

HYDROMETRIE

RNDr. Jan Kocum
kocum1@natur.cuni.cz
konzultační hodiny: dle dohody
Albertov 6, 128 43 Praha 2
tel. +420221951350



Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK Praha

Hydrometrie

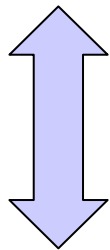
- zkoumá metody měření hydrologických jevů a dále je zpracovává
- zabývá se způsoby číselného vyjadřování a statistického zpracování naměřených dat
- poskytuje základní údaje o jevech na vodních objektech a zkoumá vztah mezi jednotlivými složkami hydrologického režimu

Hydrometrie - obecná

Hlavní úkoly hydrometrie

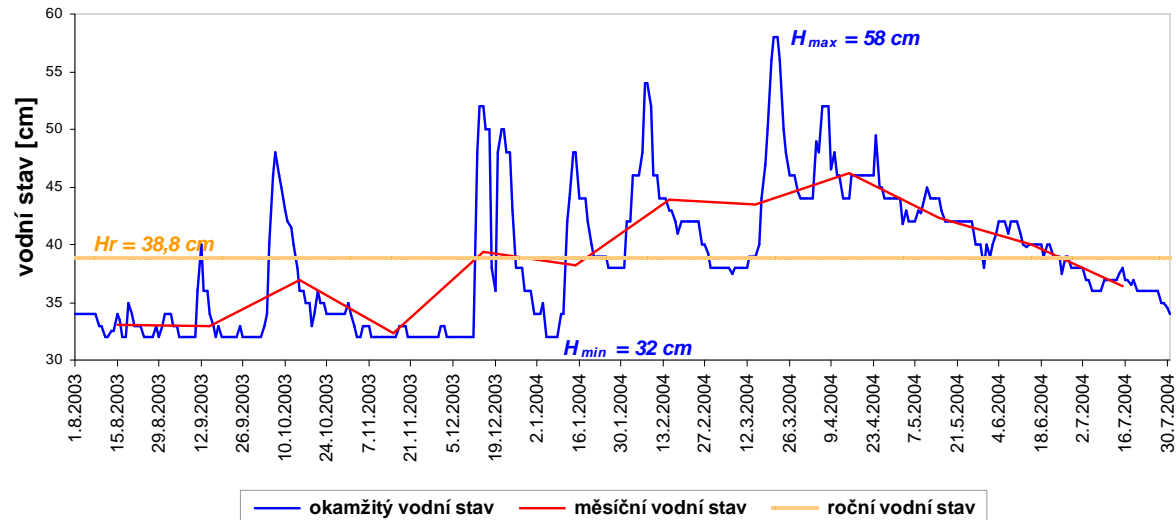
- systematické měření vodních stavů
- měření teploty vody a sledování ledových jevů
- soustavné nebo občasné zjišťování fyzikálních a chemických vlastností vody
- pravidelné nebo občasné měření průtoků a jejich vyhodnocování
- pravidelné nebo občasné měření množství splavenin, jejich zrnitosti, analýza množství a kvality sedimentů na dně vodních objektů
- soustavné měření vydatnosti pramenů a sledování změn hladiny podzemní vody

Vodní stavy



Kolísání vodní hladiny v toku nebo nádrži nad nulou vodočtu (udává se v **cm**)
→ **čáry vodních stavů**

Vývoj denních vodních stavů Jezerního potoka v profilu nad soutokem s Řeznou v období 1.8.2003-31.7.2004



→ porovnání denních vodních stavů (H_d) s příslušnými průměry jejich řad (H_m , H_r , H_a)

→ zjišťují se ve **vodočetných (vodoměrných) stanicích**, které tvoří **síť** - její hustota závisí na hospodářských potřebách a požadavcích vodního hospodářství => lokalizace na charakteristických místech říční sítě (na hlavních tocích, v ústí přítoků)



Vodočetné a limnigrafické stanice

Základní (stálé) - pozorování nepřetržitě po neomezenou dobu

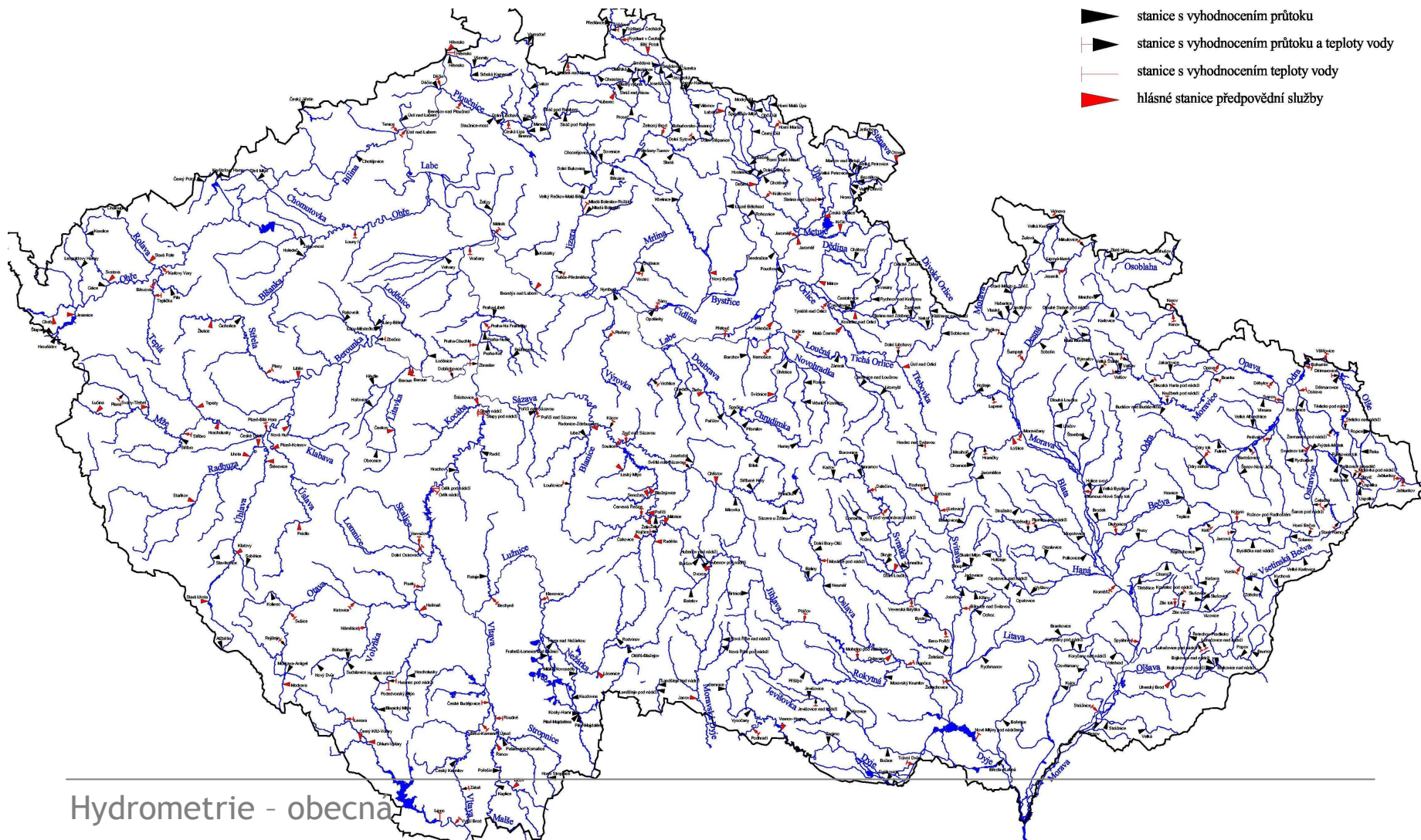
Pomocné (dočasné) - pozorování po kratší dobu - zjištění vztahu mezi hydrologickými jevy v této stanici a stanici základní

→ po několika letech může být přemístěna

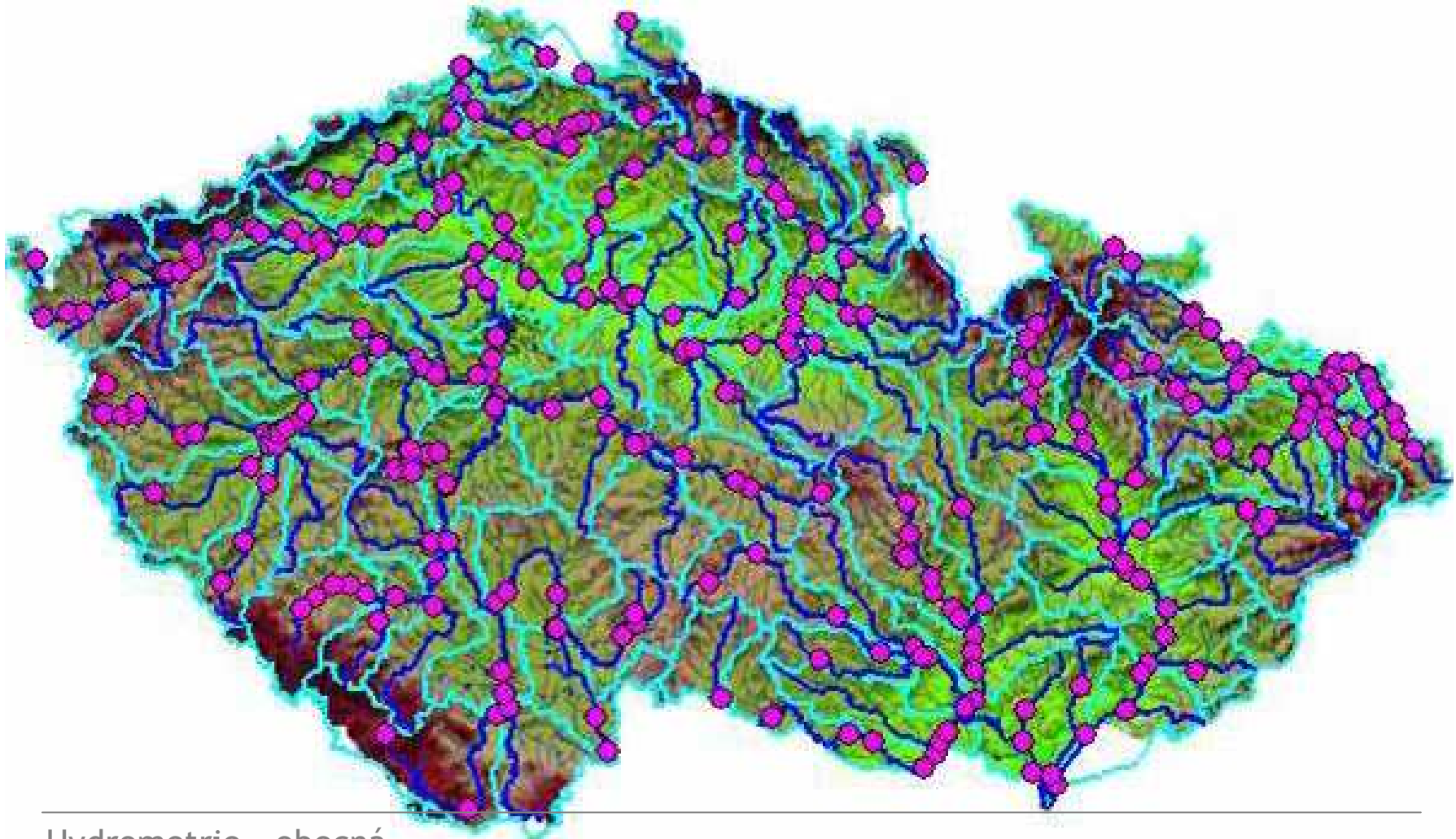
→ užívají se v hydrologicky málo poznaných oblastech

