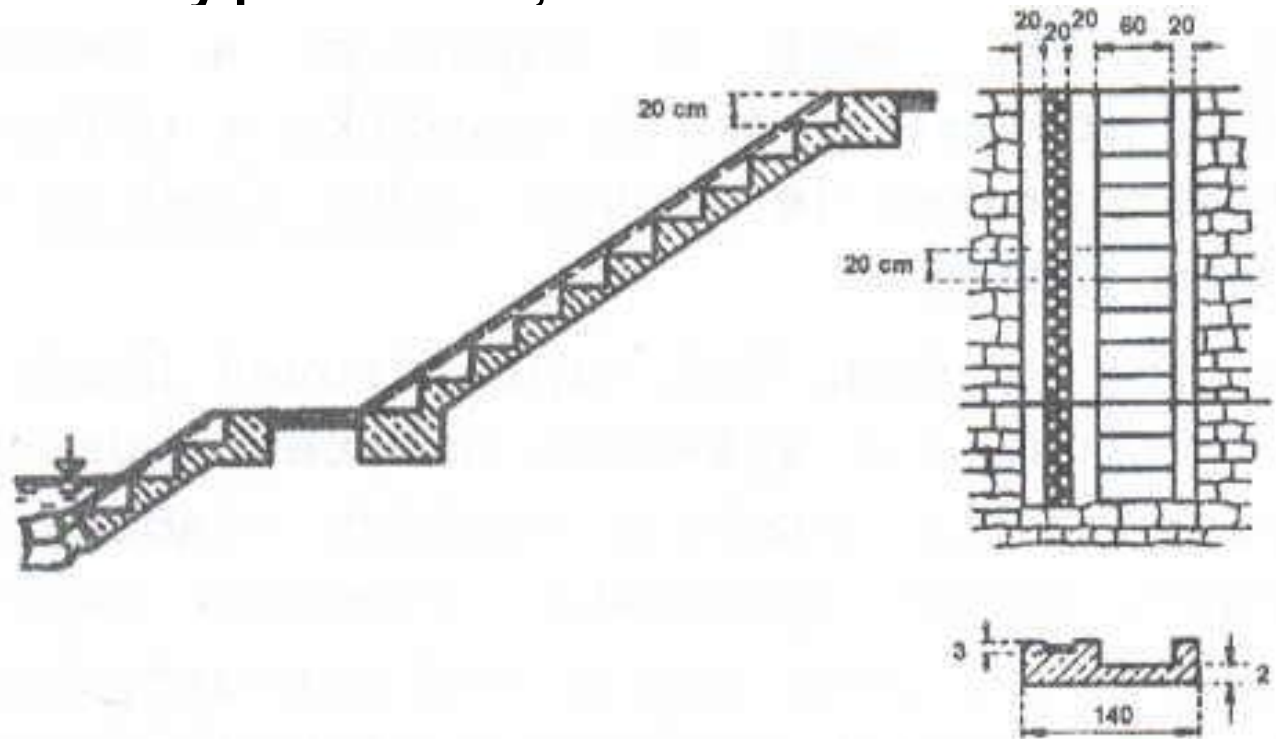
$$Q = f(H) \quad \text{zpravidla} \quad Q \approx a \cdot H^b$$

# Měření vodních stavů

Stanice určené k měření vodních stavů – vodoměrné stanice.



**Vodočetná lat'** – nezbytná součást každé vodoměrné stanice – čtení staženo ke zvolené 0 vodočtu. Nutný pozorovatel, kontrolní záznam.



# Limnigrafická stanice

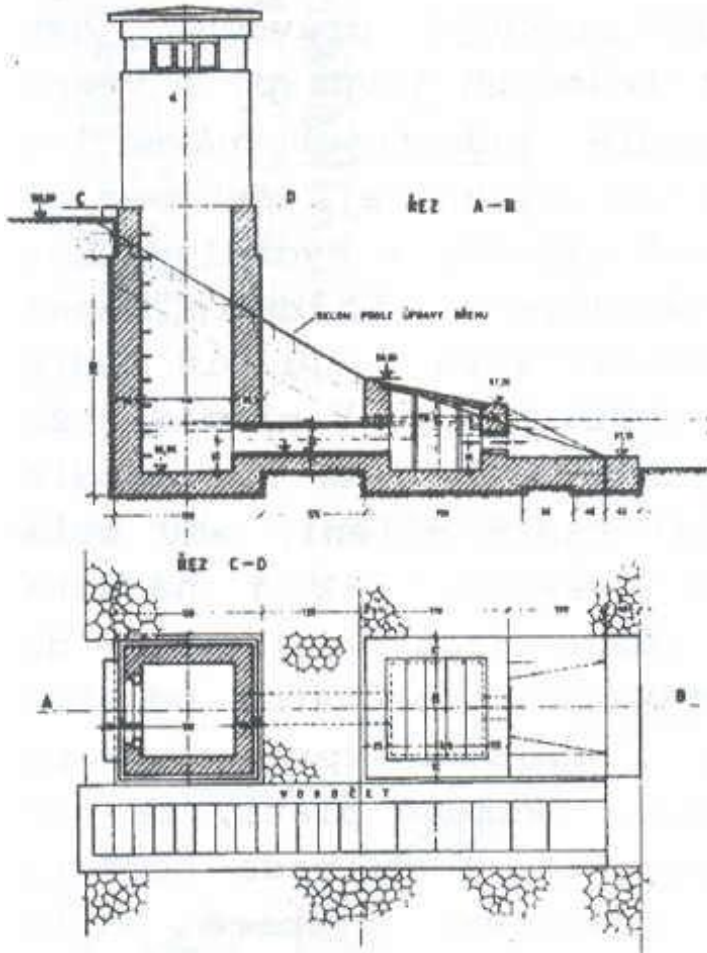
Stanice určené ke kontinuálnímu záznamu průběhu hladiny.

## Princip funkce klasického limnigrafu

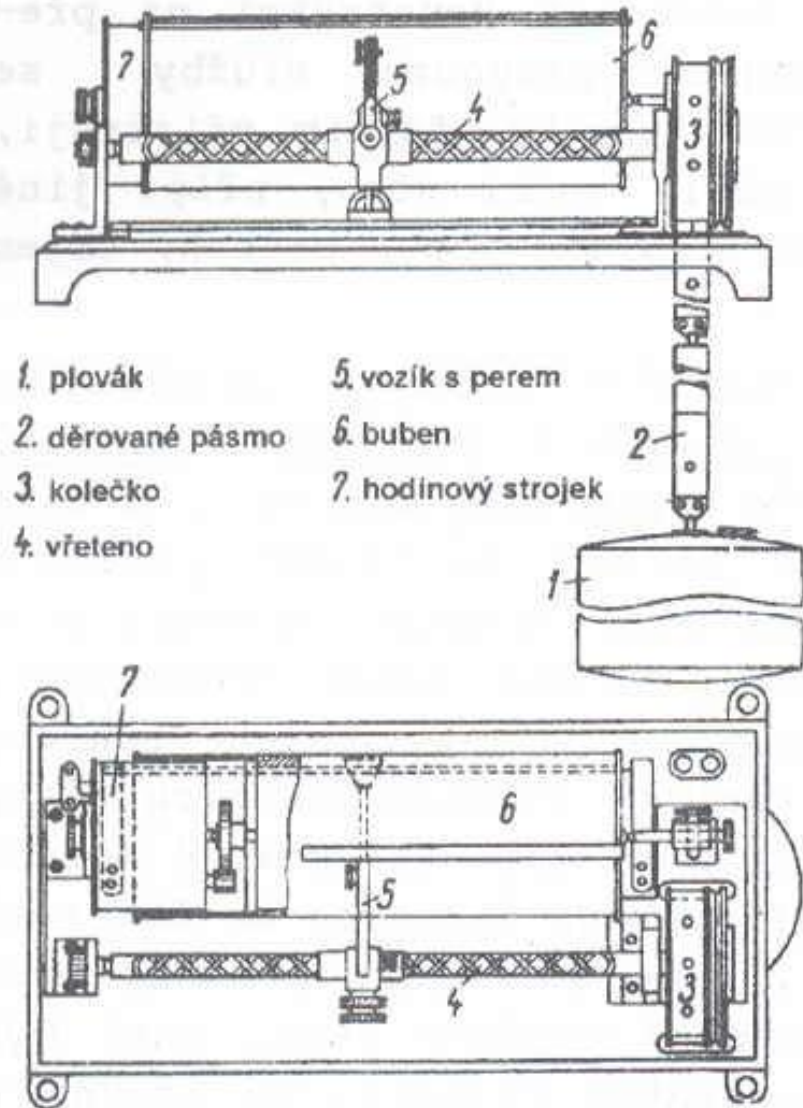
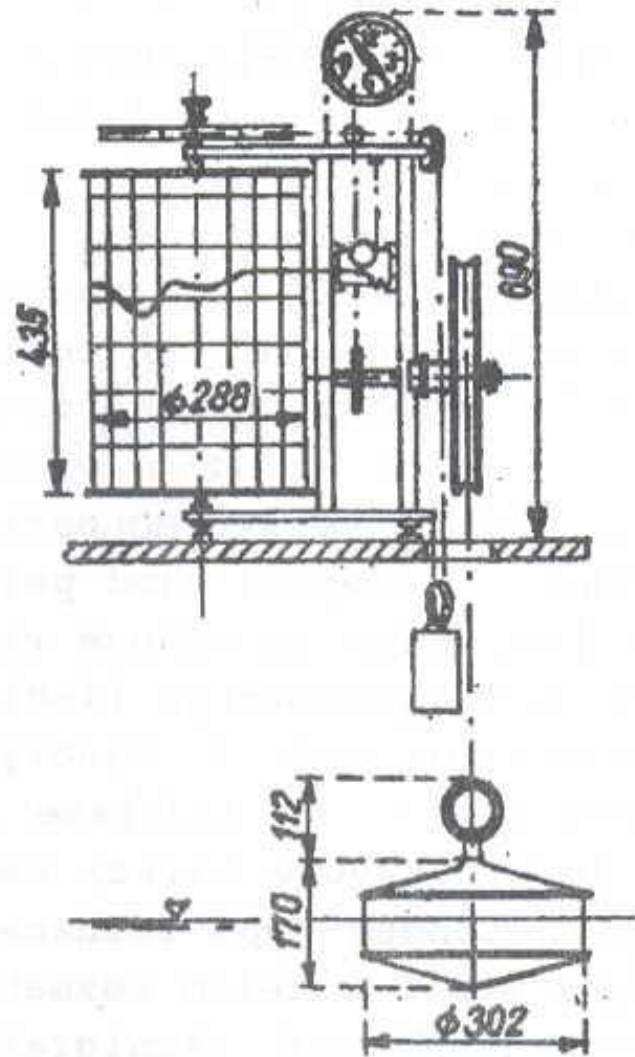
Plováková šachta spojená přívodním kanálem s korytem vody – užití fyzikálního principu spojených nádob.

Pohyb plováku přenášen (mechanicky, pneumaticky ...) na pisátko.

Záznam průběhu vodních stavů na milimetrový papír na válci poháněném hodinovým strojkem. 1 otočka za 1 den.