▶ Základní stanice tvoří *síť stanic I., II. a III. třídy*

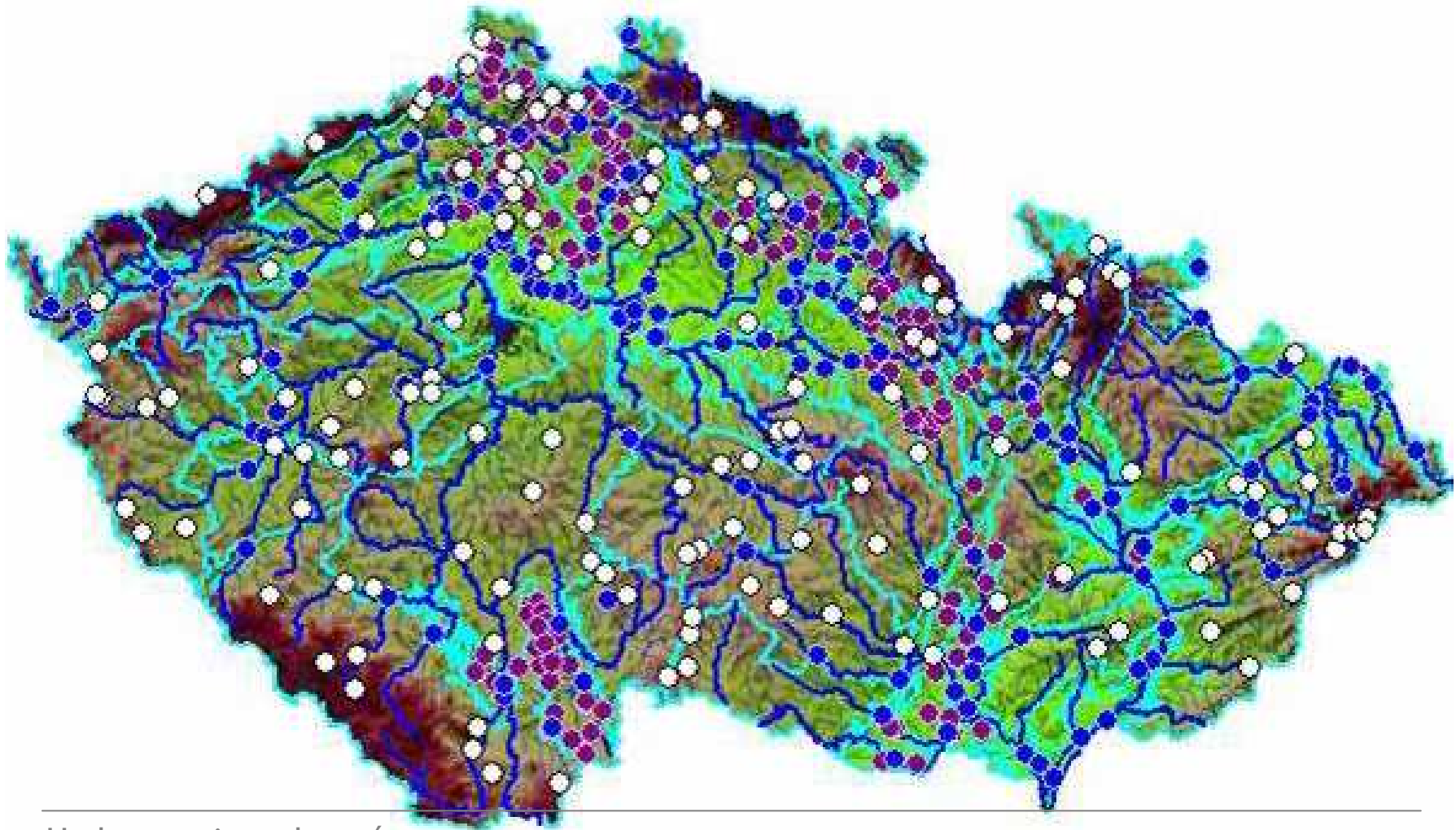
Základní síť vodoměrných stanic



Profily jakosti povrchových vod



Profily jakosti podzemních vod





Hydrometrie - obecná

Vodočetná lat'

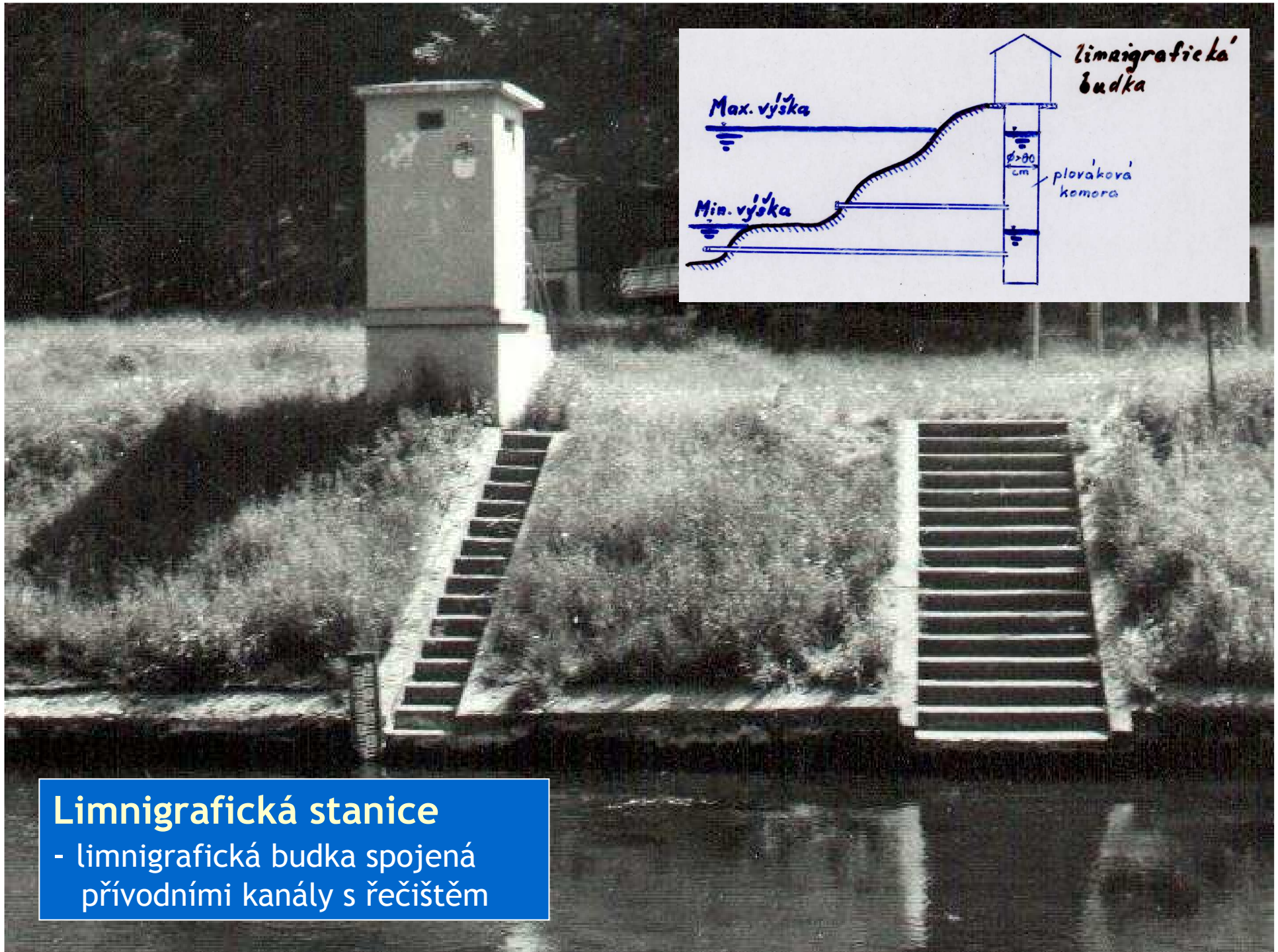
- stupnice obvykle po 2 cm
- čísla označeny *dm* a celé *m*

Nula na vodočtu:

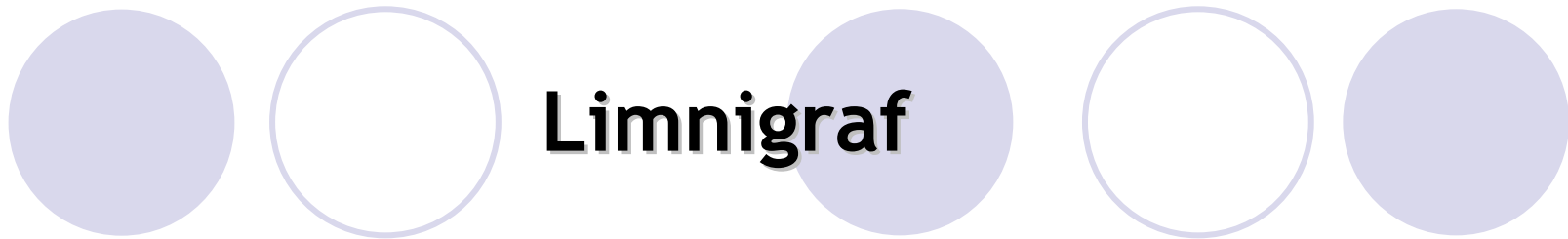
- níže než historicky nejnižší známá hladina
- má být vztažena ke státní nivelaci nebo 2 pevným bodům

Typy vodočtů:

- svislé
- svahové
- kombinované



Limnigrafická stanice
- limnigrafická budka spojená
přívodními kanály s řečištěm



Princip „spojených nádob“

- ▶ plynulý záznam vodních stavů → pohyb hladiny se mechanicky, pneumaticky nebo elektricky přenáší na záznamové zařízení → záznam na *limnigrafický papír* ve zmenšení (1:2, 1:5, 1:10, 1:20, 1:40) = limnigram
- ▶ limnigrafy se svislým nebo vodorovným válcem
- ▶ limnigrafy přenosné, limnigrafy dálkopisné (se signalizací pro hláskou povodňovou službu)



Zpracování údajů

Charakteristické vodní stavy

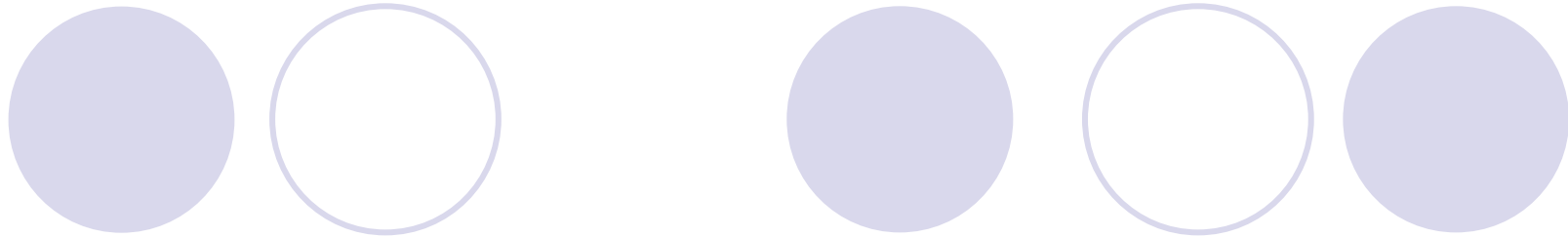
- na pracovištích ČHMÚ se ze záznamů limnigrafů odvozují:

- průměrné denní vodní stavy H_d → z nich H_m , H_r , H_a , H_{max} , H_{min}

- sestavování tabulek rozdělení četností → z nich *histogramy* a *čáry překročení vodních stavů* (za 1 rok či delší časové období) → *m-denní vodní stavy* = vodní stavy dosažené nebo překročené po m dní v roce

→ z čáry překročení - *medián* (stav překročený za polovinu roku), *modus* (nejčastěji se vyskytující vodní stav)

- *vodní stavy* - mimořádně vysoké (překročené 30 dní v roce)
 - vysoké (překročené 31-150 dní v roce)
 - průměrné (překročené 151-210 dní v roce)
 - nízké (překročené 211-330 dní v roce)
 - mimořádně nízké (překročené 330 dní v roce)



- **břehová voda**

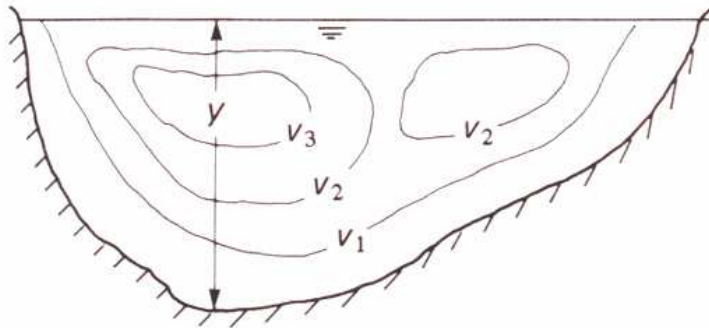
- vodní stav, resp. průtok, při němž se voda vylévá z přírodního koryta do říční nivy

- **hydromodul**

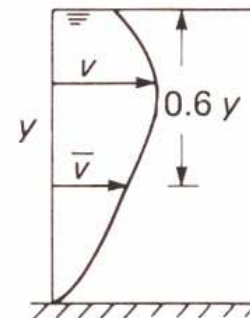
- rozdíl mezi maximálním a minimálním vodním stavem za celé pozorované období (důležitý pro projektanty vodních děl - hrází, jezů, mostů, pro hydrologickou prognózu)
- Labe (Děčín; 1931-1980) 760 cm, Dunaj (Bratislava; 1931-1980) 884 cm, Ipeľ (Ipeľské Šahy) > 1000 cm, Ostravice, Smědá

Pohyb vody v přirozeném vodním korytu

- pohyb vody v říčním korytě ovlivňován různými faktory: *gravitací, třením o nerovnosti dna a břehů*



(a) Transverse cross-section v_1 – velocity contours



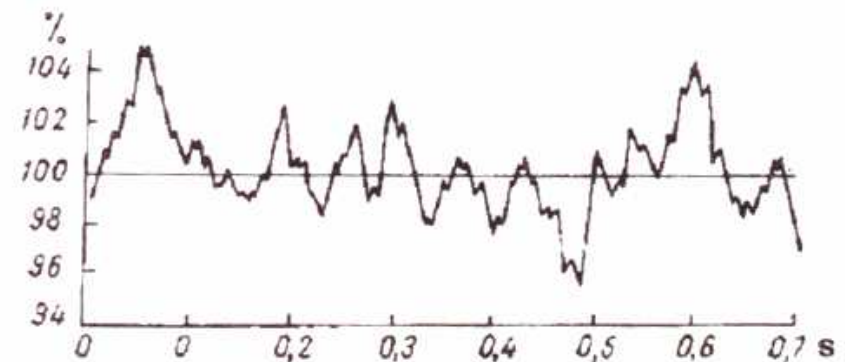
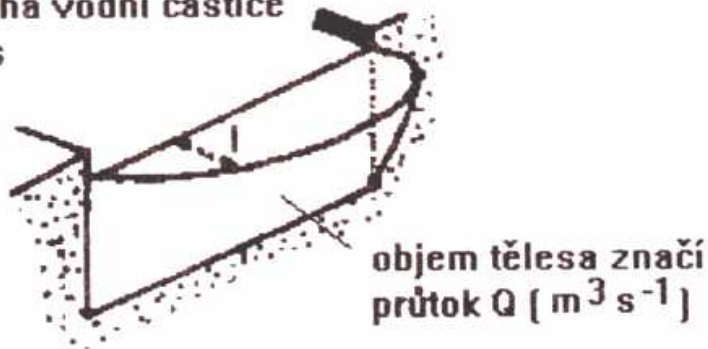
Velocity profile

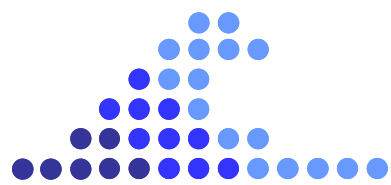
(b) Vertical section

► **pulzace** - stálé kolísání rychlosti kolem určité průměrné hodnoty → turbulence - pohyb neustálený (nepermanentní)

► **izotachy** = izolinie stejných průtokových rychlostí v průtočném profilu

l - dráha vodní částice za 1 s





HYDROMETRIE

- metody určování průtoků -

RNDr. Jan Kocum
kocum1@natur.cuni.cz
konzultační hodiny: dle dohody
Albertov 6, 128 43 Praha 2
tel. +420221951350



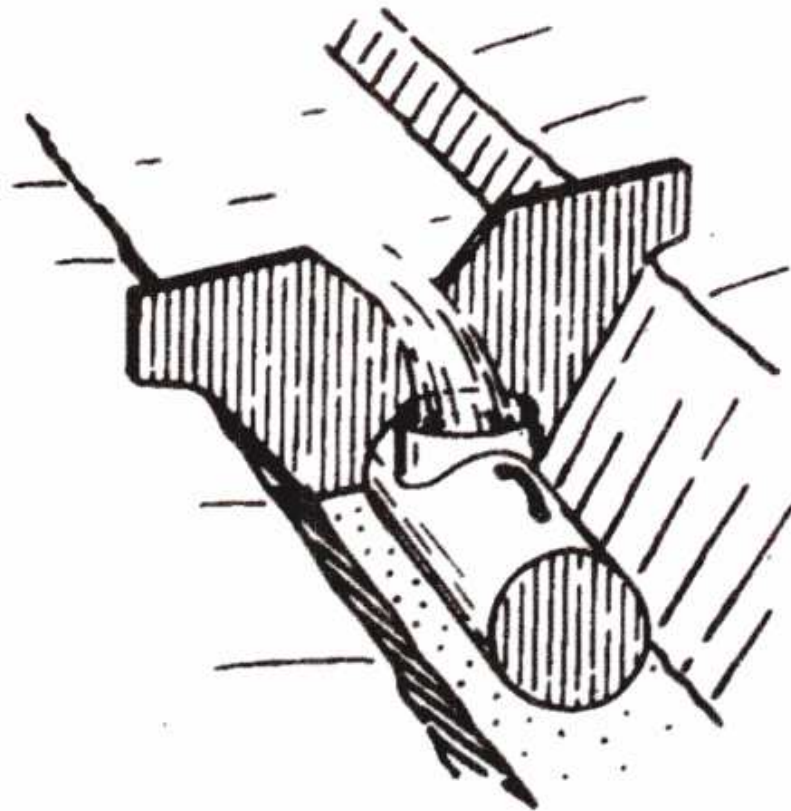
Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK Praha



Metody měření průtoků

- **I. Přímé měření průtoků - kalibrované nádoby**
- **II. Hydrometrická vrtule**
- **III. Plováková metoda**
- **IV. Chemická (směšovací) metoda**
- **V. Konzumpční (měrná) křivka**
- **VI. Měrné přepady (přelivy)**
- **VII. Hydrotechnický výpočet**

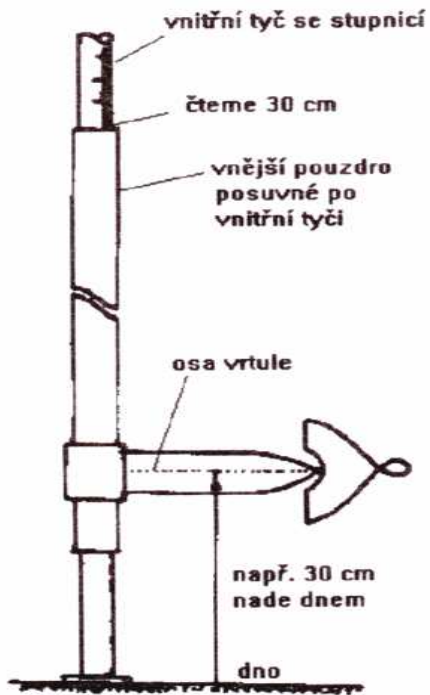
I. Přímé měření průtoků - kalibrované nádoby



- $Q = V / t$

V.....objem vody, t.....čas

- velice přesná metoda !!!
- využití: menší vydatnosti malých pramenů
- automaticky sklopné nádoby - nepřetržité měření malých průtoků



II. Hydrometrická vrtule

- tekoucí voda svým dynamickým účinkem otáčí vrtuli rychlostí úměrnou rychlosti vodního proudu
- využití: větší průtok, nedostatek spádu
- podmínka použití: možnost určit průtočný průřez
- měření počtu otáček n_s (počet měrných bodů ve svislici a jejich výška nade dnem):

- hloubka $< 0,5$ m \rightarrow 1 bod...0,4h
- $0,5$ m \leq hloubka ≤ 1 m \rightarrow 2 body...0,2h 0,8h
- hloubka > 1 m \rightarrow 5 bodů...dno 0,2h 0,4h 0,8h povrch

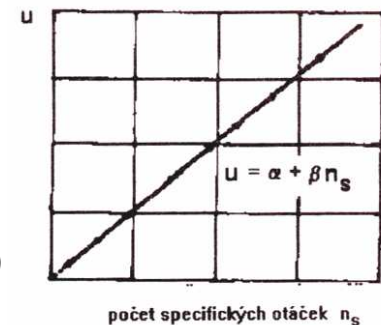
- určení střední svislicové rychlosti v :

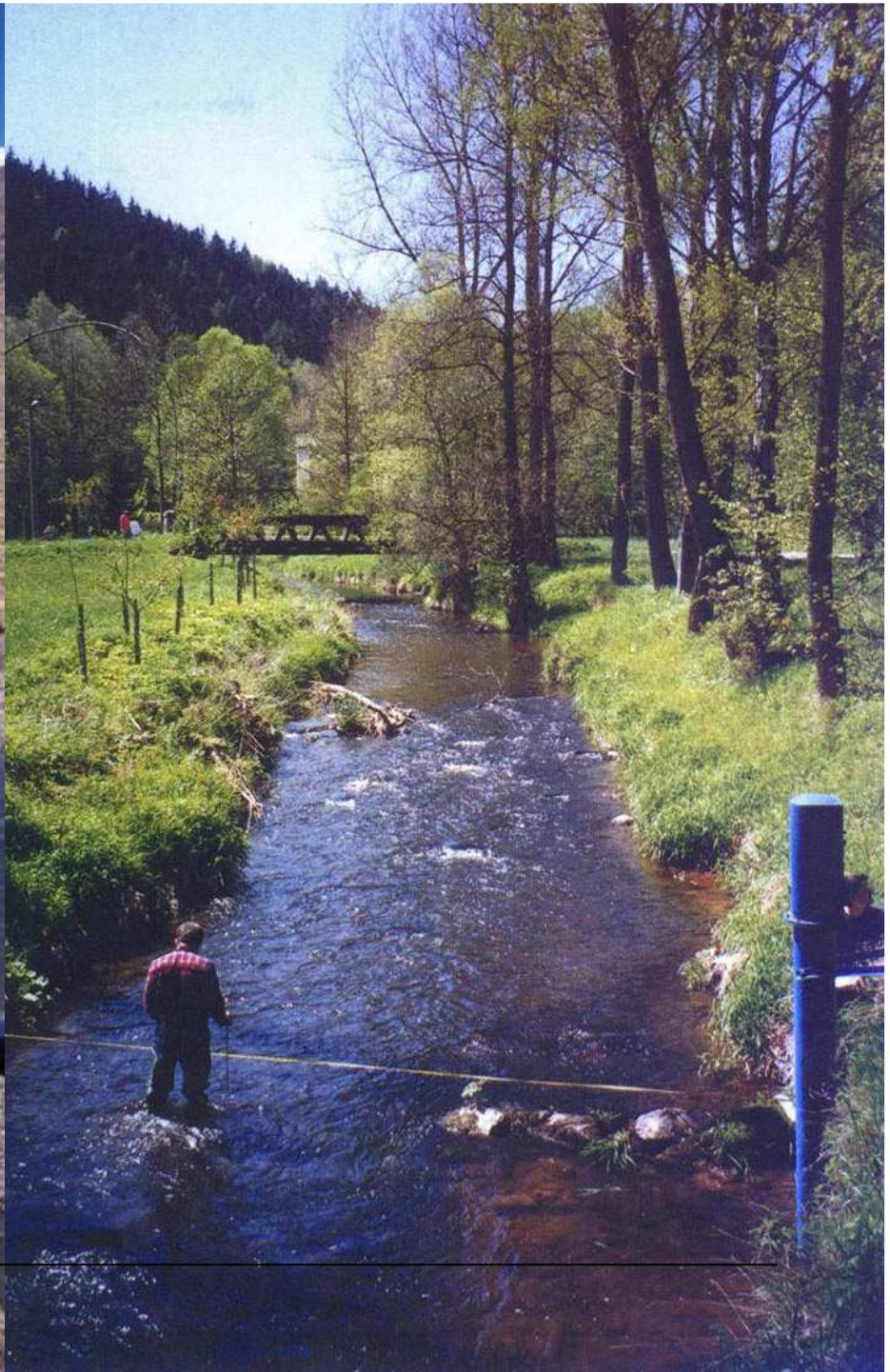
$$v = a + b \cdot n_s$$

vprůtoková rychlost

a, bkoeficienty tření

n_sspecifický počet otáček (počet otáček za 1 s)