# Technické řešení klasického přístupu



# Nové přístupy pro měření úrovně hladiny

## **Ultrazvukové snímače**

**(měření časové prodlevy mezi vyslaným a přijatým signálem z vysílače nad hladinou)**

## **Tlakové snímače**

**(měření hydrostatického tlaku vyvolaného výškou vodním sloupce na čidlem)**

## **Plovákové snímače – klasický způsob**

**(měření hladiny plovákem v komoře)**

## **Radarové snímače**

**(vysílání radarového signálu a jeho příjem z objektu nad hladinou)**

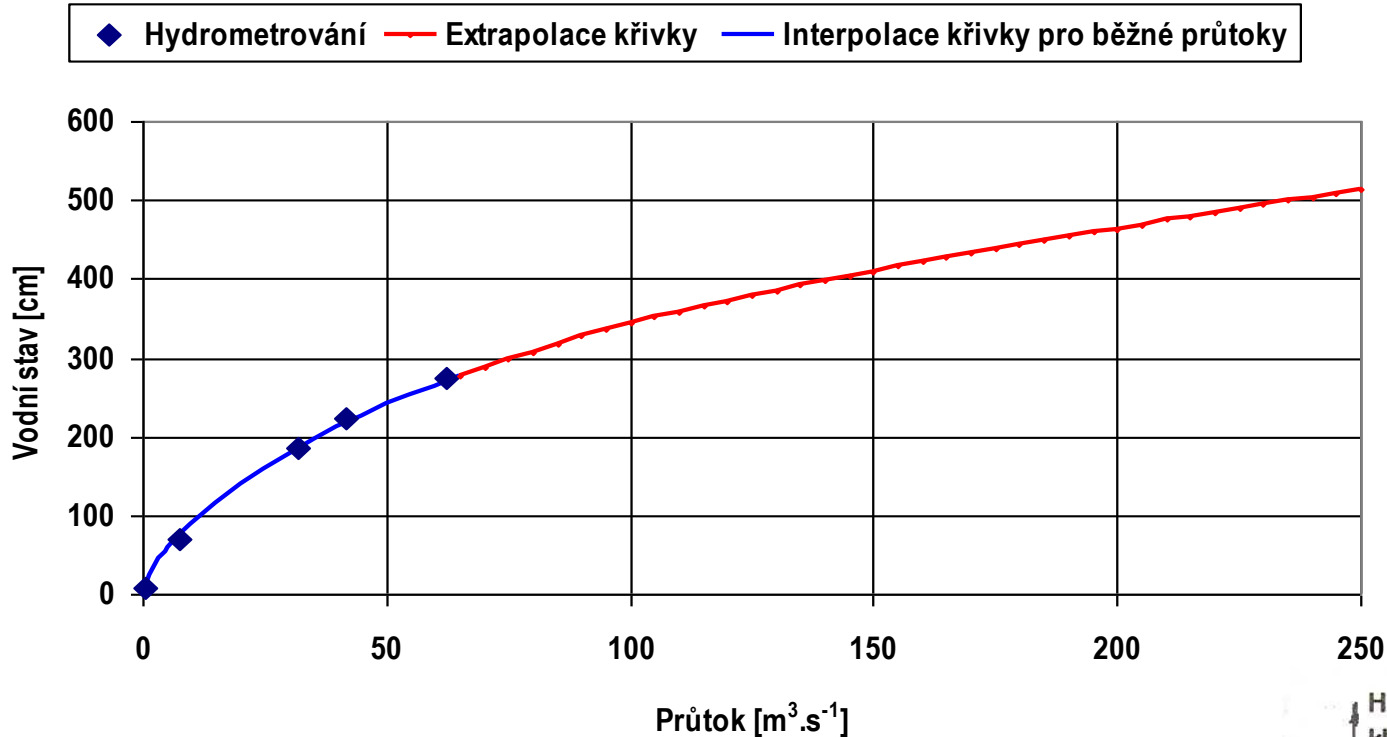
## **Bublínkové snímače**

**(měřená tlaku potřebného k vytlačení vzduchové bubliny do vodního prostředí )**

# Objekty limnigrafický stanic

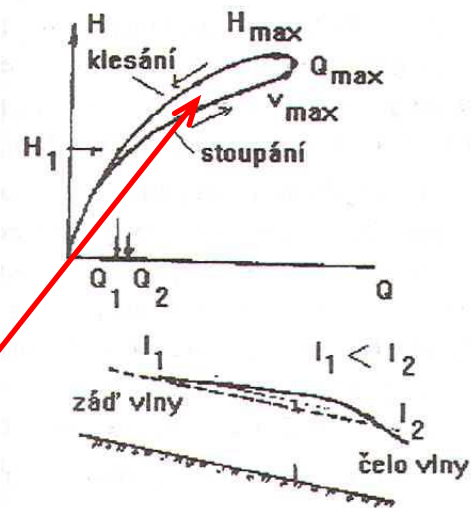


# Měrná křivka limnigrafické stanice



## Nepřesnost měrných křivek

- chyby primárních veličin (hydrometrování)
- nestabilní koryto v profilu či blízkém okolí stanice
- vliv vegetace
- vliv ledových jevů
- hystereze měrné křivky za povodňových situací

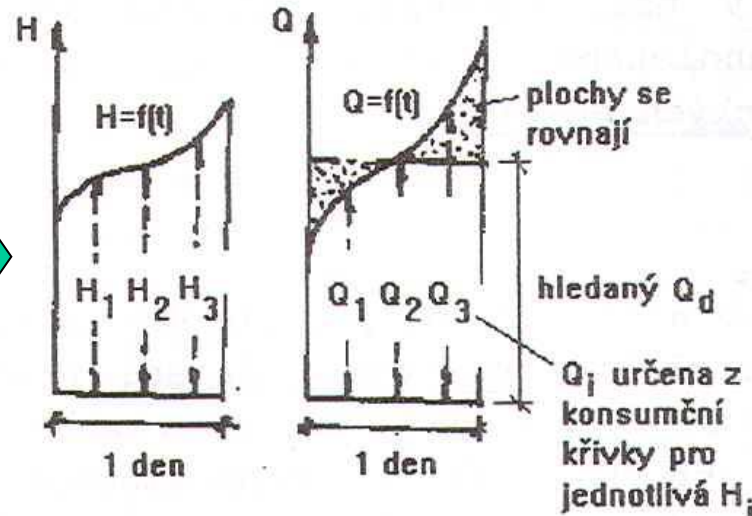


# Vyhodnocení průměrných průtoků

## Stanovení průměrného denního průtoku

- pokud se vodní stav v průběhu dne neměnil významně  
průměrný denní průtok odečten z měrné křivky pro  
průměrný denní vodní stav.
- pokud se vodní stav měnil nezanedbatelně – z křivku  $H = f(t)$   
odečteno několik hodnot  $H_i$  → po odečtení z měrné  
křivky hodnoty  $Q_i$

$$Q \approx a \cdot H^b \quad \longleftrightarrow$$





## **Další zpracovávané průměrné hodnoty průtoků**

**Průměrný měsíční průtok  $Q_m$**

**Průměrný roční průtok  $Q_r$**

**Dlouhodobý průměrný průtok  $Q_a$**

**Hydrologický rok 1.11. až 30.10.**

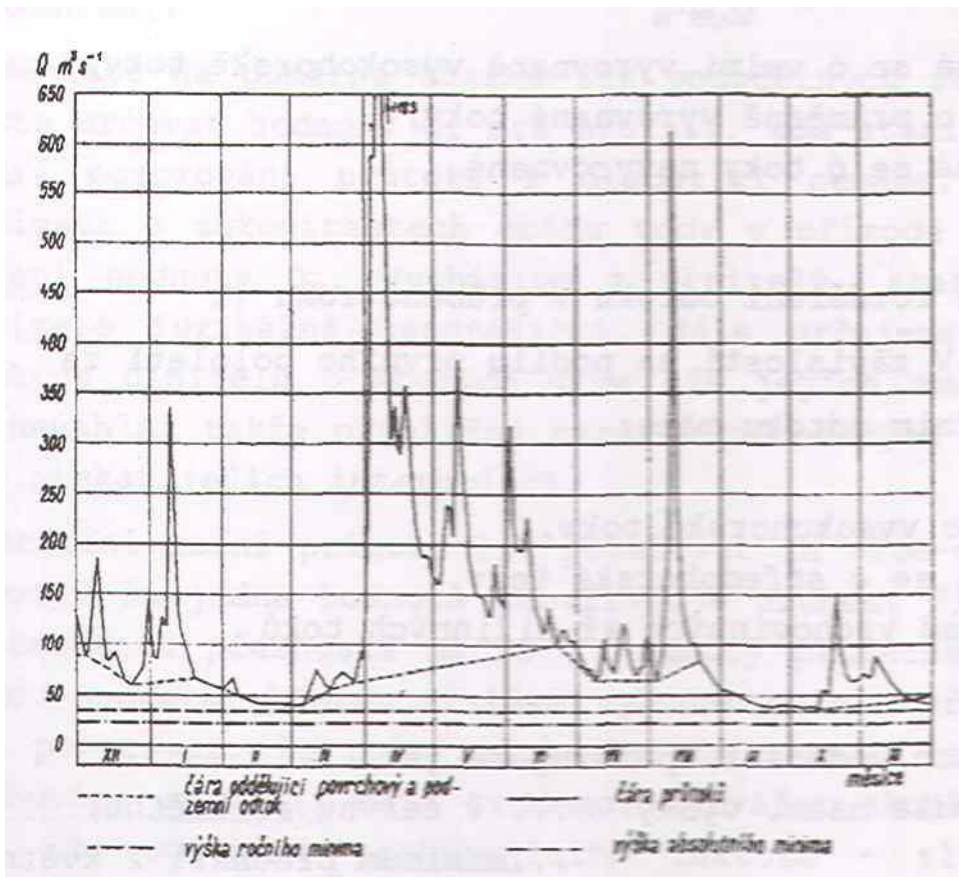
**Důvod - minimální srážky na přelomu měsíců X a XI.**

**V každé části světa se používá hydrologický rok jiný  
Afrika – 1.4. až 31.3. – začátek období dešťů.**

# Minimální průtoky

Oddělení povrchového a podzemního odtoku – separace

Výskyt minimálních průtoků – v případě dlouhodobého období bez povrchového odtoku



K141 VIN

Důležité parametry

Roční minimum

Absolutní minimum

Doba trvání minimálních průtoků

Výtoková čára

$$Q = Q_0 \cdot K^{-t} \quad \text{nebo} \quad Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

$Q_0$  – počáteční průtok

$Q$  – průtok po uplynutí  $t$  dnů

# Čára překročení m-denních průtoků

Výchozí statistický soubor tvořen průměrnými denními průtoky za dlouhodobé období.

Postup zpracování statistického souboru :

Empirická čára překročení 

změna měřítka u vodorovné osy ze 100% na 365 dní 

**čára překročení m-denních průtoků.**

Význam stanovených veličin :

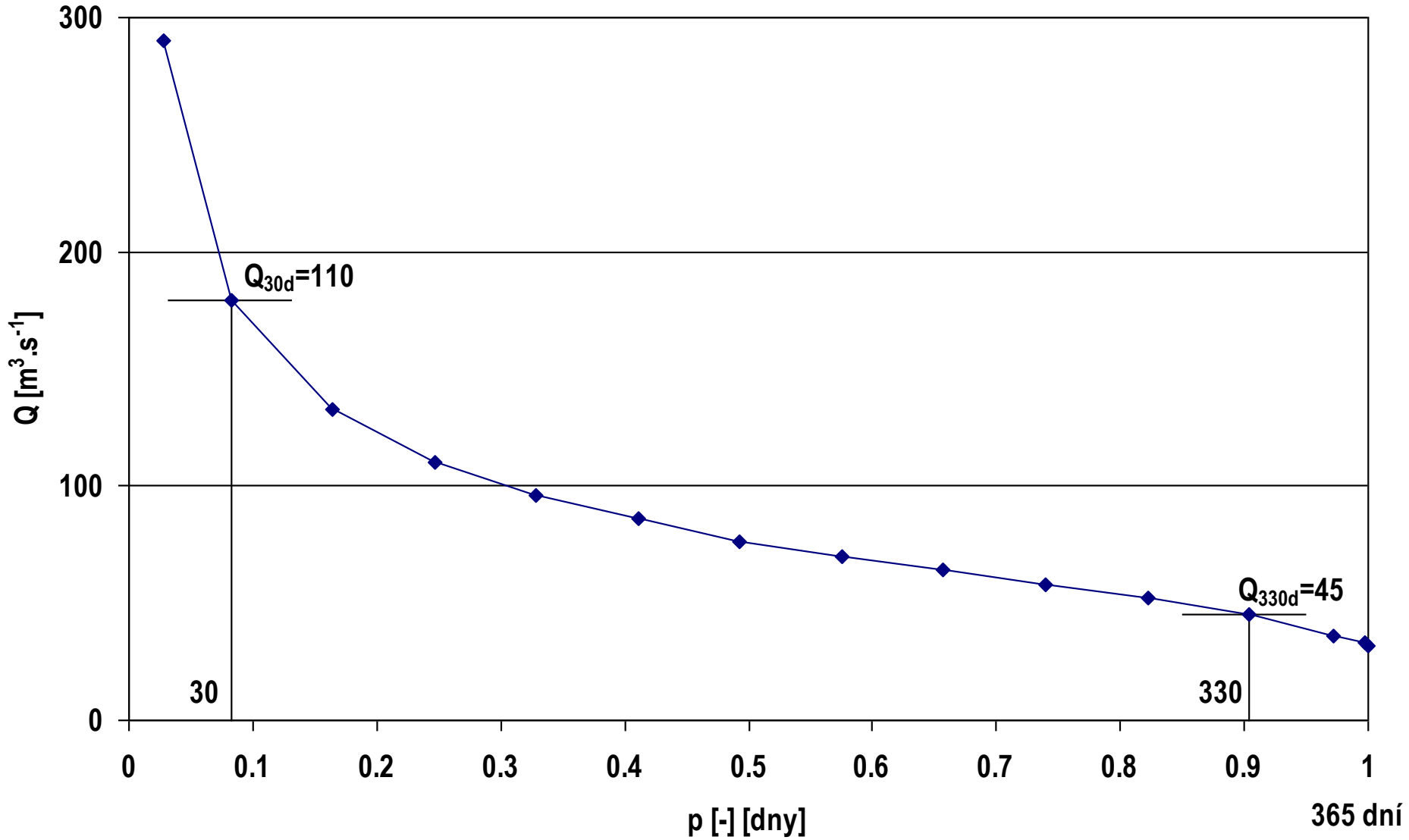
**$Q_{330d}$  – průměrný denní průtok, který je v dlouhodobém období dosažen nebo překročen po 330 dní v roce.**

Používá se k určení minimálních průtoků v tocích (především z pohledu ekologické stavu toku).

Zpracovávané hodnoty čáry překročení m-denních průtoků ČHMÚ

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

# Čára překročení m-denních průtoků



# Maximální průtoky

## Druhy povodní

### Členění dle nařízení vlády

**Přirozené povodně** – způsobené přírodními jevy (srážko-odtokové).

**Zvláštní povodně** – způsobené umělými jevy (poruchy vodních děl).

### Členění dle příčin vzniku

**Průtokové povodně** – vyvolané velkým průtokem v toku.

Důsledek průtokových povodní – velké průtoky i vodní stavy.

**Ledové povodně** – vyvolané ucpáním profilu ledem.<sup>4</sup>

Důsledek ledových povodní – velké vodní stavy při relativně běžných průtocích.

## Členění průtokových povodní

**Regionální povodně** – vyvolané vydatnými dlouhodobými dešti, táním sněhu – zasahují velká povodí, trvání řádově ve dnech.

**Bleskové povodně** – z extrémních krátkodobých lijáků zasahujících malé povodí, trvání řádově v hodinách.

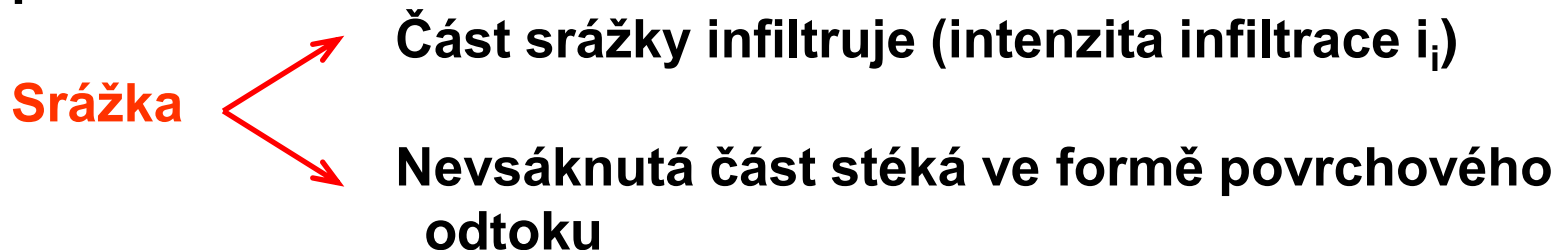
## Členění ledových povodní

**Povodně v době mrazů** – příčina vyvolána ucpávání koryta toku ledovým nápěchem v mrazivém období.

**Povodně v době oblevy** – příčinou ucpání koryta ledem v době odchodu ledů (ledové zácpy), ledem z uvolňovaného dnového ledu.

# Vznik povodně vyvolané velkým průtokem

Příčina povodně



$i_i > i_s$   veškerá srážka se vsákne  nulový povrchový odtok

$i_i < i_s$   část srážky se nestačí vsáknout  vzniká povrchový odtok

S růstem  $H_s$  klesá vliv  $i_i$  na velikost povrchového odtoku.

Zkušenosti z významných povodní

Maximální výška infiltrované vody  $H_i \approx 60 \div 100$  mm



Význam infiltrace na průběh povodňových situací je již málo významný.

# Formování odtoku v povodí

## Metoda Izochron

Vzájemný vztah trvání deště a doby proudění vody po povodí popisuje metoda izochron.

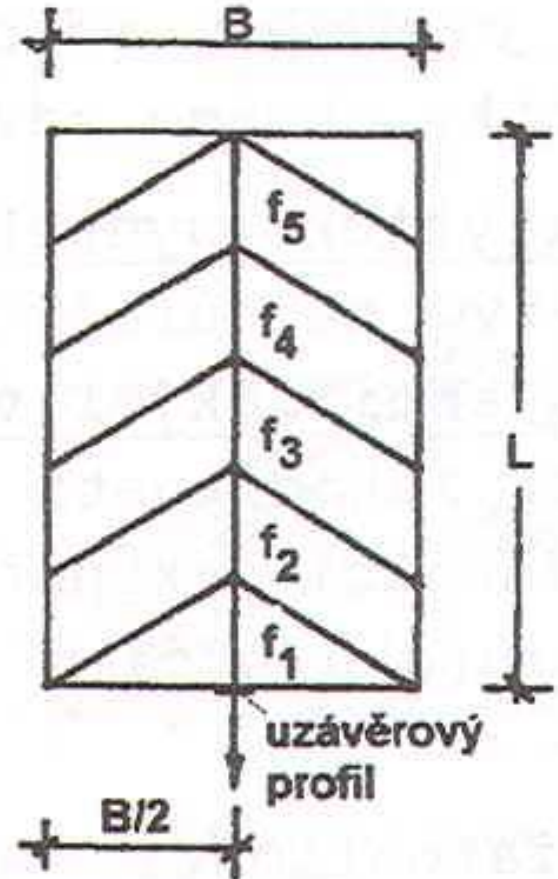
## Základní pojmy

Doba doběhu – doba, kterou potřebuje voda spadlá na určité místo v povodí, aby dotekla do uzávěrového profilu.

Doba koncentrace  $T_k$  – doba doběhu pro „hydraulicky“ nejvzdálenější místo od uzávěrového profilu.

Doba trvání deště  $T_d$

Izochrona – čára spojující místa se stejnou dobou doběhu.





Doba trvání deště  $T_d$  (3hod) <  $T_k$  (5hod)

Případ 3)

$$Q_1 = f_1 \cdot h_1$$

$$Q_2 = f_1 \cdot h_2 + f_2 \cdot h_1$$

$$Q_3 = f_1 \cdot h_3 + f_2 \cdot h_2 + f_3 \cdot h_1$$

$$Q_4 = f_2 \cdot h_3 + f_3 \cdot h_2 + f_4 \cdot h_1$$

$$Q_5 = f_3 \cdot h_3 + f_4 \cdot h_2 + f_5 \cdot h_1$$

$$Q_6 = f_4 \cdot h_3 + f_5 \cdot h_2$$

$$Q_7 = f_5 \cdot h_3$$

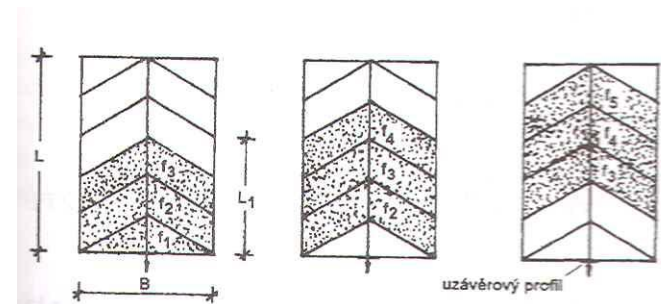
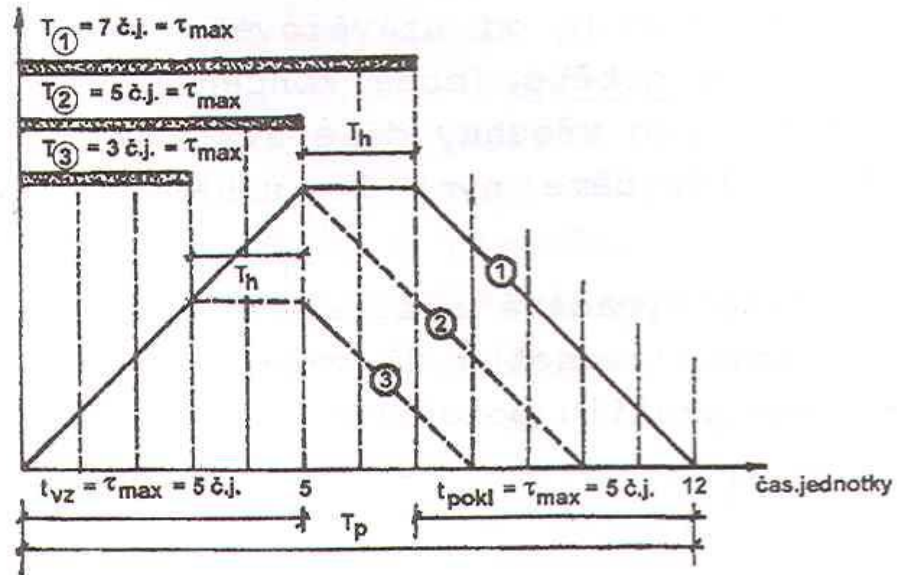
$$Q_8 = 0$$

- i-tá plocha ohraničená izochronami

$f_i$  - výška srážky spadlá na povodí během i-tého časového

$h_i$  intervalu

**Na maximálním průtoku se nepodílí odtok z celé plochy povodí**



Doba trvání deště  $T_d$  (5hod) =  $T_k$  (5hod)

Případ 3)

$$Q_1 = f_1 \cdot h_1$$

$$Q_2 = f_1 \cdot h_2 + f_2 \cdot h_1$$

$$Q_3 = f_1 \cdot h_3 + f_2 \cdot h_2 + f_3 \cdot h_1$$

$$Q_4 = f_1 \cdot h_4 + f_2 \cdot h_3 + f_3 \cdot h_2 + f_4 \cdot h_1$$

$$Q_5 = f_1 \cdot h_5 + f_2 \cdot h_4 + f_3 \cdot h_3 + f_4 \cdot h_2 + f_5 \cdot h_1$$