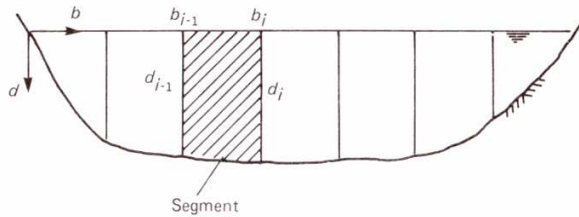




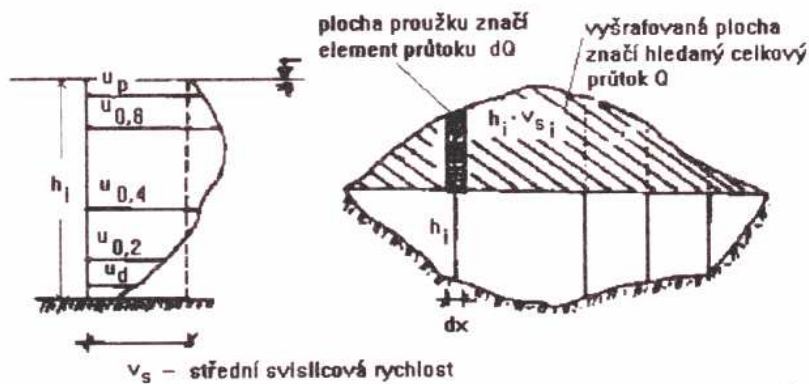
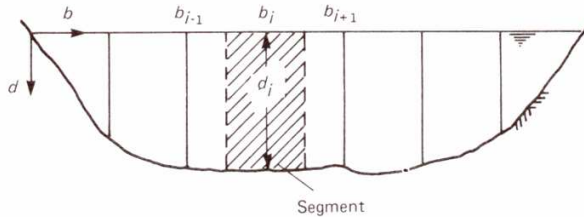
Hydrometrie - určování průtoků

Výpočet průtoku

Mean section method



Mid-section method



1. metoda graficko-početní

$$Q = \Sigma (F_i \cdot V_i)$$

b....šířka úseku

d....hloubka svislice

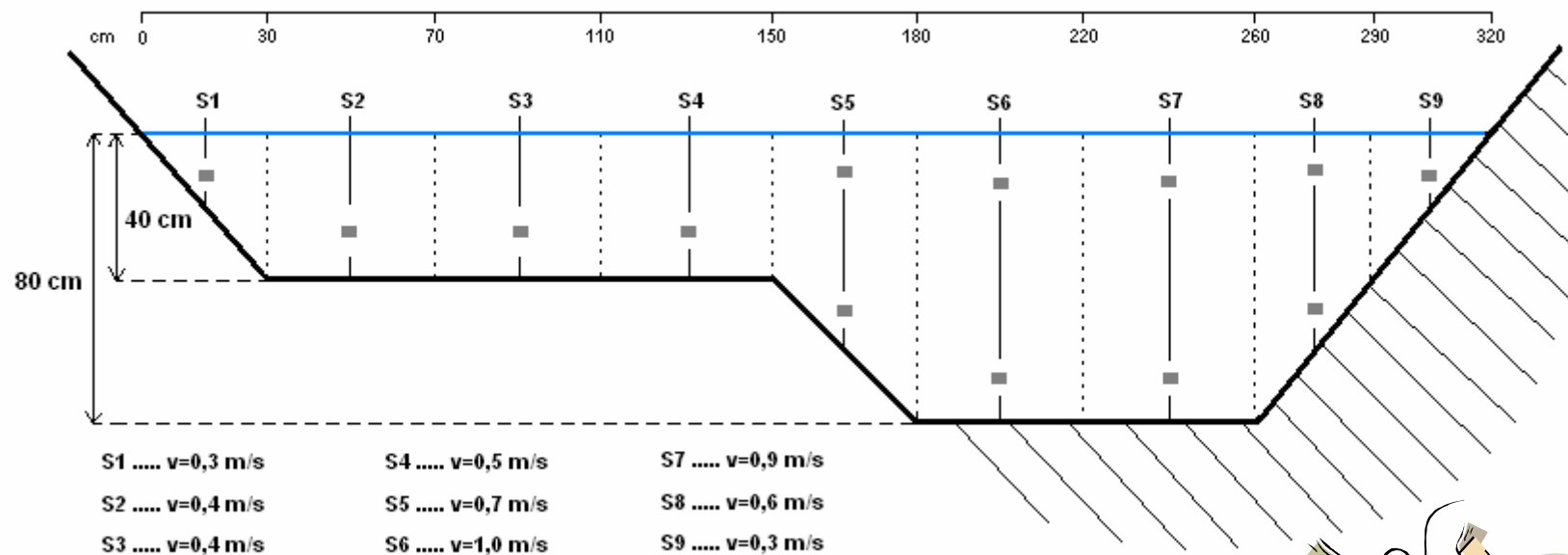
F_idílčí plocha

v_iprůtoková rychlost ve svislici

2. metoda grafická

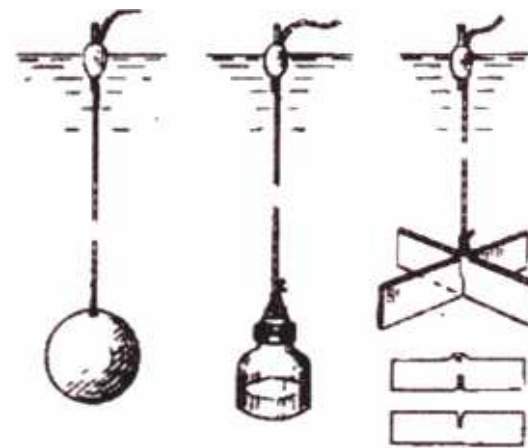
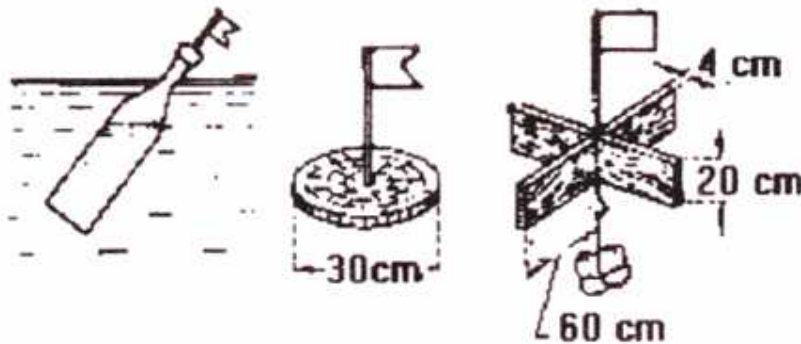
$$Q = F \cdot V_s$$

Výpočet průtoku metodou graficko-početní



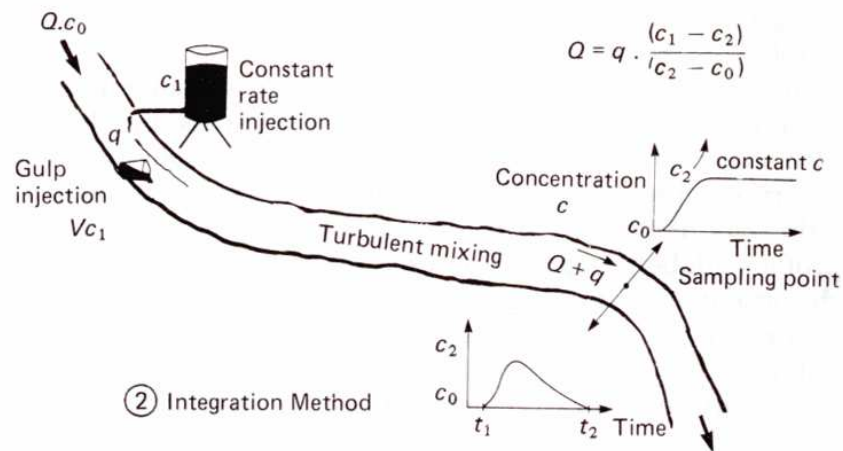
III. Plováková metoda

- předpoklad: plovák se v proudu vody pohybuje rychlostí okolních částic vody
- využití: povodňové průtoky, značný chod plavenin a splavenin apod.
- + jednoduchost × - menší přesnost
- délka úseku 5 - 10 m (minimálně 10 s)
- měření povrchových rychlostí - plováky pro měření povrchových rychlostí
- koeficient drsnosti koryta
- určení středních svislicových rychlostí - tzv. hlubinné plováky - přesnější určení
- $Q = F \cdot v_s$
 $v_s = (v_1 + v_2 + v_3) / 3$