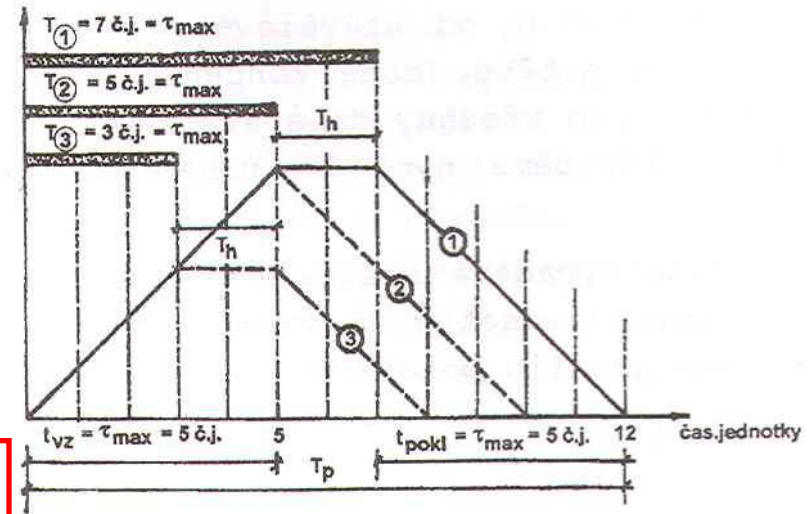
$$Q_6 = f_2 \cdot h_5 + f_3 \cdot h_4 + f_4 \cdot h_3 + f_5 \cdot h_2$$

$$Q_7 = f_3 \cdot h_5 + f_4 \cdot h_4 + f_5 \cdot h_3$$

$$Q_8 = f_4 \cdot h_5 + f_5 \cdot h_4$$

$$Q_9 = f_5 \cdot h_5$$

$$Q_{10} = 0$$



**Na maximálním průtoku se podílí celá plocha povodí, kulminace je okamžitá.**

Doba trvání deště  $T_d$  (7hod) >  $T_k$  (5hod)

Případ 3)

$$Q_1 = f_1 \cdot h_1$$

$$Q_2 = f_1 \cdot h_2 + f_2 \cdot h_1$$

$$Q_3 = f_1 \cdot h_3 + f_2 \cdot h_2 + f_3 \cdot h_1$$

$$Q_4 = f_1 \cdot h_4 + f_2 \cdot h_3 + f_3 \cdot h_2 + f_4 \cdot h_1$$

$$Q_5 = f_1 \cdot h_5 + f_2 \cdot h_4 + f_3 \cdot h_3 + f_4 \cdot h_2 + f_5 \cdot h_1$$

$$Q_6 = f_1 \cdot h_6 + f_2 \cdot h_5 + f_3 \cdot h_4 + f_4 \cdot h_3 + f_5 \cdot h_2$$

$$Q_7 = f_1 \cdot h_7 + f_2 \cdot h_6 + f_3 \cdot h_5 + f_4 \cdot h_4 + f_5 \cdot h_3$$

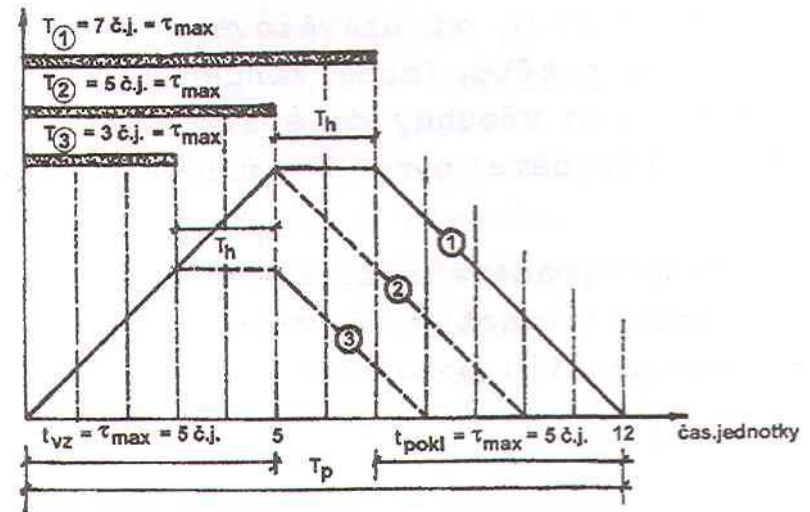
$$Q_8 = f_2 \cdot h_7 + f_3 \cdot h_6 + f_4 \cdot h_5 + f_5 \cdot h_4$$

$$Q_9 = f_3 \cdot h_7 + f_4 \cdot h_6 + f_5 \cdot h_5$$

$$Q_{10} = f_4 \cdot h_7 + f_5 \cdot h_6$$

$$Q_{11} = f_5 \cdot h_7$$

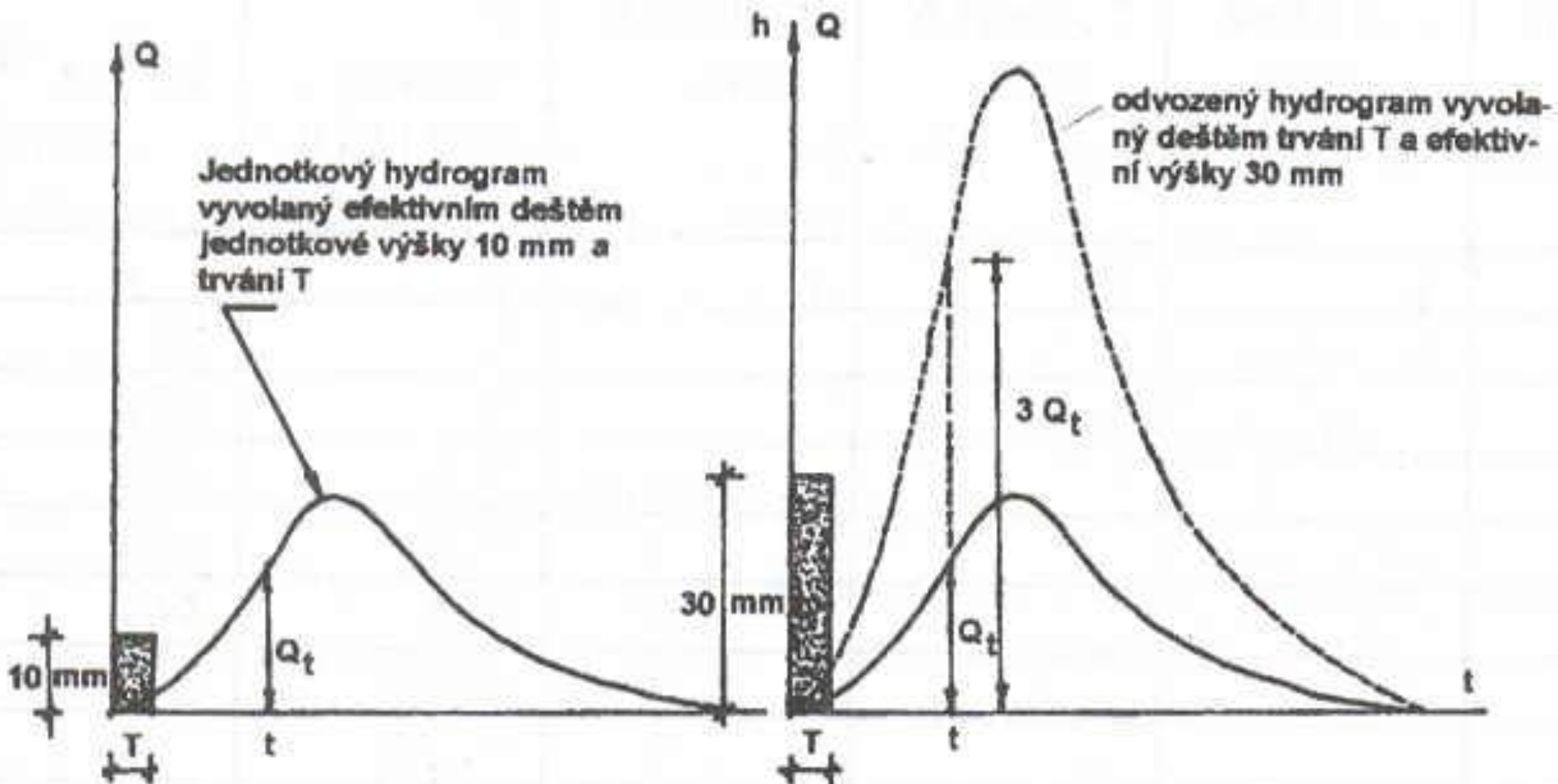
$$Q_{12} = 0$$



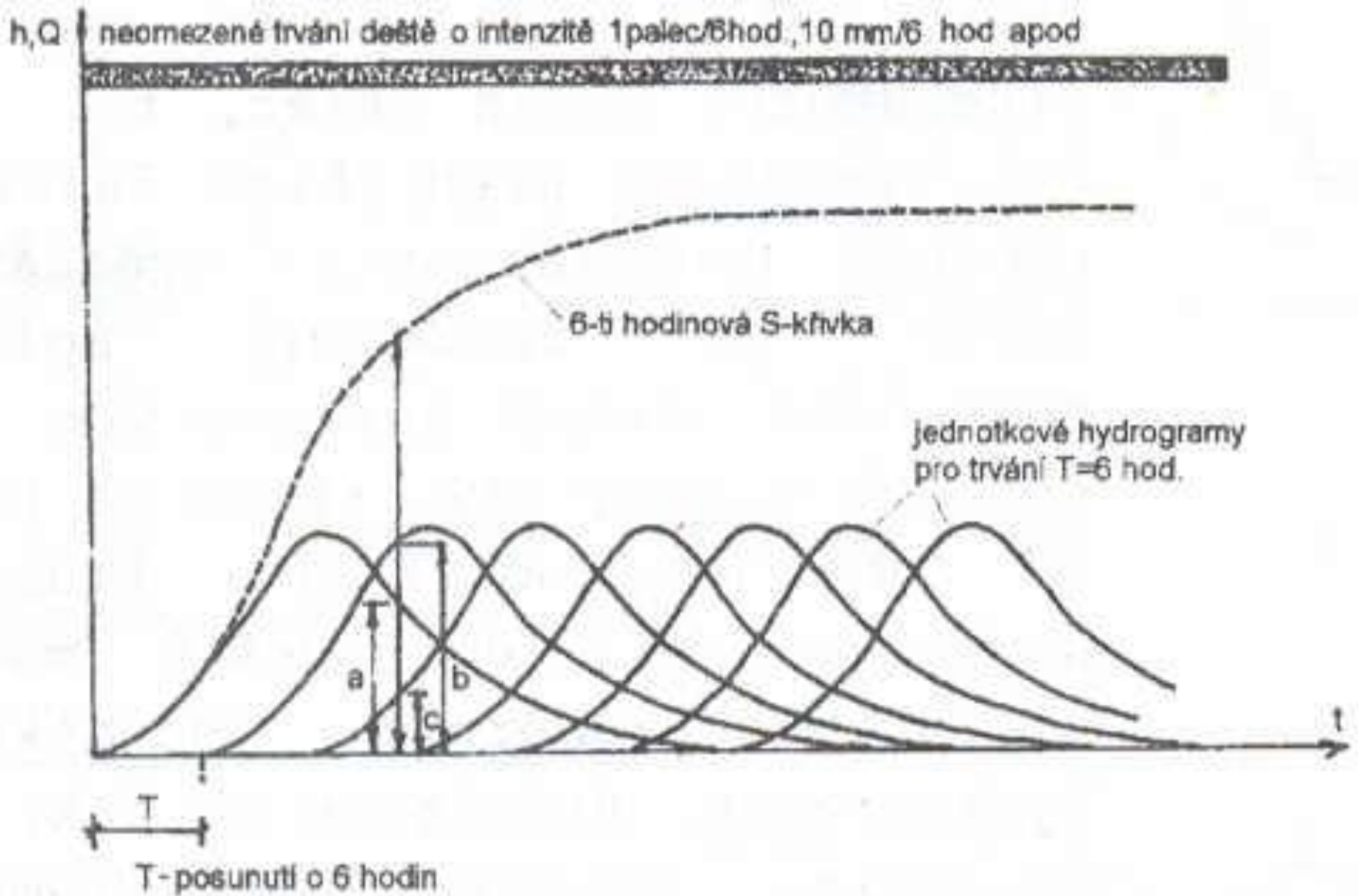
**Na kulminačním průtoku se podílí odtok z celé plochy povodí.  
Kulminační průtok trvá delší dobu.**

## Metoda jednotkového hydrogramu

Jednotkový hydrogram – hydrogram vyvolaný efektivním deštěm jednotkové výšky a trvání  $T$ .



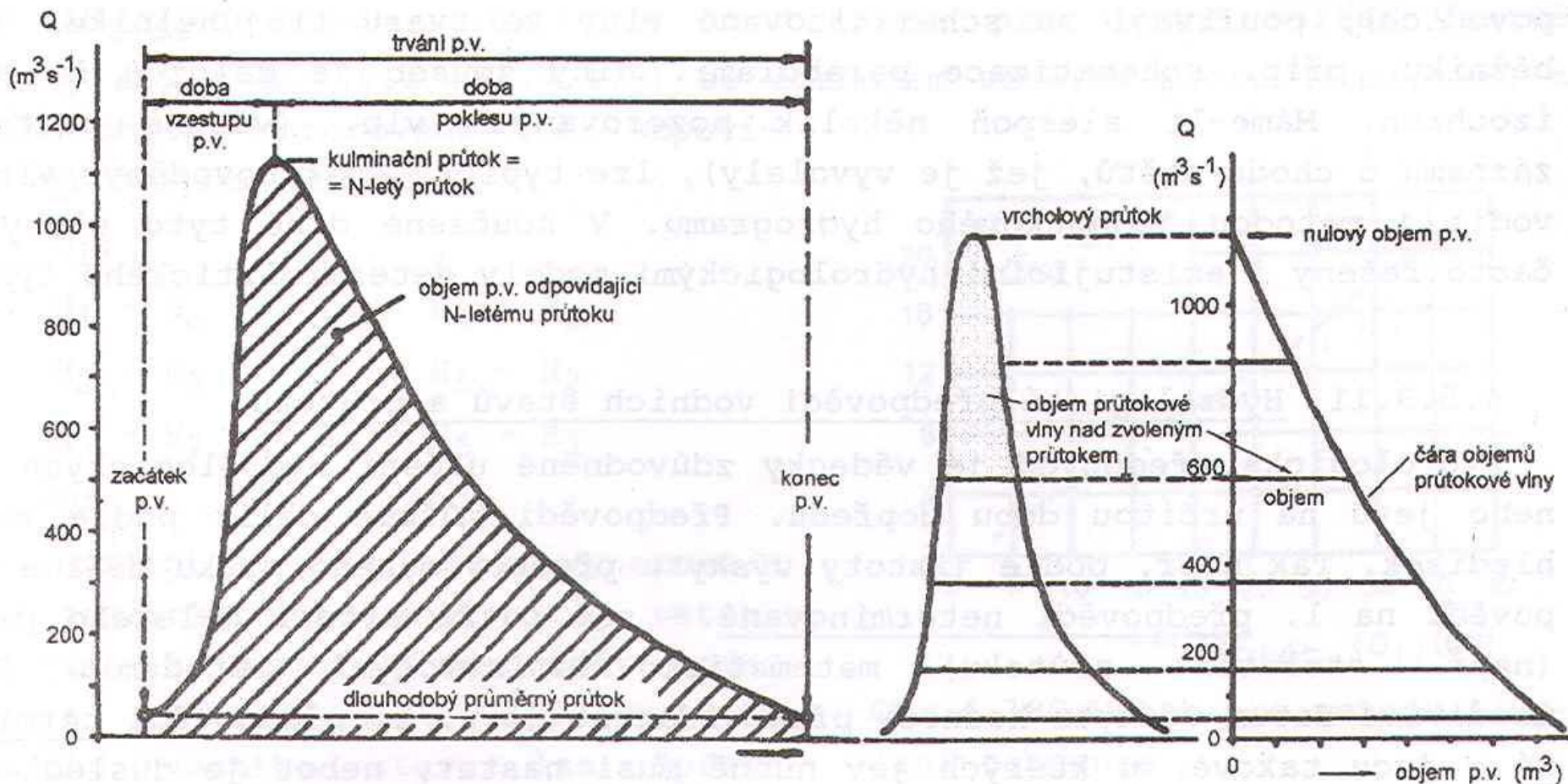
# Aplikace metody jednotkového hydrogramu v případě dlouhého deště



# Základní parametry povodňových vln

**Kulminační průtok** – důležitý při posuzování kapacity koryt

**Tvar a objem povodňové vlny** – důležitý při navrhování velikosti retenčních objemů nádrží



# Stanovení $Q_N$ v profilech s pozorováním

Statistické vyhodnocení kulminačních průtoků za dlouhodobě období.

2 přístupy :

- Statistický soubor je tvořen ročními maximálními průtoky.  
(počet členů souboru = počet let)
- Statistický soubor je kromě ročních maximálních průtoků doplněn i o další významné kulminační průtoky povodní, pokud se v daném roce vyskytly.

Postup zpracování statistického souboru

Empirická čára překročení  teoretická čára překročení   
**čára překročení N-letých průtoků.**

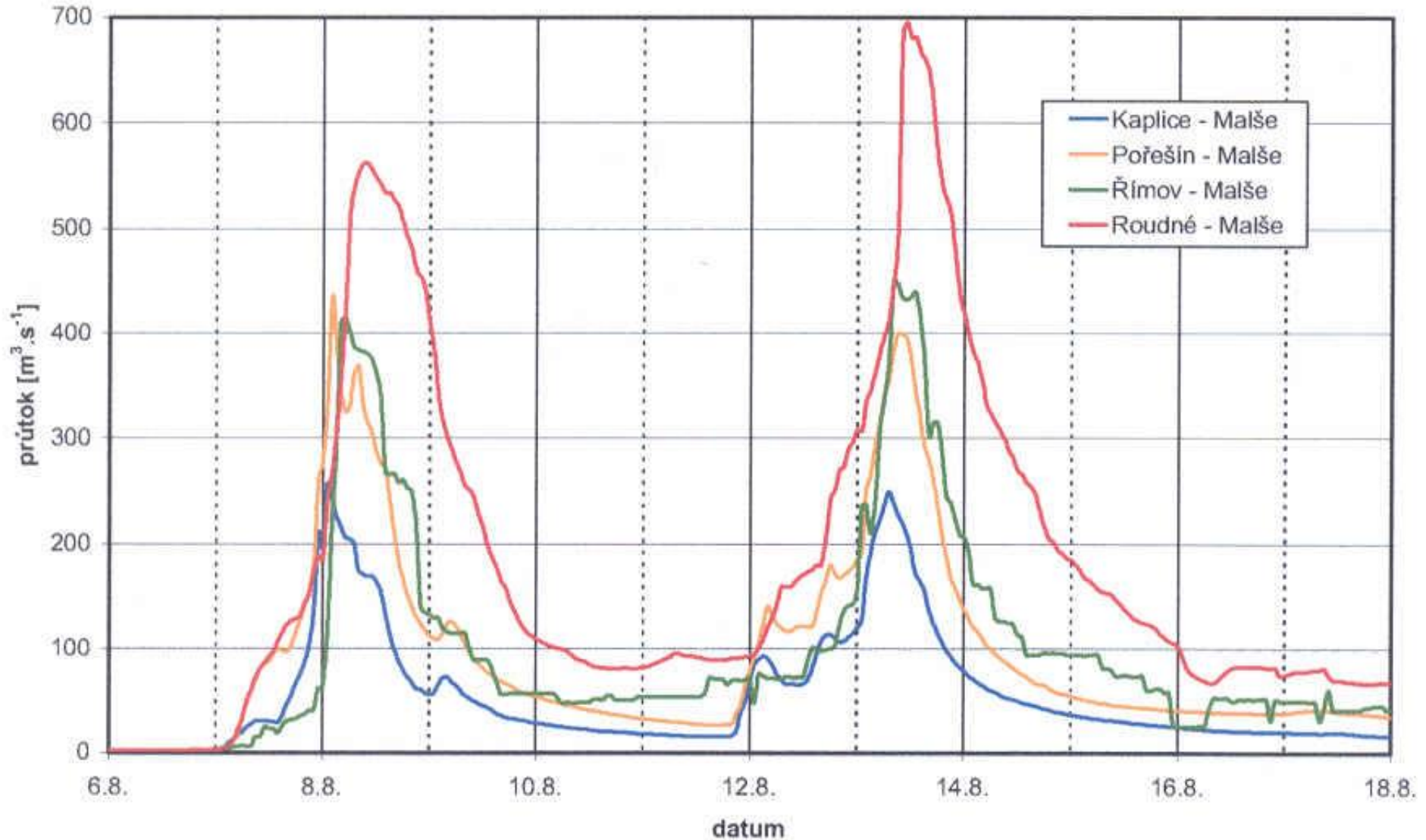
Význam stanovených veličin

$Q_{100}$  – okamžitý průtok, který dosažen nebo překročen za dlouhodobé období v průměru 1 krát za 100 let.

Zpracovávané hodnoty čáry překročení m-denních průtoků ČHMÚ

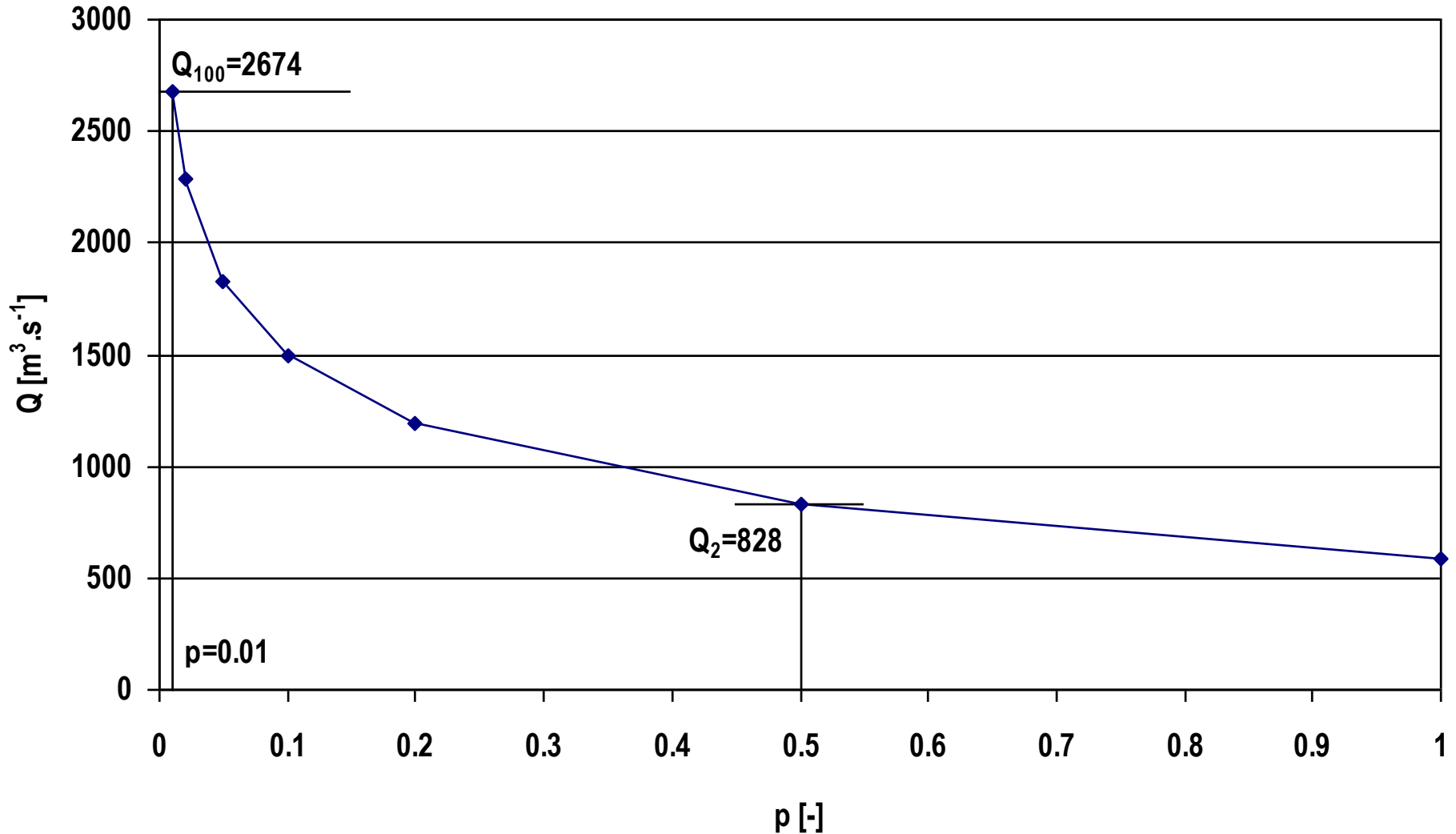
$Q_1, Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}$