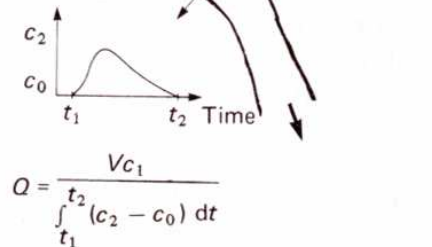
IV. Chemická (směšovací) metoda

① Constant Injection Method

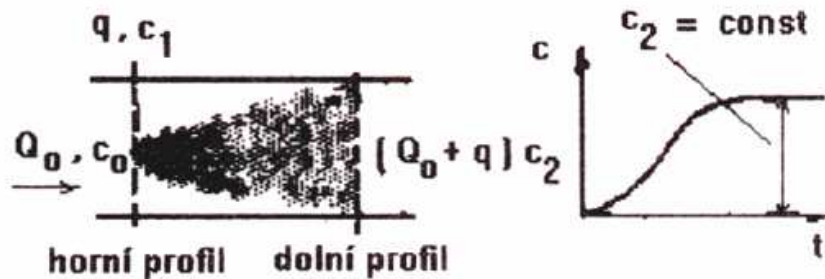


$$Q = q \cdot \frac{(c_1 - c_2)}{(c_2 - c_0)}$$

② Integration Method



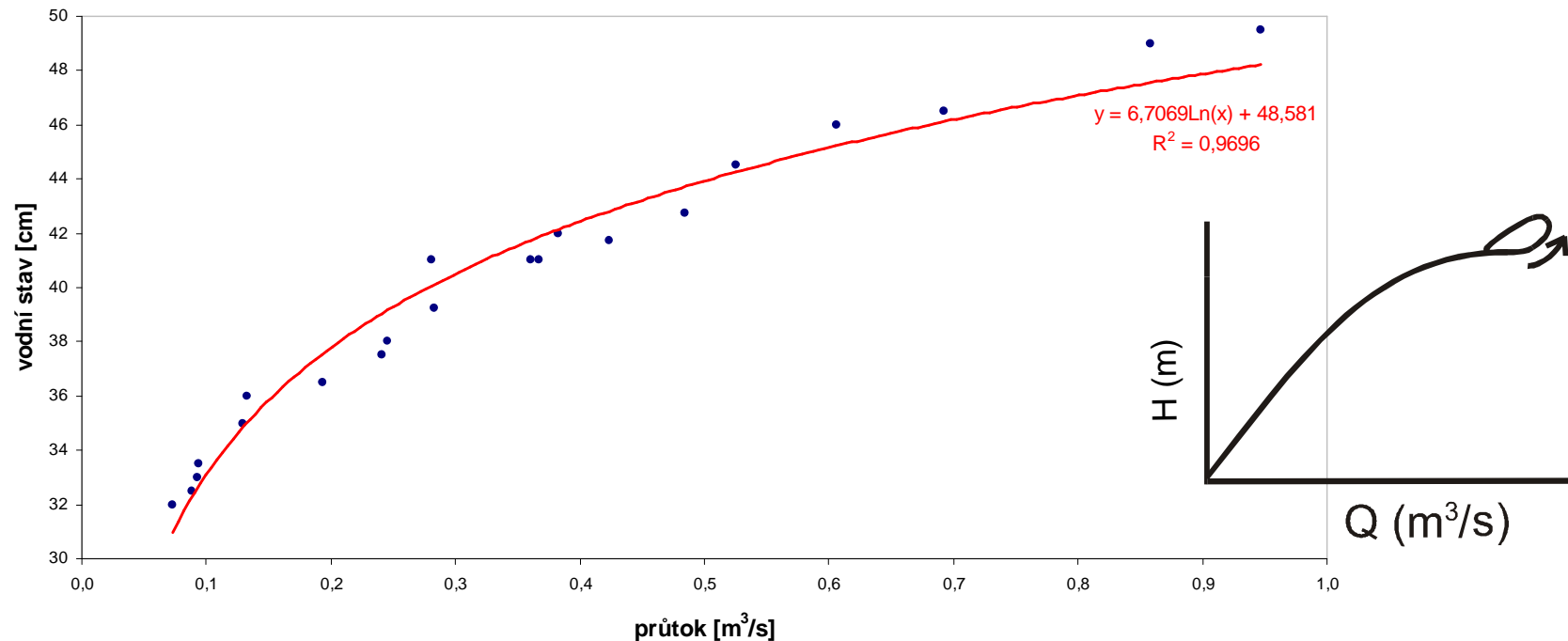
$$Q = \frac{Vc_1}{\int_{t_1}^{t_2} (c_2 - c_0) dt}$$



- stanovení rozdílu koncentrací - roztok soli (příp. jiného indikátoru) známé koncentrace, přidávaný do toku rovnoměrně, se ředí úměrně velikosti průtoku => stupeň zředění roztoku je i mírou množství rozpouštědla, tj. protékající vody
- využití: horské bystřinné toky s turbulentním prouděním (důležité promísení indikované látky !!!)
- nepřesná metoda
- $Q_1 \cdot c_1 = Q_2 \cdot c_2$ $Q_1, Q_2 \dots$ průtoky
 $Q_2 = Q_1 \cdot c_1 / c_2$ $c_1, c_2 \dots$ koncentrace

V. Konzumpční křivka (měrná křivka průtoků)

Konzumpční křivka - Jezerní potok nad soutokem s Řeznou



- závislost mezi vodním stavem a průtokem
- **praktické využití:** odečtení průtoků z křivky bez složitějšího měření ✗ nutno znát vodní stav (limnigraf, vodočet) a tvar konzumpční křivky

Vztah mezi vodními stavy a průtoky

► měrná křivka průtoků

Návrh měrné křivky průtoku - MKP v. 1.00

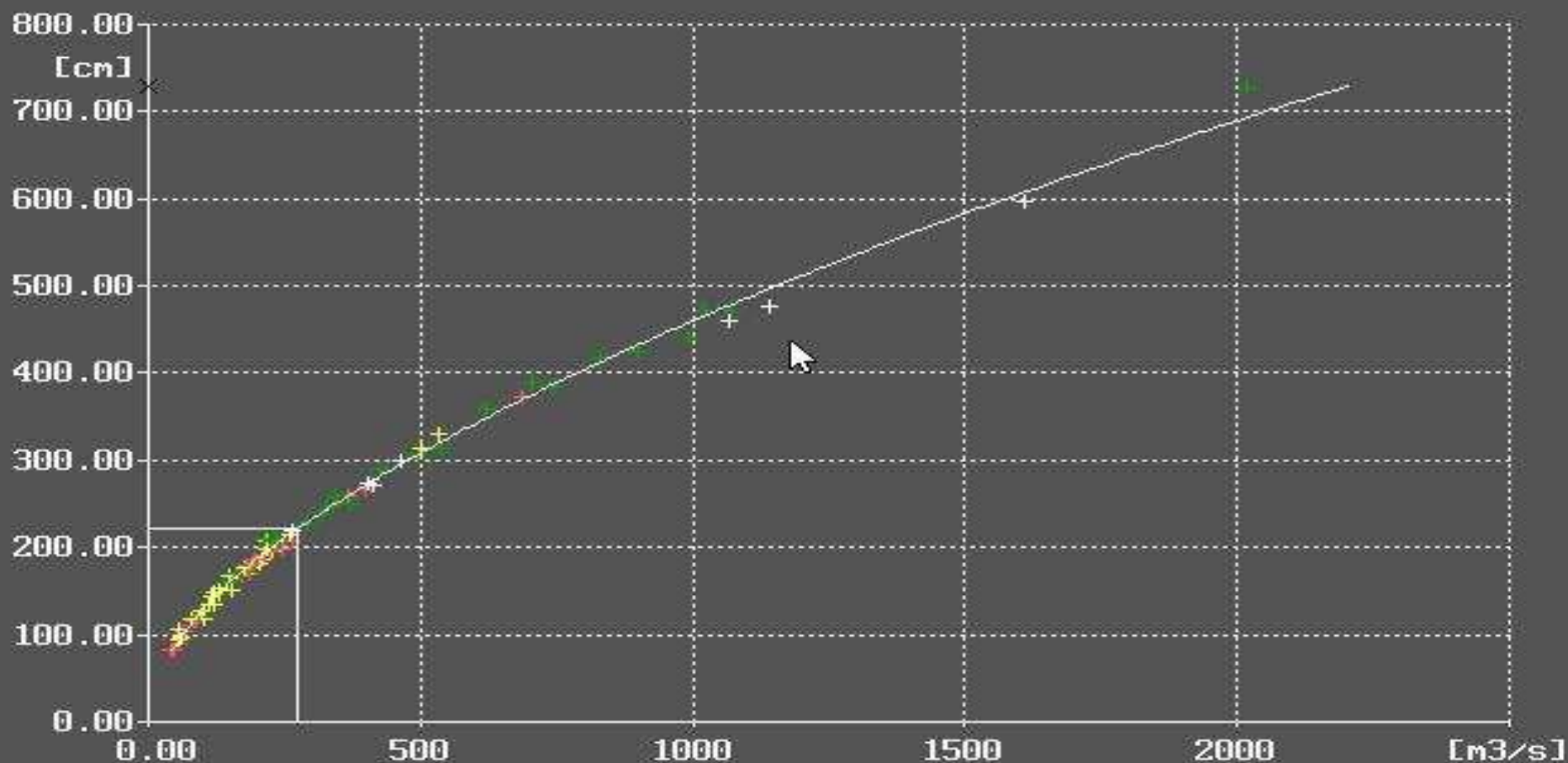
10:38

Nová křivka

Služby

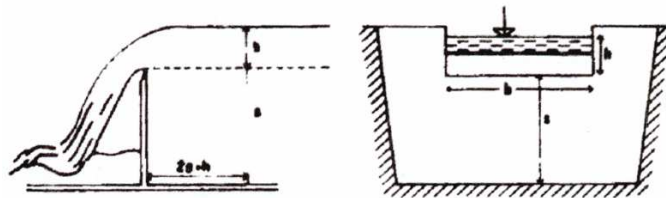
Číslo objektu: 2400

Soubor: HM2400M.DB



Esc-zpět F2-edit F3-kal F4-ulož F5-lupa F6-komp F7-info F8-log F9-Tisk ≡

VI. Měrné přepady (přelivy)

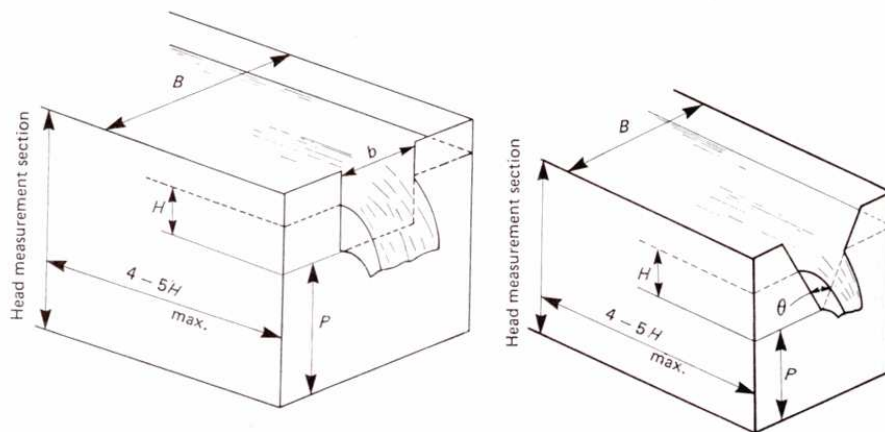


ideální přepad

Ponceletův přepad

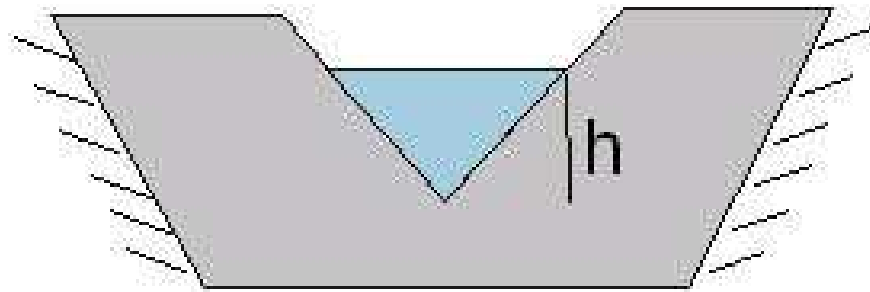


Thomsův přepad

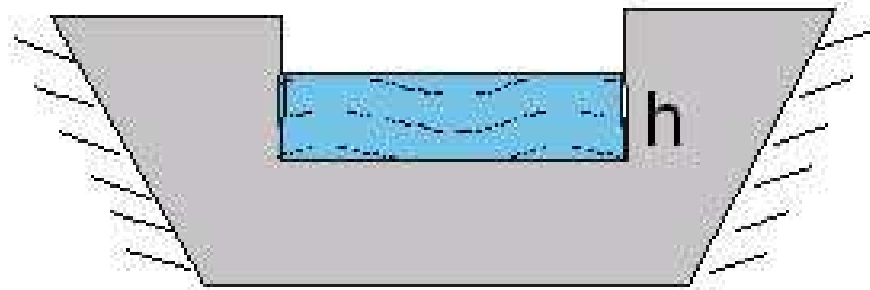


- využití: výzkumná povodí, zpravidla malé rozlohy; potoky s širokým korytem a malými hloubkami
- přesné kontinuální měření průtoků především v uzavěrových profilech
- nejpřesnější metoda !!!
- umístění přepadové stěny
- voda přetéká výřezem ve stěně paprskem
- průtok je odvozený z výšky přepadajícího paprsku vody podle daného vzorce
- různé tvary přepadů

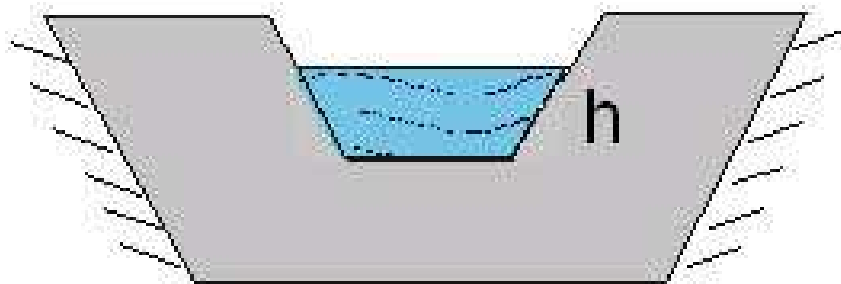
Typy přepadů



Thompsonův



Ponceletův



Cippolettiho

VII. Hydrotechnický výpočet (použití empirických vzorců)

- podmínky: rovnoměrný ustálený pohyb (vhodný výběr úseku, dostatečně krátký časový interval)
- Chézyho rovnice (1775)

$$Q = F \cdot v_s$$

$$v_s = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

v_sstřední průtoková rychlost

cChézyho rychlostní součinitel (závislý na součiniteli drsnosti n)

Rhydraulický radius $R = F / O$ (O ...omočený obvod průtočného průřezu)

Ihydraulický sklon hladiny (nivelety dna, čáry mechanické energie)

využití: mimořádné situace (povodně)

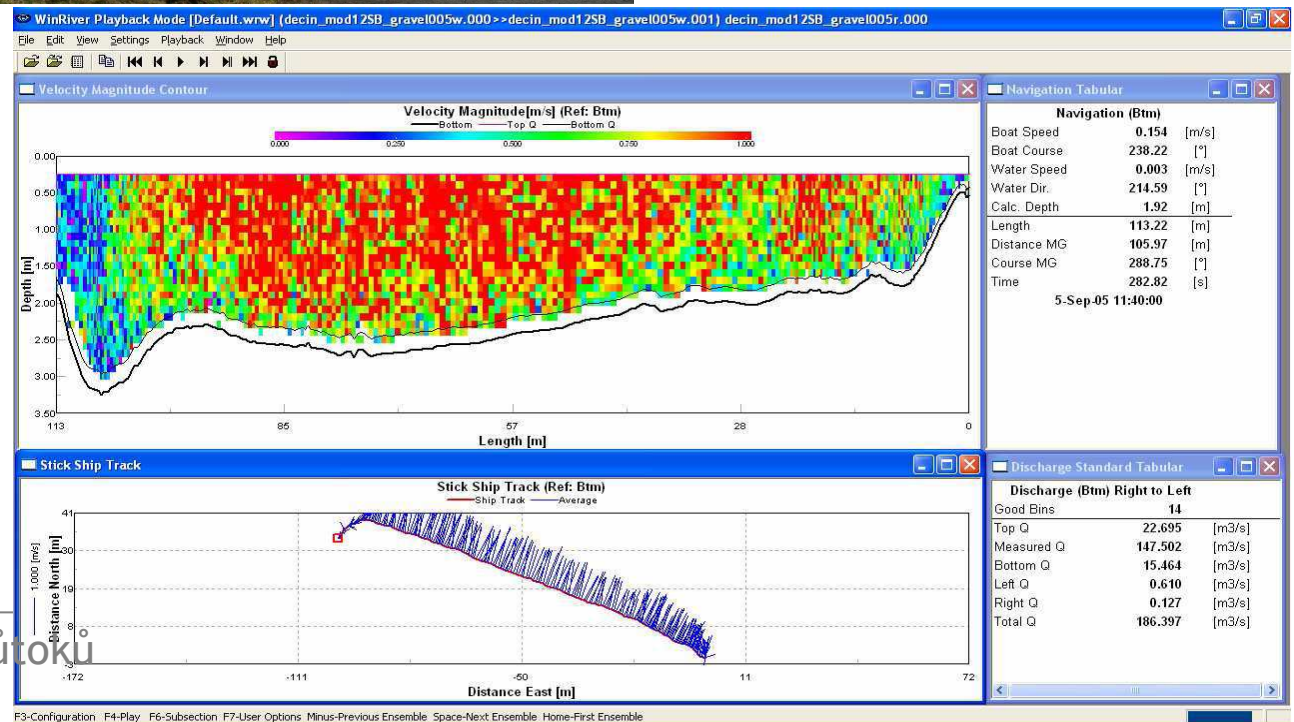
VIII. Metoda ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

- typ sonaru pro záznam rychlosti proudění vody v profilu toku - generování a detekce ultrazvuku
- transduktor (snímač) produkuje zvukové pulsy, které se šíří vodním prostředím v různých, ale známých směrech ve frekvenci v důsledku Dopplerovského efektu
- přístroj WorkHorse Rio Grande - princip ADCP - kontinuální měření rychlostních segmentů v profilu vodního toku s využitím Dopplerova jevu s plně automatizovaným zpracováním
- vodní toky o hloubkách 0,4 - 12 m při rychlostech proudění až do $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- **výhody:** rychlost změření průtoku při zachování požadované přesnosti (několik minut)
- **dosažení optimálních výsledků změřeného průtoku**
 - podle charakteru toku před měřením nastavit *parametry toku v měrném profilu*: vodní mód (typ proudění), velikost měřeného segmentu (buňky) (5-50 cm) → profil soustavou buněk se změřenými vektory rychlostí
- software komunikující se systémem ADCP - 4 komponenty: čidlo (sonda), plastový plovák (člun) katamaránové konstrukce, komunikační modem s on-line přenosem, počítač (aplikace WinRiver)

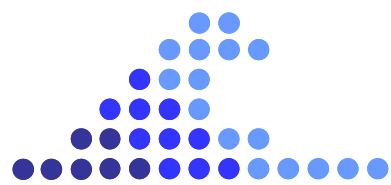




VIII.
Metoda ADCP



Hydrometrie - určování průtoku



HYDROMETRIE

- Hodnocení průtoků -

RNDr. Jan Kocum
kocum1@natur.cuni.cz
konzultační hodiny: dle dohody
Albertov 6, 128 43 Praha 2
tel. +420221951350



Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK Praha



Příčiny změn průtoků v čase

- časové rozložení odtoku z povodí souvisí se zdroji vodnosti řek:
 - voda z dešťů
 - voda z periodické sněhové pokrývky
 - voda z ledovců a trvalé sněhové pokrývky (nad sněžnou čarou)
 - podzemní voda
 - ▶ podíl každého z nich může být různý a svým množstvím proměnlivý, je závislý na vlastnostech povodí
- hlavní prvky režimu průtoků:
 - velikost změn průtoků
 - časový průběh změn průtoků
 - četnost výskytu a rozkolísanost průtoků

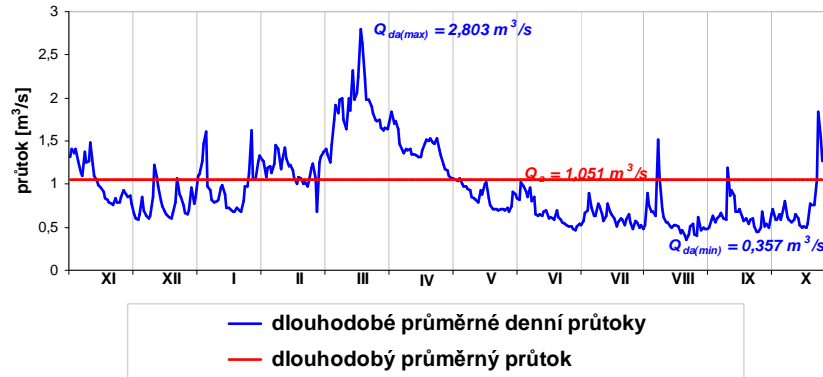
Změny průtoků v průběhu dne

- pravidelné a výrazné - pramenné úseky řek, jejichž hlavním zdrojem vodnosti je voda z horských ledovců = **ledovcový režim průtoků** (např. Kavkaz) - ↓ konec noci, svítání, ↑ odpolední hodiny
- horské bystřiny v ČR - až pětinasobná změna průtoku během dne

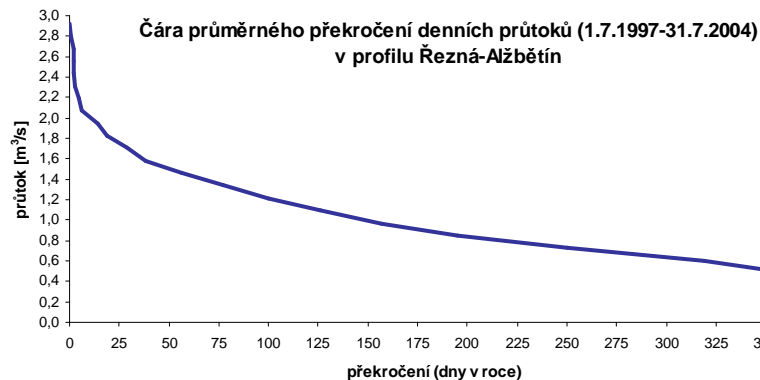


Denní průtoky

Vývoj dlouhodobých průměrných denních průtoků
(1.7.1997-31.7.2004) v profilu Řezná-Alžbětín



- proměnlivost denních průtoků (Q_d) → **čáry průtoků** (variační rozpětí, rychlost změn a četnost jejich výskytu, míra rozkolísanosti)
- rozkolísanost Q_d vyjadřují i tvary čar **překročení Q_d** (čára kumulativních četností; pro jednotlivé roky i pro řadu roků (průměrné překročení))



- m-denní průtoky** - průtoky dosažené nebo překročené *m* dní v roce (např. Q_{30} , $Q_{182,5}$ (obyčejný průtok = *medián*), Q_{355} , průtok nejčastěji se vyskytující = *modus*)
- Q_a - dlouhodobý průměrný průtok ($Q_d/Q_a \gg 1$)
nevýhoda - rozdílná vodnost řeky =>

=> **statistické míry variability**

Statistické míry variability denních průtoků

- **decilová odchylka D** - průměr odchylek jednotlivých sousedních decilů m -denních průtoků (tj. hodnot průtoků, které rozdělují uspořádanou řadu denních průtoků na deset skupin o stejném počtu členů)

$$D = \frac{Q_{30} - Q_{330}}{10}$$

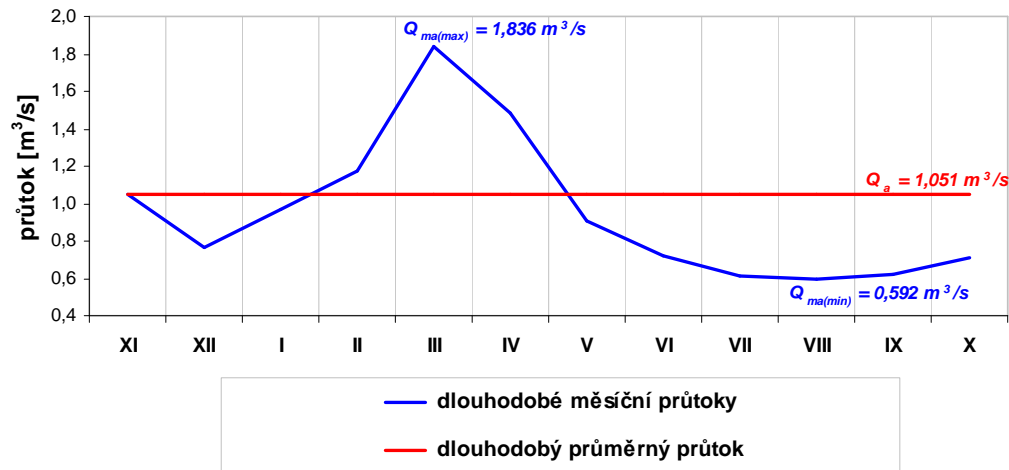
- s ohledem na rozdílnou vodnost řek je třeba použít relativní variaci →

- **variační koeficient C_v** - poměr směrodatné odchylky jako míry absolutní variability (δ) ku aritmetickému průměru souboru Q_d (Q_a)

$$C_v = \frac{\sqrt{\frac{\sum (Q_d - Q_a)^2}{n}}}{Q_a}$$

Měsíční průtoky

Dlouhodobé průměrné měsíční průtoky
v profilu Řezná-Alžbětín (1.7.1997-31.7.2004)



koeficient K_r

$$K_r = \frac{\sum |p_i - 8,3|}{8,3}$$

kde: p_i procentuální podíl
každého z měsíců na
ročním odtoku
8,3.....průměrný podíl
každého z měsíčních
odtoků ($100/12 = 8,3$)

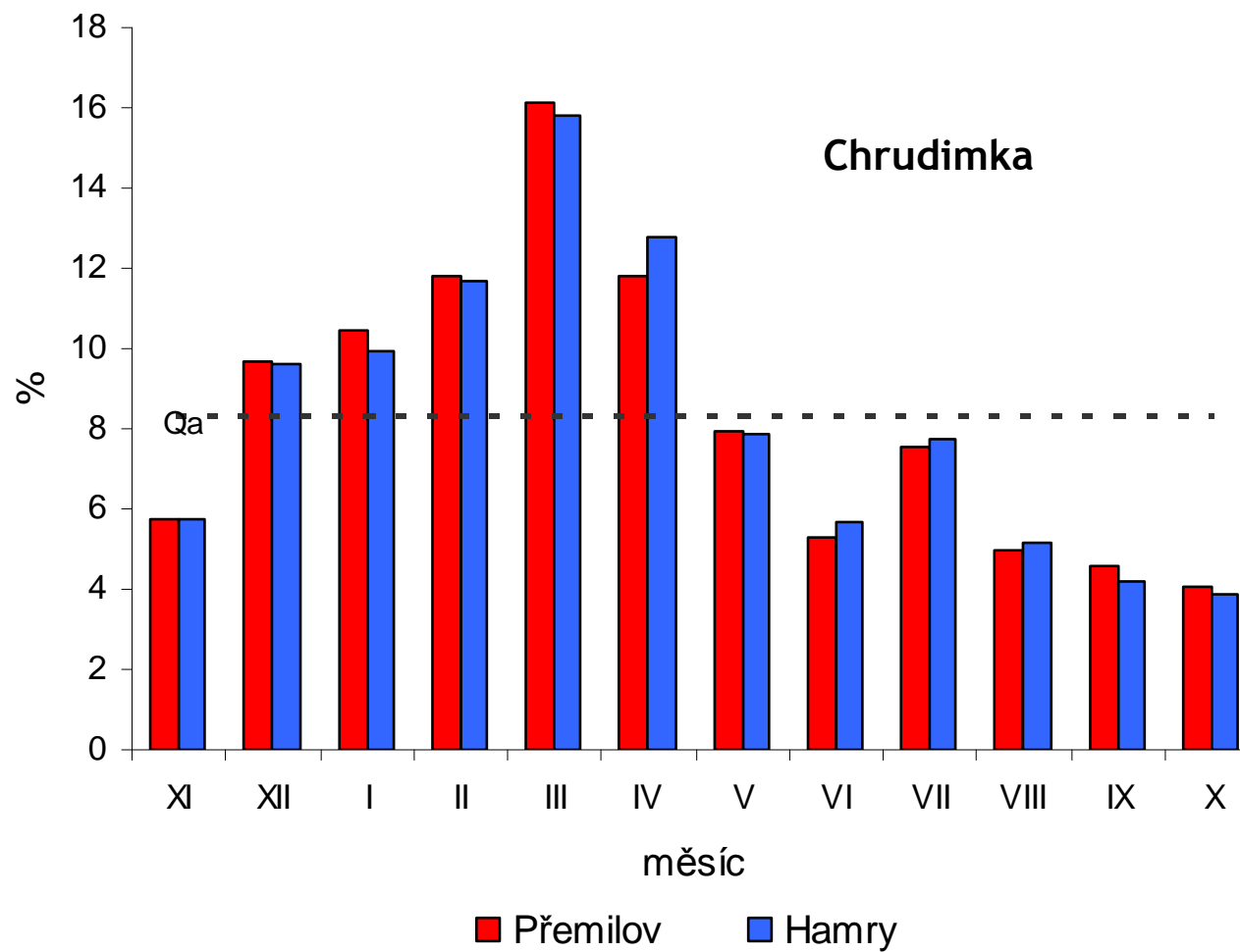
$$0 < K_r < 22$$

$K_r = 0 \rightarrow$ ideálně vyrovnaný odtok

analogicky k $C_v \rightarrow C_m = \sqrt{\frac{\sum (Q_m - Q_a)^2}{n}} / Q_a$

procentuální podíl odtoku připadající na jedno roční období	charakteristika odtoku
20 - 30 %	vyrovnaný
30 - 50 %	mírně nevyrovnaný
50 - 80%	značně nevyrovnaný
> 80 %	velmi nevyrovnaný

Podíl měsíčních odtoků na celkovém ročním odtoku



Variability index

Jezerní Brook

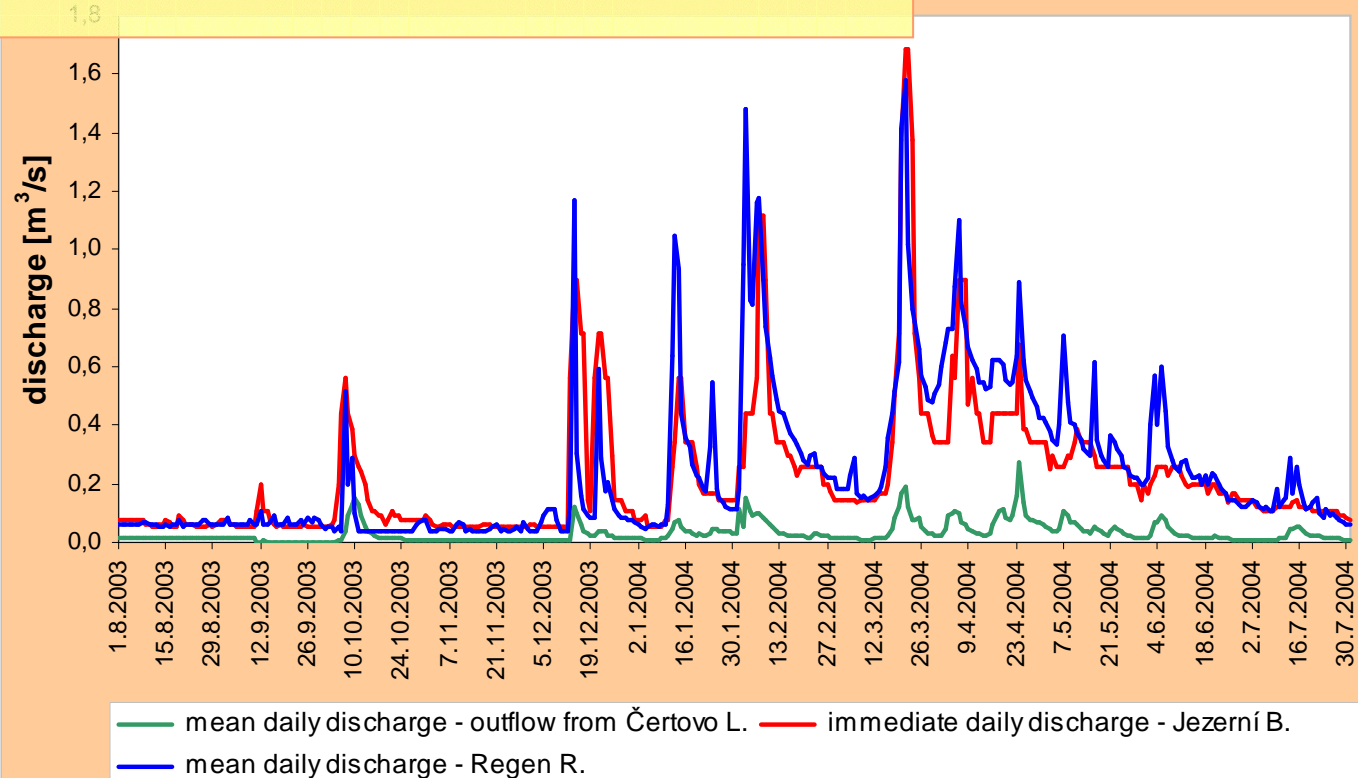
daily discharges
monthly discharges

$$C_v = \delta / Q_a = \{[\sum(Q_d - Q_a)^2] / n\}^{1/2} / Q_a = \underline{1,044}$$
$$K_R = (\sum / \pi i - 8,3 /) / 8,3 = \underline{6,53}$$
$$C_m = \delta / Q_a = \{[\sum(Q_m - Q_a)^2] / n\}^{1/2} / Q_a = \underline{0,627}$$

Regen River - Alžbětín

daily discharges
monthly discharges

$$C_v = \delta / Q_a = \{[\sum(Q_d - Q_a)^2] / n\}^{1/2} / Q_a = \underline{1,071}$$
$$K_R = (\sum / \pi i - 8,3 /) / 8,3 = \underline{7,84}$$
$$C_m = \delta / Q_a = \{[\sum(Q_m - Q_a)^2] / n\}^{1/2} / Q_a = \underline{0,775}$$



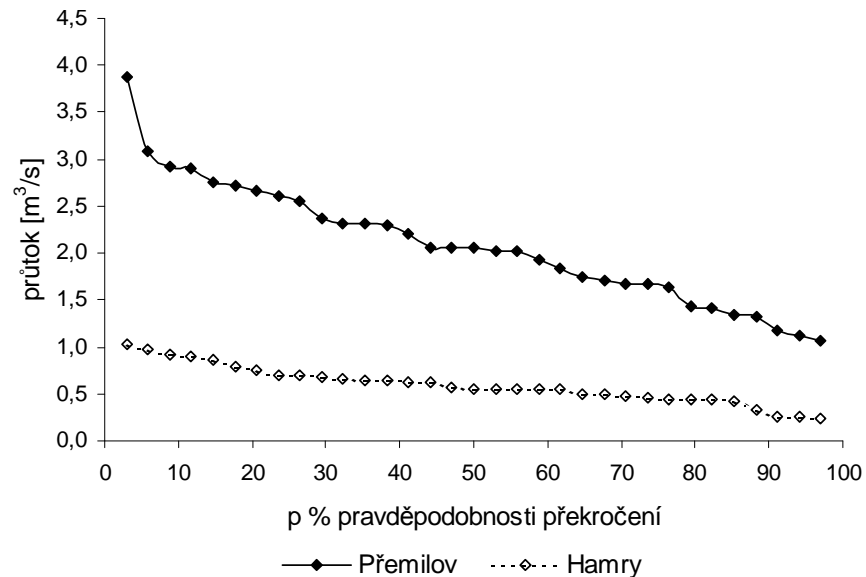
Roční průtoky

Pravděpodobnost překročení ročních průtoků

$$p [\%] = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100$$

mpořadové číslo ročních průtoků
uspořádaných sestupně
podle velikosti
 npočet členů řady ročních průtoků

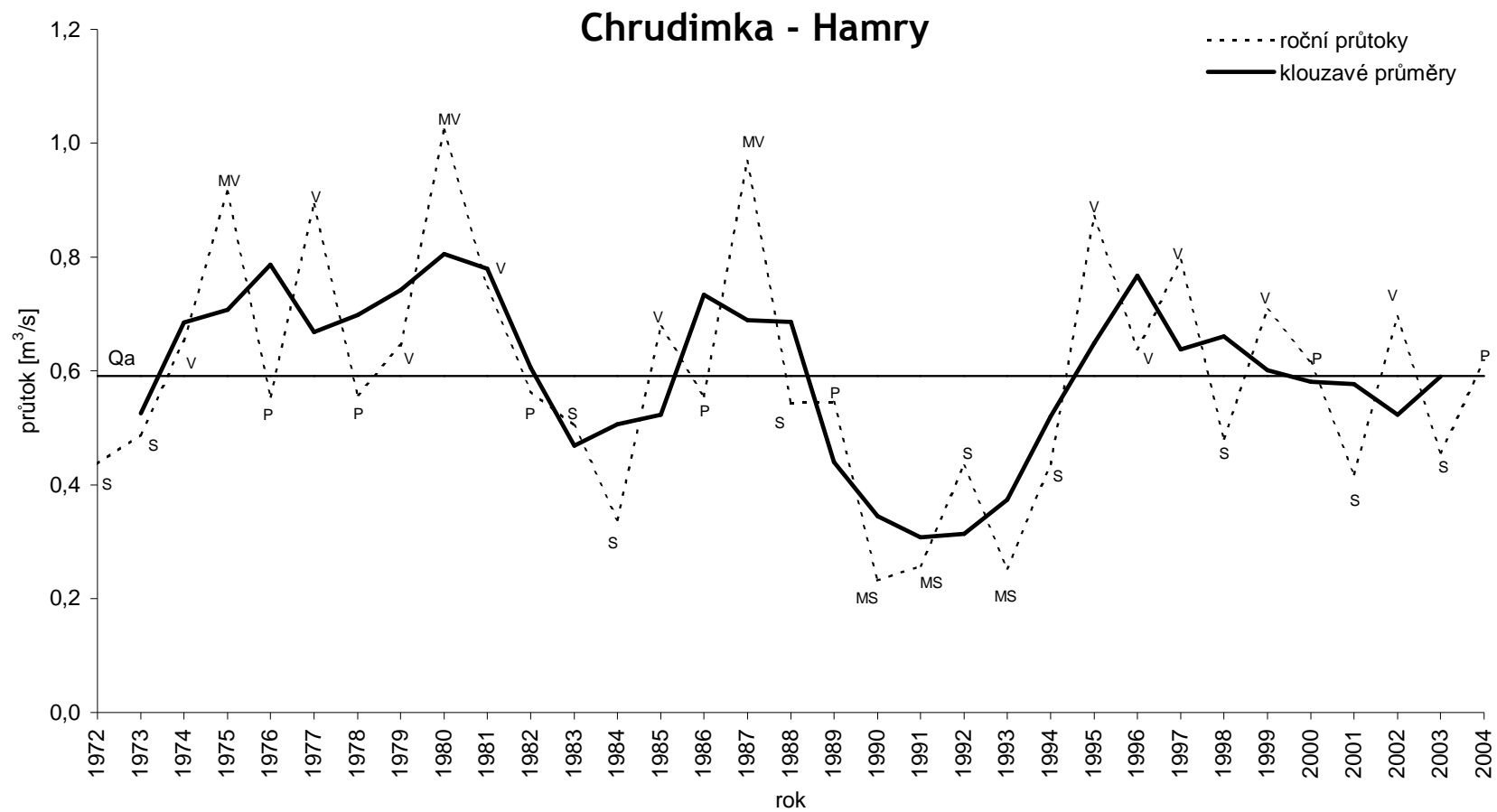
Křivka překročení ročních průtoků



Klasifikace vodnosti roků podle p %

p %	míra vodnosti řek	
0 - 10	mimořádně vodný rok	MV
11 - 40	vodný rok	V
41 - 60	průměrně vodný rok	P
61 - 90	málo vodný rok	S
91 - 100	mimořádně málo vodný rok	MS

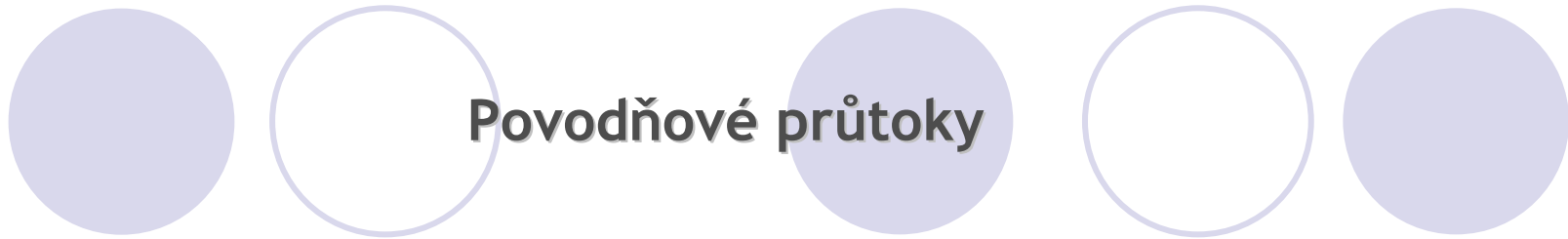
Průměrné roční průtoky a jejich klouzavé průměry spolu s označením míry roční vodnosti řeky





Charakteristiky extrémních hodnot

- **N-leté (maximální) hodnoty** - největší hodnoty dosažené nebo překročené průměrně 1krát za N let (např. Q_{100} je stoletý (maximální) průtok, tj. okamžitý průtok, který je dosažen nebo překročen průměrně 1krát za 100 let)
- **N-leté minimální hodnoty** - minimální hodnoty dosažené nebo nedostoupené průměrně 1krát za N let (např. $Q_{\min, 50}$ je padesátiletý minimální průtok, tj. průměrný denní průtok, který je dosažen nebo nedostoupen průměrně 1krát za 50 let)

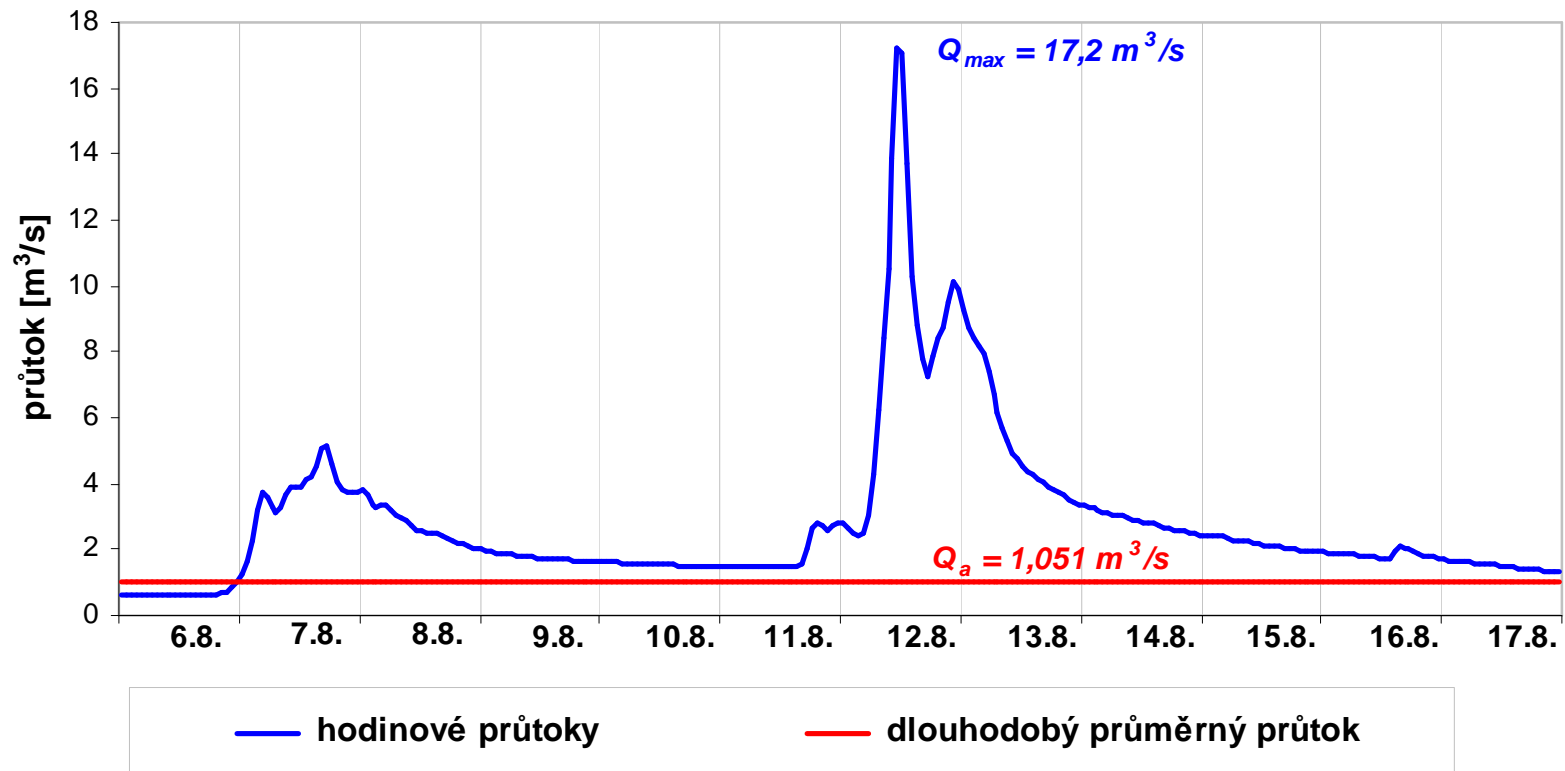


Povodňové průtoky

- **Povodeň** - výrazné stoupnutí hladiny řeky způsobené náhlým zvětšením průtoku nebo zmenšením průtočnosti koryta (ČSN 736511)
 - z dešťů, tání sněhu, tání ledovců a trvalé sněhové pokrývky nebo vyvolané přirozeným vzduutím hladiny bez výrazného zvýšení Q (ledové bariéry, nápěchy, účinek větru v nálevkovitých ústích při pobřezích moří) → větš. kombinace
- **Povodňové vlny** jsou charakterizovány:
 - a) *časovým průběhem* - graficky
 - tabelárně
 - b) *souhrnnými číselnými charakteristikami* - kulminačním průtokem
 - objemem povodně
 - trváním povodně
 - dobou vzestupu
 - různými charakteristikami tvaru vlny

Povodňové průtoky

Vývoj hodinových průtoků v profilu Řezná-Alžbětín
během katastrofických povodní ve dnech 6.8.-17.8.2002





Malé průtoky (režim malých vodností)

- **Malé průtoky** jsou charakterizovány následujícími hodnotami:
 - a) absolutní minimum (Q_{min}) - nejmenší denní průtok v celém období (→ absolutní minimální specifický odtok)
 - b) průměrný roční minimální průtok (Q_{amin}) - aritmetický průměr řady ročních minimálních průtoků (Q_{rmin})
 - c) suché období - alespoň tři po sobě následující dny, jejichž průměrný průtok dosáhl hodnoty Q_{355} nebo byl nižší
 - d) doba přerušeni průtoků - úplné přerušeni odtoku vody z povodí, tedy i vody podzemní



Literatura - výběr

- DUB, O. (1957): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, n. p., Bratislava, 1963, 528 s.
- HENDL, M., LIEDTKE, H. (1997): Lehrbuch der Allgemeinen Physischen Geographie. J. P. Verlag, Gotha.
- KELLER, R. (1962): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. B.G.T. Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- KEMEL, M. (1991): Hydrologie, 3. přeprac. vydání. Vydavatelství ČVÚT, Praha, 222 s.
- KEMEL, M. (1996): Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Vydavatelství ČVÚT, Praha, 2000, 290 s.
- NETOPIIL, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha, 273 s.
- SHAW, E. M. (1994): Hydrology in practice. Chapman & Hall, London, 569 s.
- ČSN 75 1400 - Hydrologické údaje povrchových vod. Český normalizační institut, 1997.