# Opakovaný výskyt významných kulminací v 1 roce





# Čára překročení N-letých průtoků Vltava – profil nad soutokem s Berouнкou



# Stanovení $Q_N$ v profilech bez pozorování

## Metoda analogií

Toky s dlouhodobým pozorováním v blízkých profilech

$$\frac{Q_{NPP}}{Q_{NPP}} \approx f\left(\frac{S_{NP}}{S_{PP}}\right)$$

S – plocha povodí

NP – nepozorovaný profil

PP – pozorovaný profil

## Metody genetické

Vycházejí z popisu fyzikální podstaty vývinu odtoku

Metoda izochron

Metoda jednotkového hydrogramu

## Empirické a oblastní rovnice

## Empirické a oblastní rovnice

### Vzorec Čerkašina (pro povodí do 300km<sup>2</sup>)

$$Q_{100} = \frac{24.7 \cdot \beta \cdot v_s^{2/3} \cdot S}{\psi \cdot L^{2/3}}$$

$\beta$  - objemový součinitel odtoku (dle mapy)

$v_s$  – střední rychlost proudění vody [m.s<sup>-1</sup>]

$S$  – plocha povodí [km<sup>2</sup>]

$\psi$  - součinitel vyjadřující tvar povodí

$L$  – délka údolnice [km]

### Vzorce intenzitního typu

$$Q_N = k \cdot i_N \cdot \varphi_N \cdot S$$

$k$  – rozměrový součinitel

$i_N$  – intenzita deště

$\varphi_N$  – součinitel odtoku

$S$  – plocha povodí [km<sup>2</sup>]

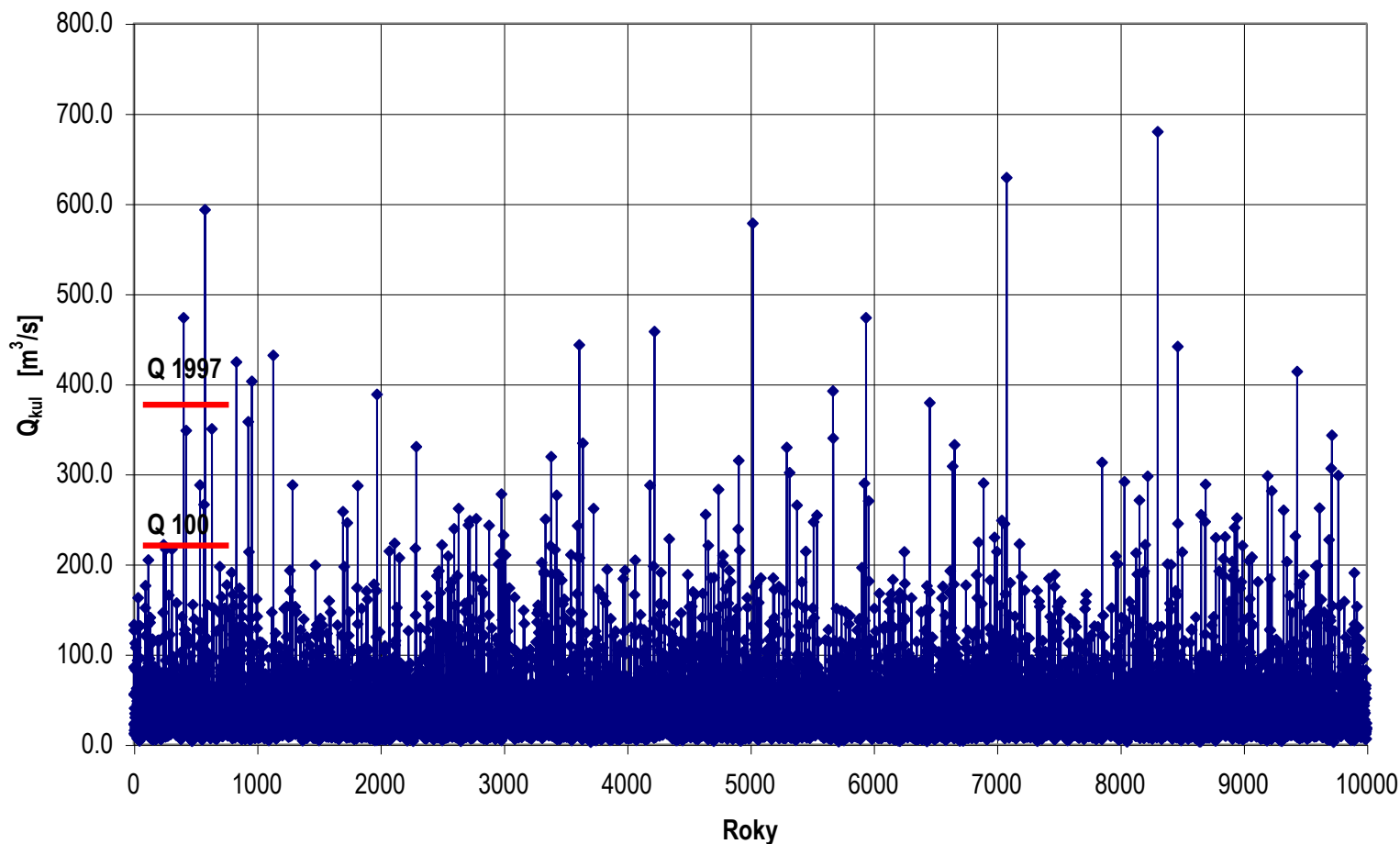
### Oblastní rovnice

$$Q_{\max} = A \cdot S^{1-n}$$

$A, n$  – koeficienty závislé na klimaticko geografických poměrech povodí

# Modelování syntetických řad ročních maxim

Metoda Monte-Carlo – modelování maximálních ročních průtoků pro velmi dlouhé období (10 000 let) na základě základních statistických charakteristik výchozího souboru



# Vliv uvažovaných klimatických změn na našem území na hydrologický režim

**Předpokládá se významný nárůst extrémů**

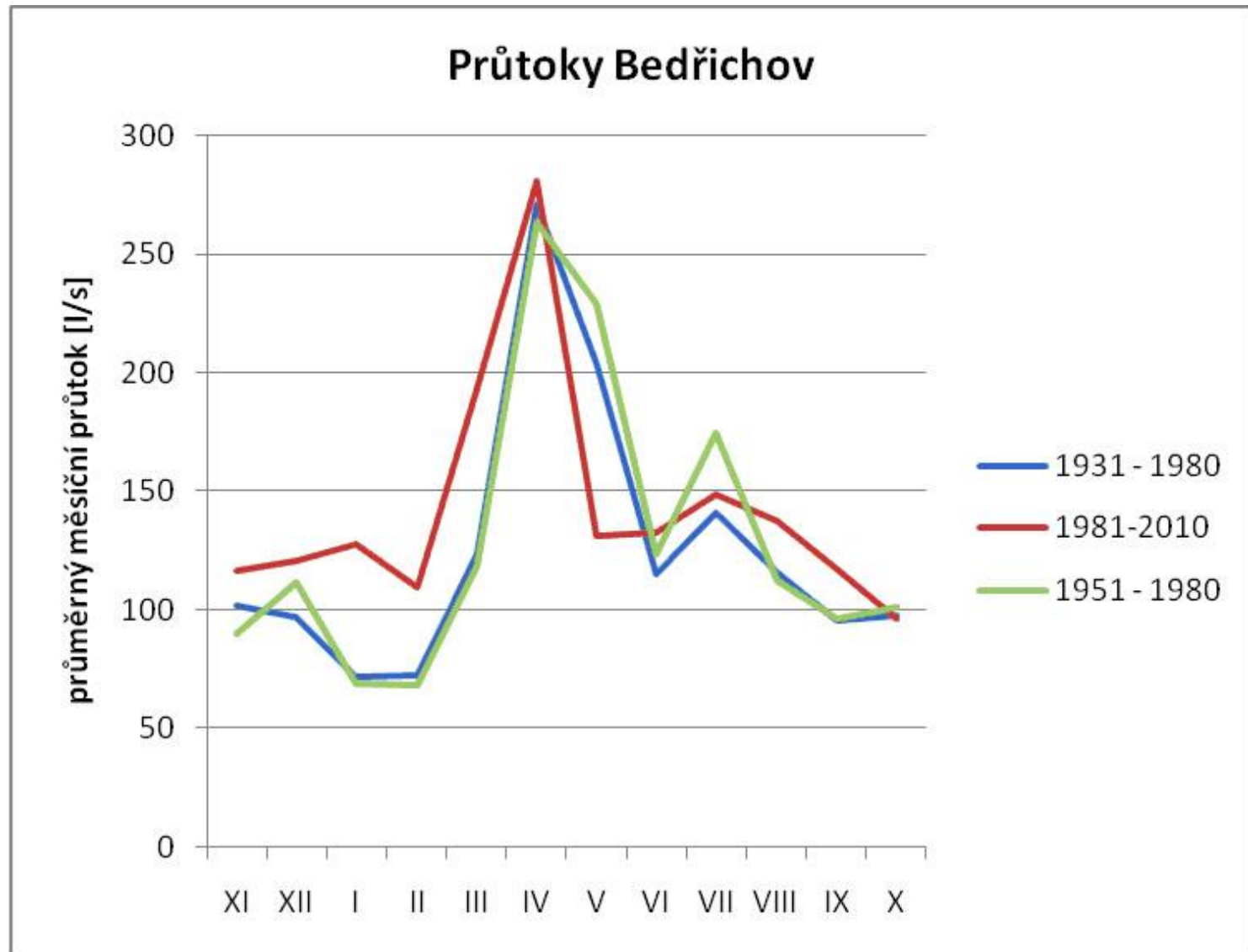
**Významné povodně**

**1997, 2002, 2006, 2009, 2010, 2013**

**Extrémní sucha**

**2014, 2015**

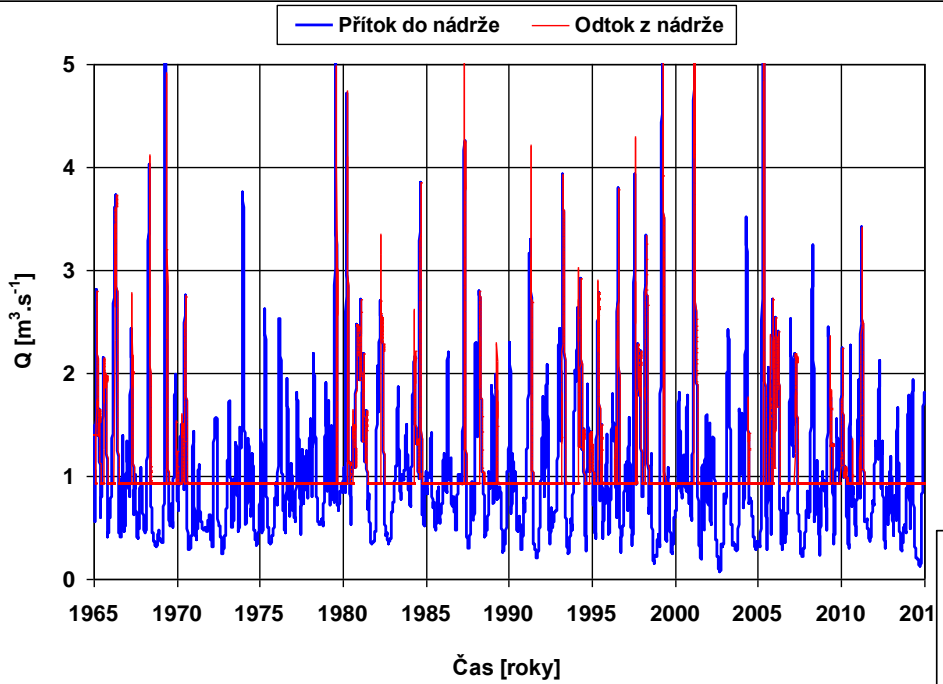
# Změnu časového rozdělení odtoku na našem území



# Předpokládáné zhoršení funkce nádrží

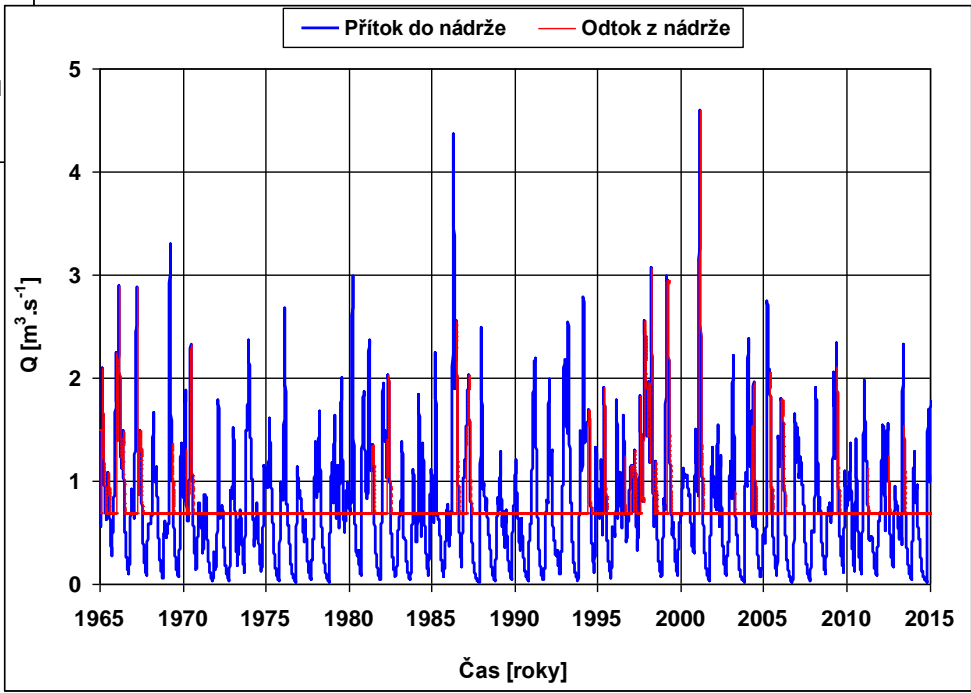
**Uvažované VD Skuhrov  
Stav pro období 1965 – 2015**

**Průměrný 100% měsíční  
nadlepšovací průtok  
0.937m3/s**



**Stav v případě uvažovaných  
klimatických scénářů pro  
2070 – 2100**

**Průměrný 100% měsíční  
nadlepšovací průtok jen  
0.69m3/s**



# Hydrologické předpovědi

## Předpovědi netermínované

Neudává se datum či čas výskytu, pouze pravděpodobnost výskytu z dlouhodobého hlediska – například N-letých nebo m-denních průtoky.

## Předpovědi termínované

Předpověď na základě pozorované příčiny – kromě velikosti se předpovídá i doba výskytu.

Krátkodobé předpovědi  
Sezónní předpovědi

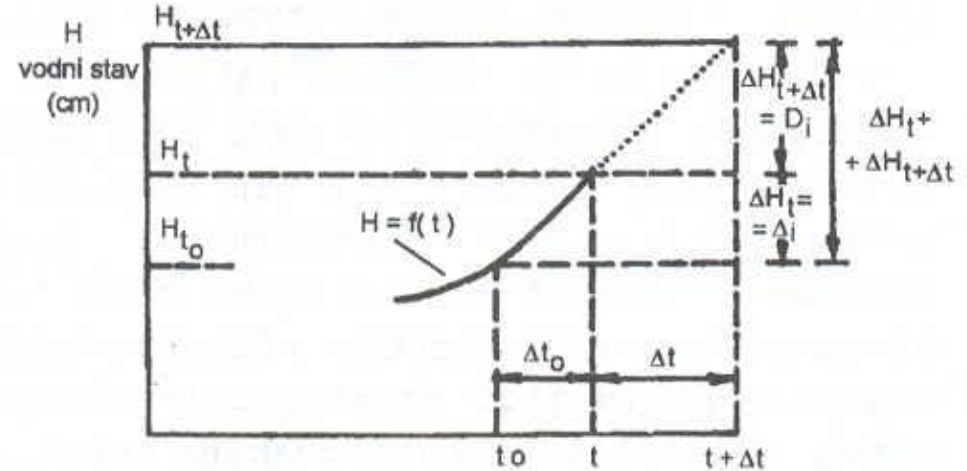


# Termínované předpovědi

## Krátkodobé předpovědi Hydrometrické předpovědi

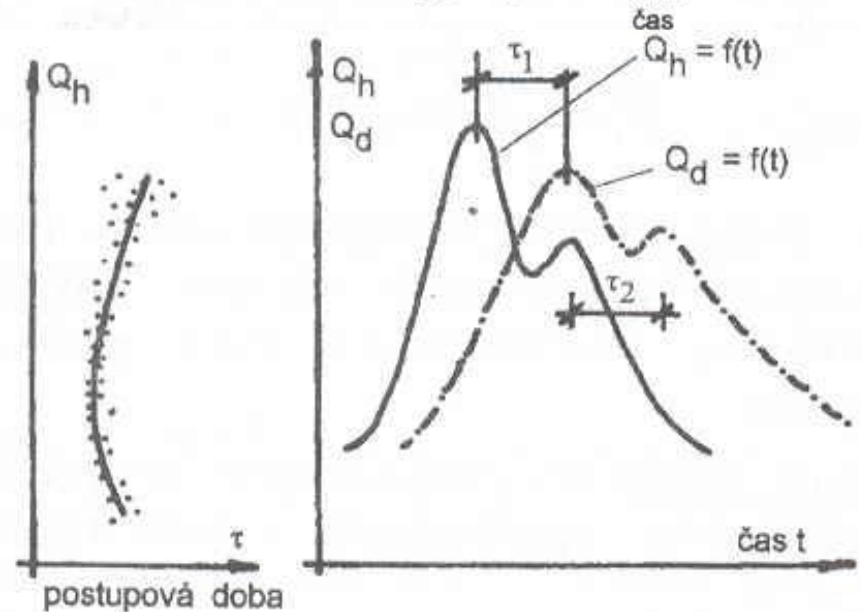
### Metoda tendencí

$$\frac{H_{t+\Delta t} - H_t}{H_t - H_{t_0}} = \frac{\Delta t}{\Delta t_0}$$



### Metoda postupových dob

$$Q_{d,t+\tau} = f(Q_{h,t})$$



## **Hydrometeorologické předpovědi**

**Předpověď procesů srážko-odtokového režimu na základě předpovědi výskytu srážek a modelování srážko-odtokového režimu.**

### **Současný stav ČHMÚ**

**Centrální předpovědní pracoviště a 6 regionálních předpovědních pracovišť (Ústí nad Labem, Plzeň, České Budějovice, Hradec Králové, Brno, Ostrava).**

#### **Vstupní data :**

**Pozorování v hlásné síti 200 vodoměrných stanic na 60 tocích Česka. Meteorologické informace a předpovědi – zejména srážky a teploty.**

#### **Výstupy :**

**Předpovědi vodních stavů a průtoků pro 100 profilů s předstihem 48 hodin**

## Použité matematické modely

### Předpověď srážek

Matematický model **ALADIN** - podrobný meteorologický model.

Dvoudenní předpovědi v časovém kroku 6 hodin.

Model **ECMWF** – střednědobý globální meteorologický model

Evropského centra pro střednědobou předpověď.

Výpočtová síť 40 x 40 km.

Předpověď na 3 až 10 dní.

### Srážko-odtokové modely

Model **HYDROG** – Povodí Odry a Moravy

System **AquaLog** (s modelem SACRAMENTO) – povodí Labe

Za úspěšnou se považuje odchylka předpovědi průtoku do 20 %,

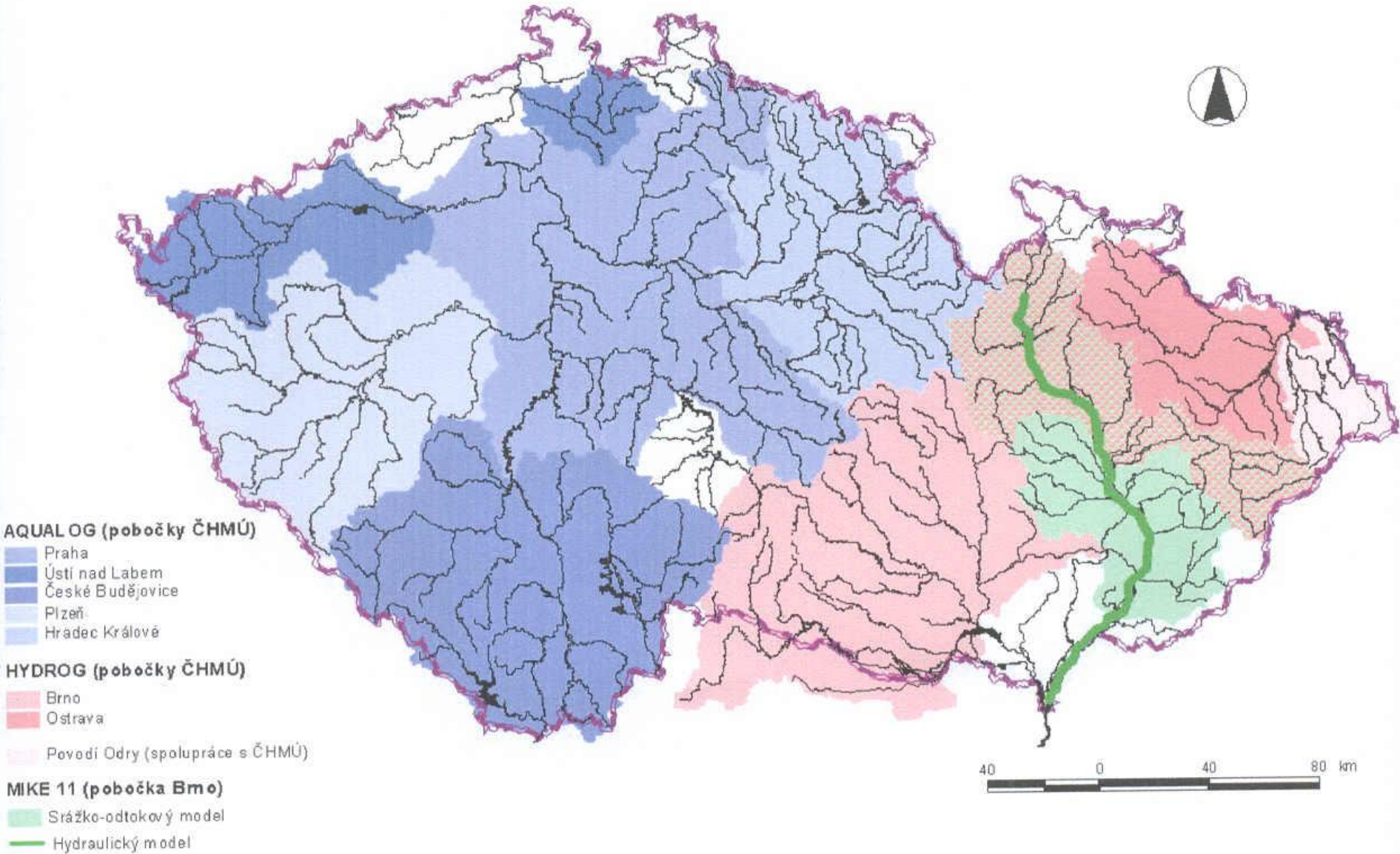
V případě významného podílu tání sněhu do 30 %.

Úspěšné předpovědi zpravidla pro období do 24 hodin.

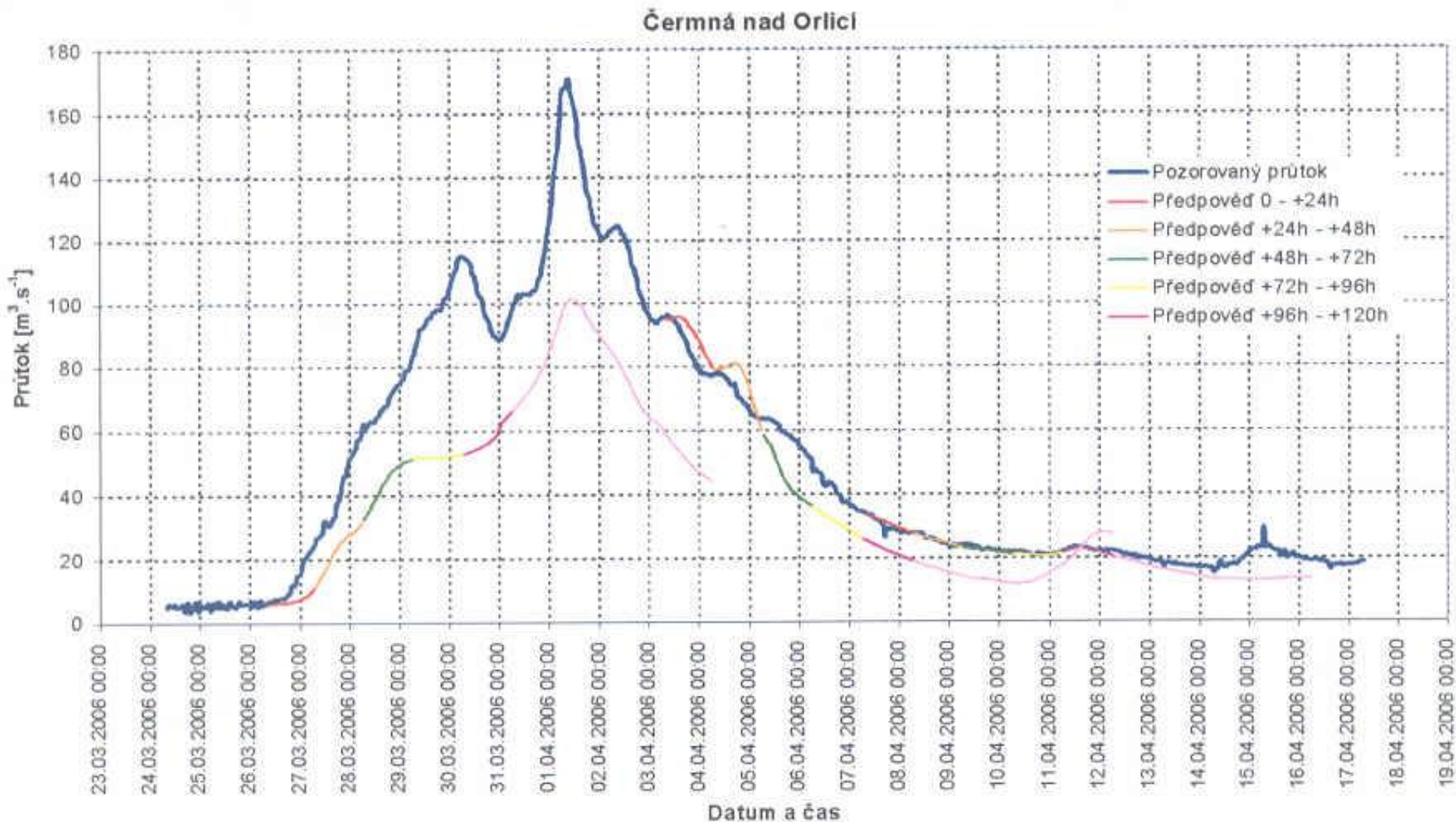
Pro předpovědi od 24 do 48 hodin je třeba počítat s již významnou nejistotou.

Přesnost předpovědi klesá i s velikostí modelovaného povodí.

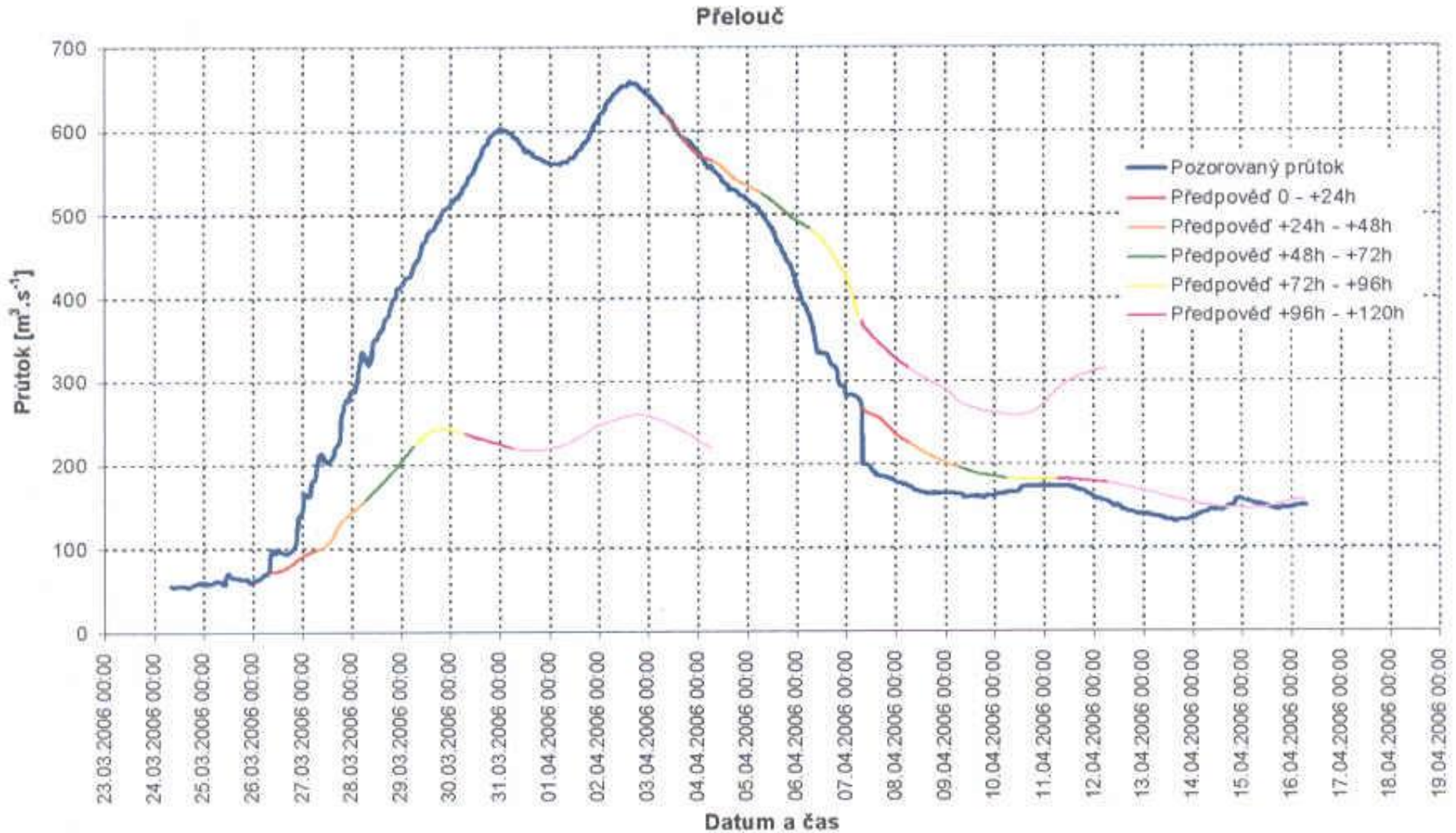
# Modelovaná povodí



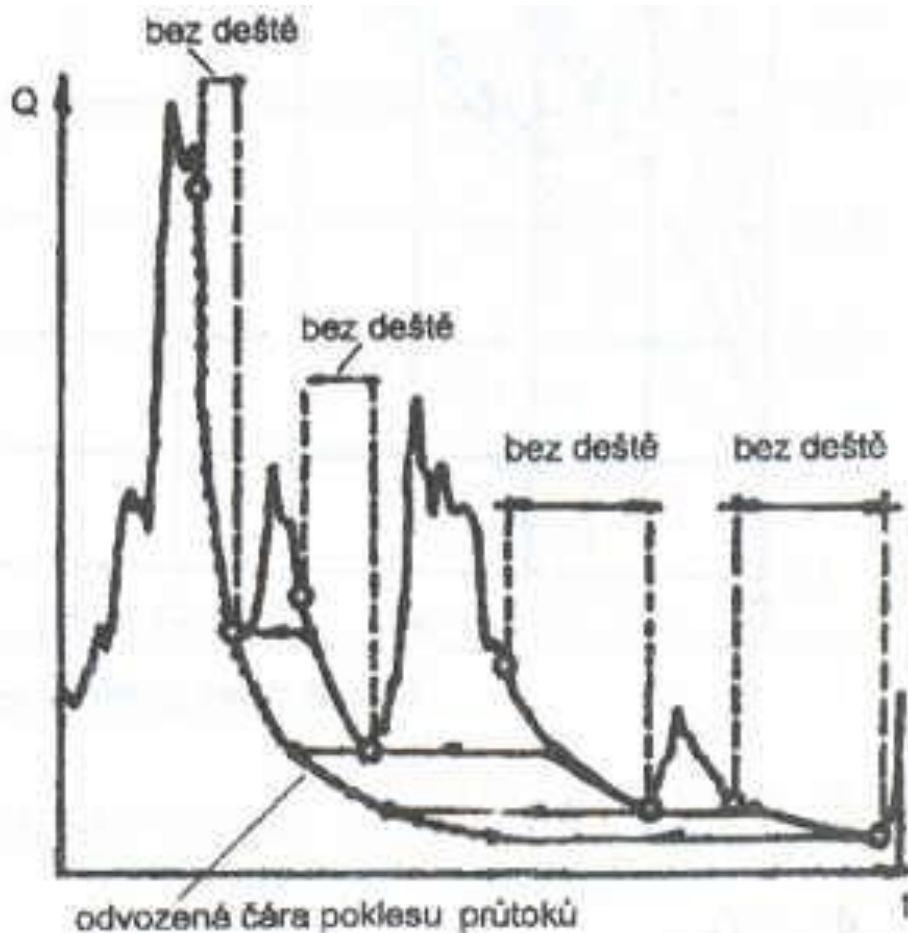
# 10-ti denní předpovědi průtoku Tiché Orlice v Čermné n.O.



# 10-ti denní předpovědi průtoku Labe v Přelouči



## Sezónní předpovědi Metoda výtokových čar



Předpověď poklesu průtoků v bezdešťovém období.

$$Q = Q_0 \cdot K^{-t}$$

nebo

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

## Předpověď objemu odtoku z tajícího sněhu

Nutná znalost výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty.