

ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

I. PŘEDNÁŠKA

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Schwartz, F. W. – Zhang, H. (2003): Fundamentals of ground water. John Wiley and Sons, Inc.

Šrámek, O. – Kuchovský, T. (2003): Základy hydrogeologie . Skripta PřF MU v Brně.

Domenico, P. A. – Schwartz, F. W. (2000): Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley and Sons, Inc.

Fetter, C.W. (1994): Applied Hydrogeology, 3rd Edition, Prentice Hall, New York.

Freeze, R. A. – Cherry, J. A. (1979): Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Šilar, J. – Pačes, T. – Dovolil, M. – Sarga, K. (1983): Všeobecná hydrogeologie, SPN Praha.

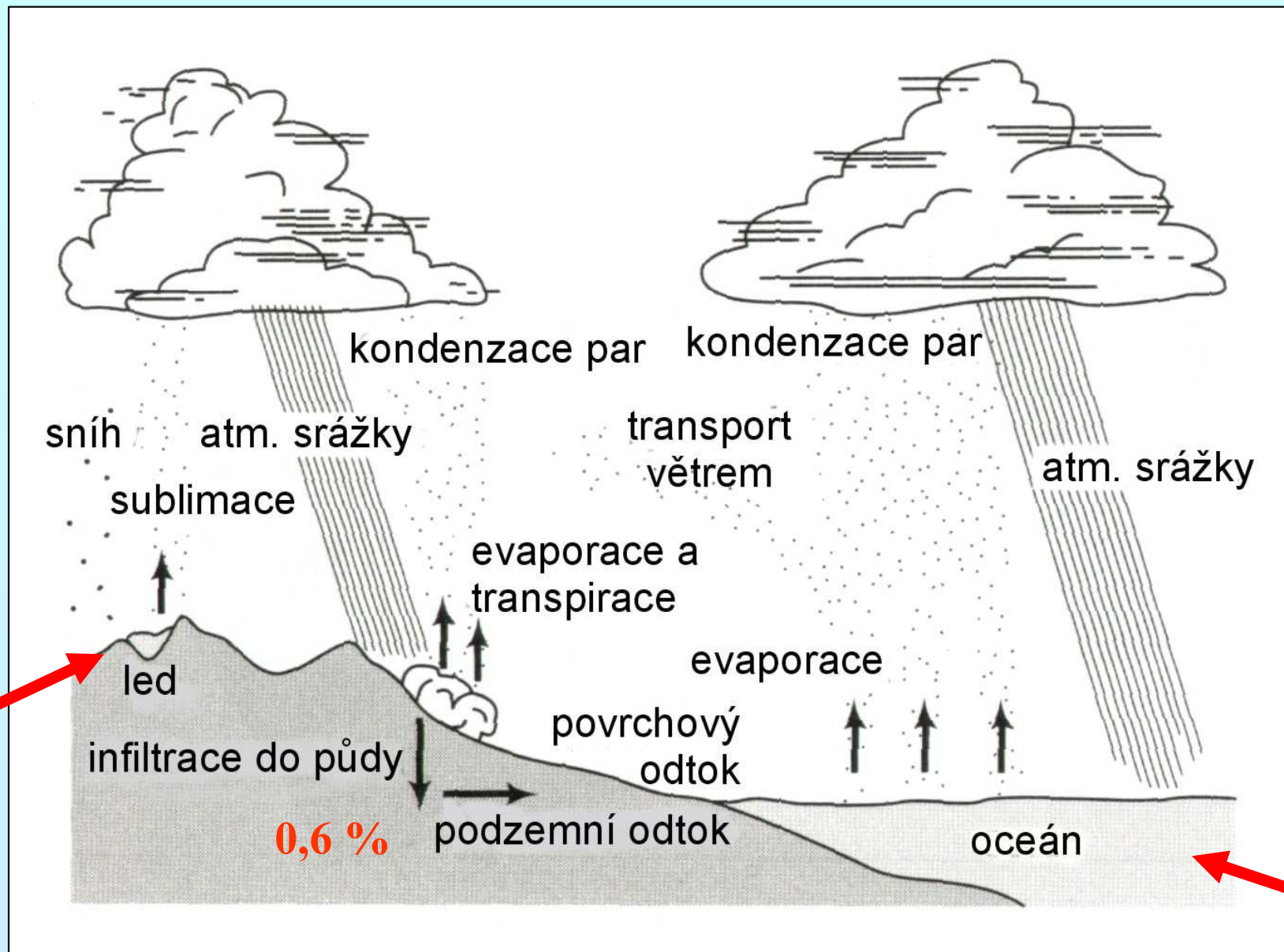
Šilar, J. (1996): Hydrologie v životním prostředí, učební texty projektu PHARE, UJEP Ústí nad Labem.

POZICE HYDROGEOLOGIE

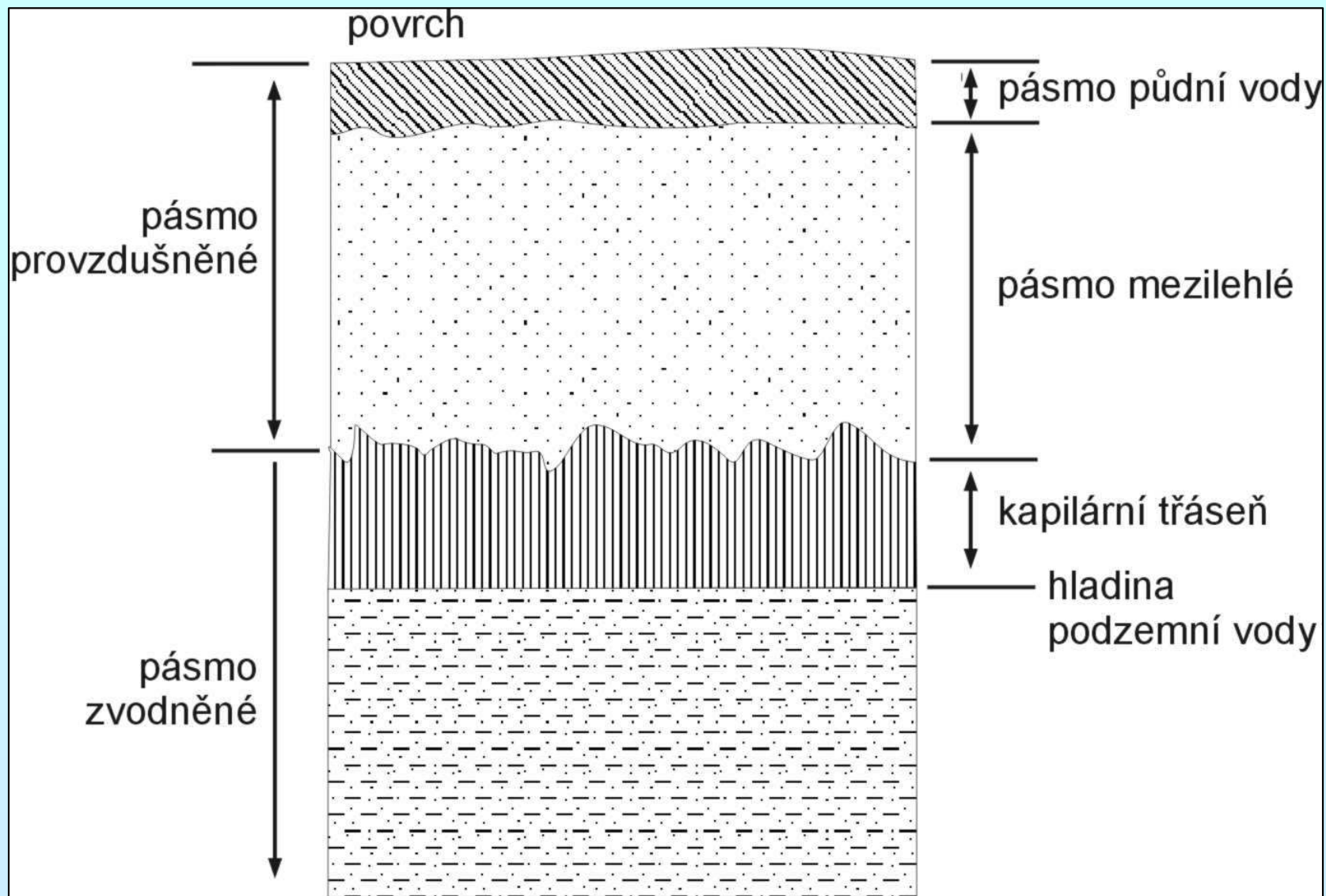
MEZI OSTATNÍMI VĚDAMI

interdisciplinární věda

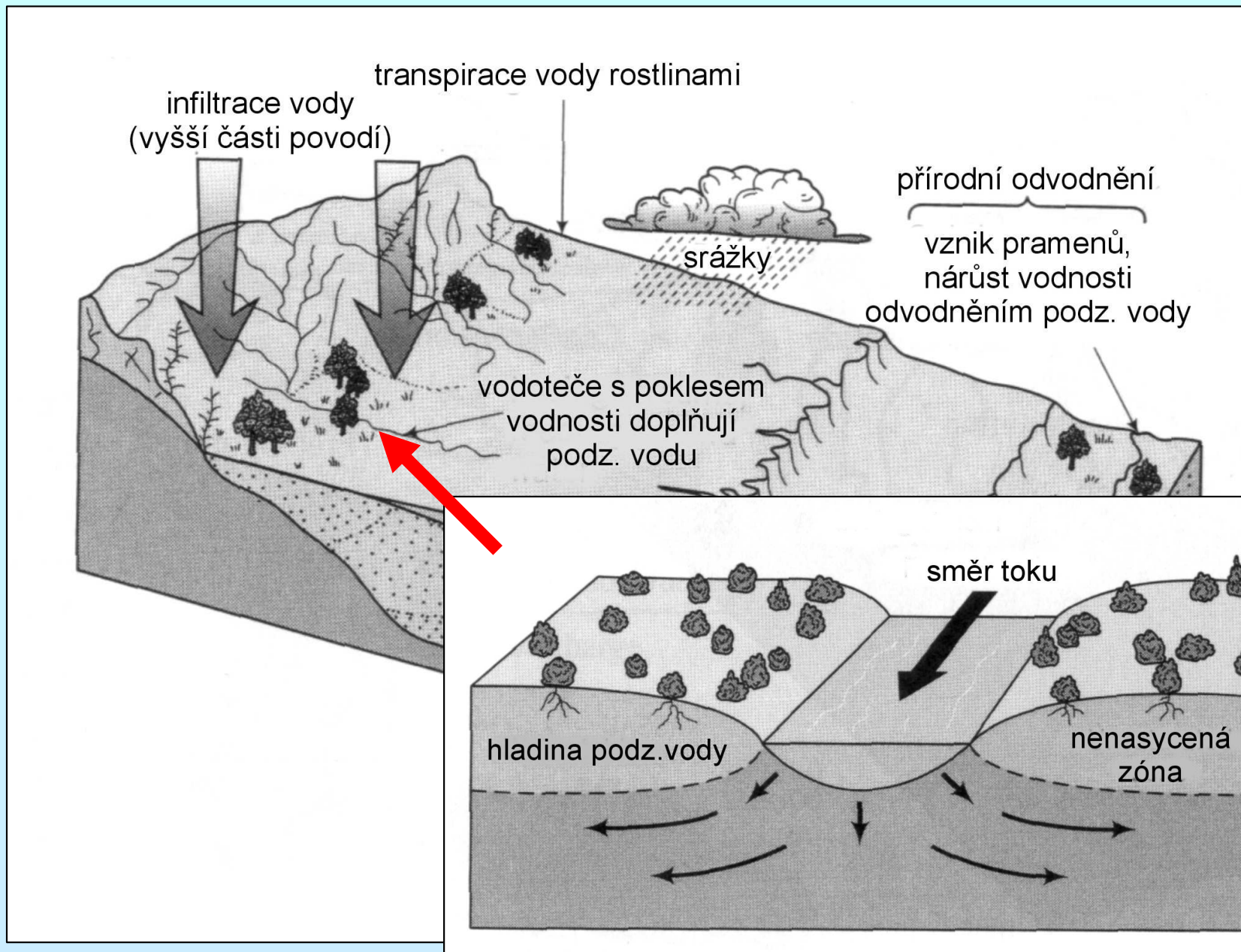
- geologie
- hydrologie
- matematika
- chemie
- fyzika



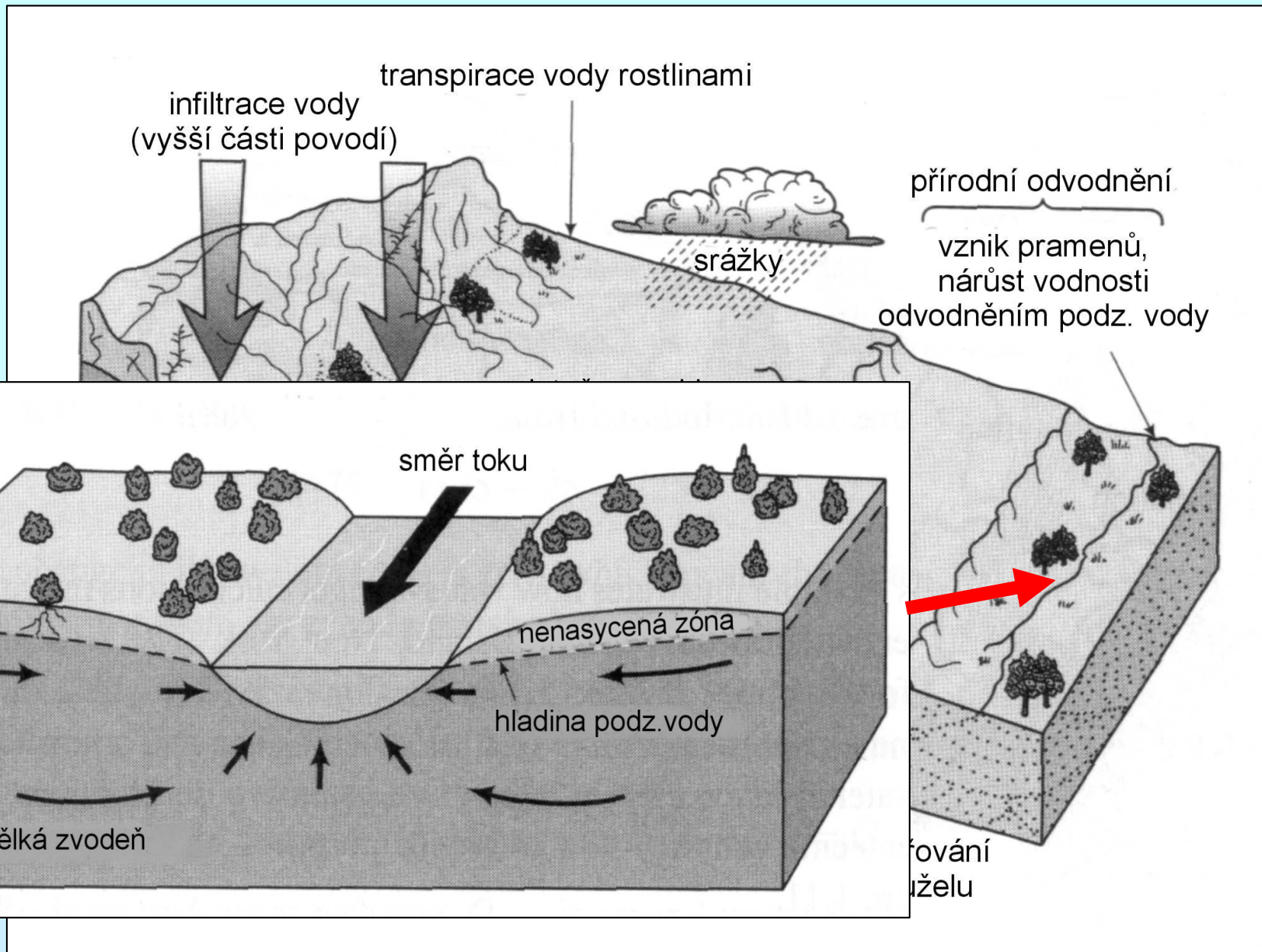
Podzemní voda a hydrologický cyklus



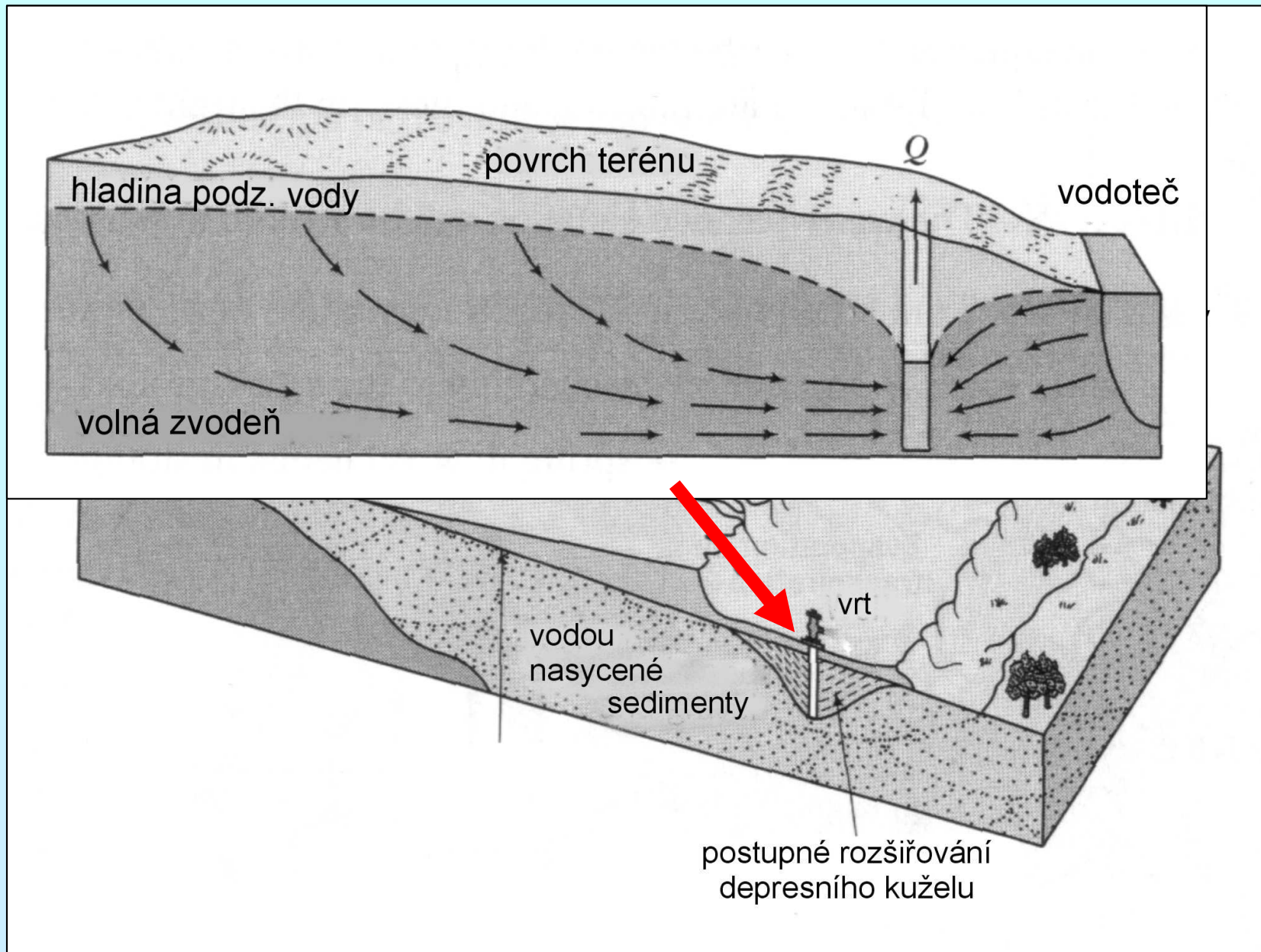
zóny výskytu podzemní vody



Hlavní složky oběhu vody v povodí



Hlavní složky oběhu vody v povodí



Hlavní složky oběhu vody v povodí

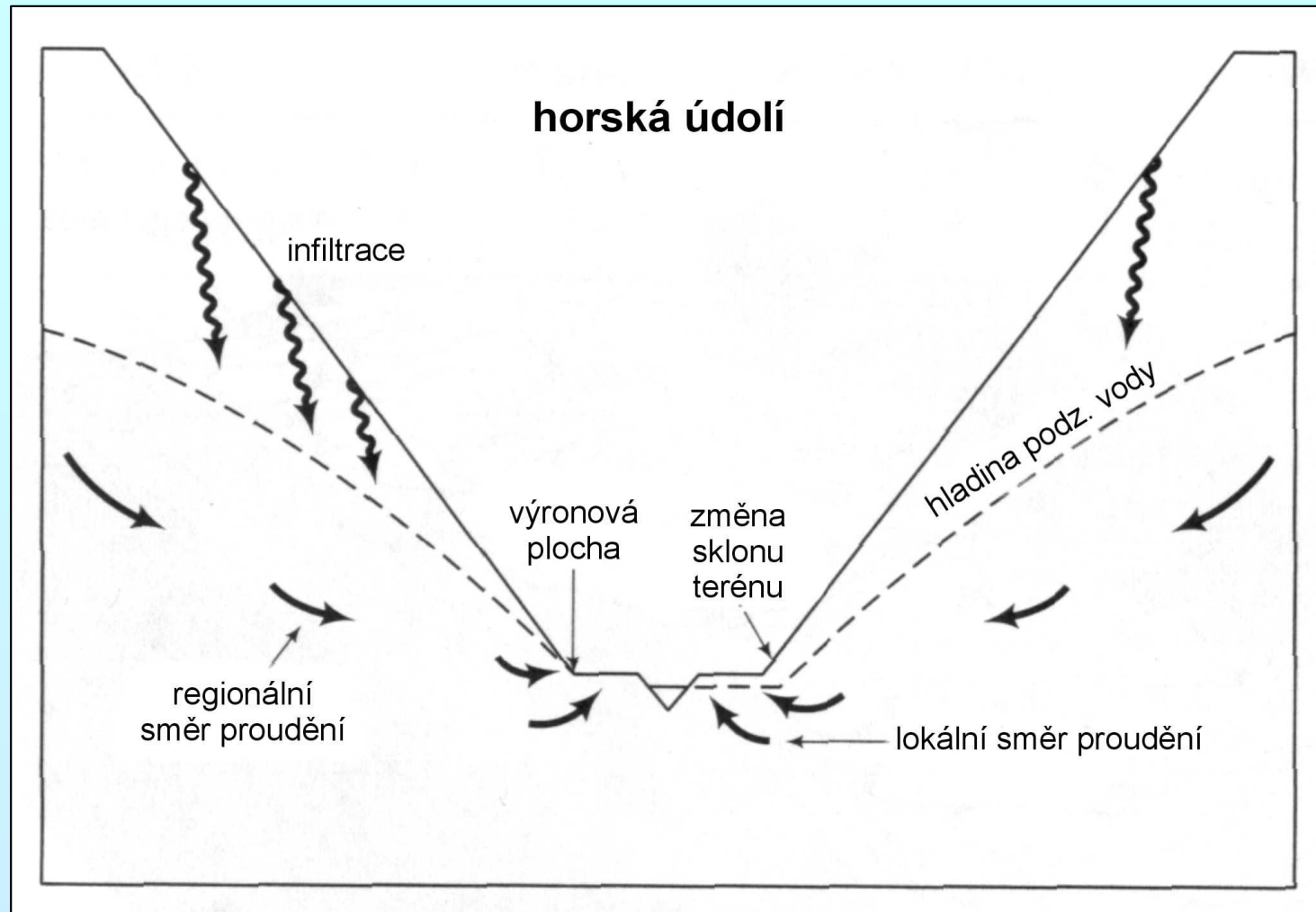
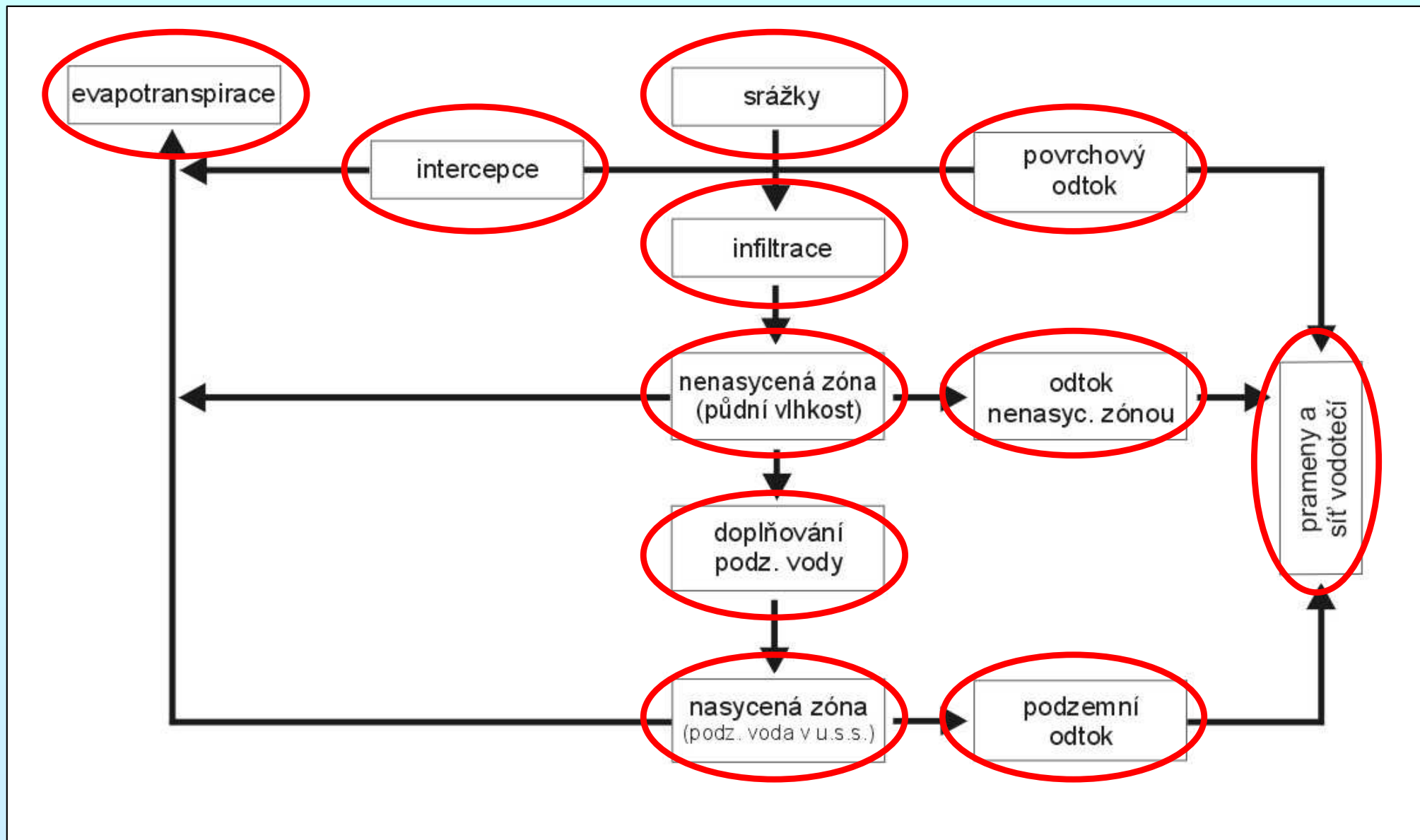


Schéma odvodnění podzemních vod v horských údolích



Složky oběhu vody v rámci jednoho povodí

HYDROLOGICKÁ BILANCE

1. v rámci jednoho povodí

VSTUPY (+)

- atm. srážky (P)

infiltrace (I)

VÝSTUPY (-)

- povrchový odtok (PO)

- podzemní (bazální) odtok (D)

- hypodermický odtok (HO)

- evaporace + transpirace (ET)

2. v rámci více povodí

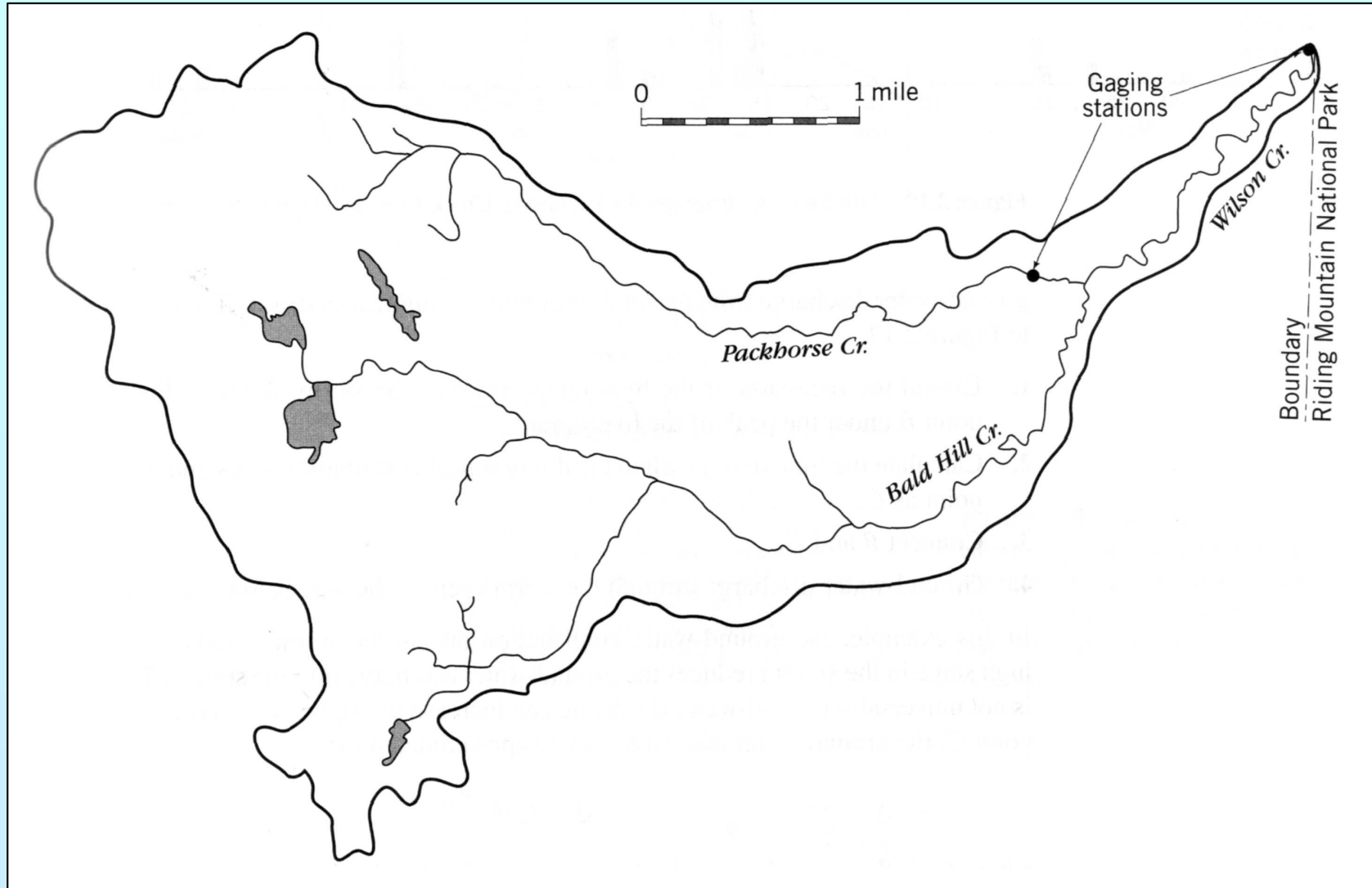
musíme navíc uvažovat i přítok vody (podzemní a povrchový) z jiných povodí

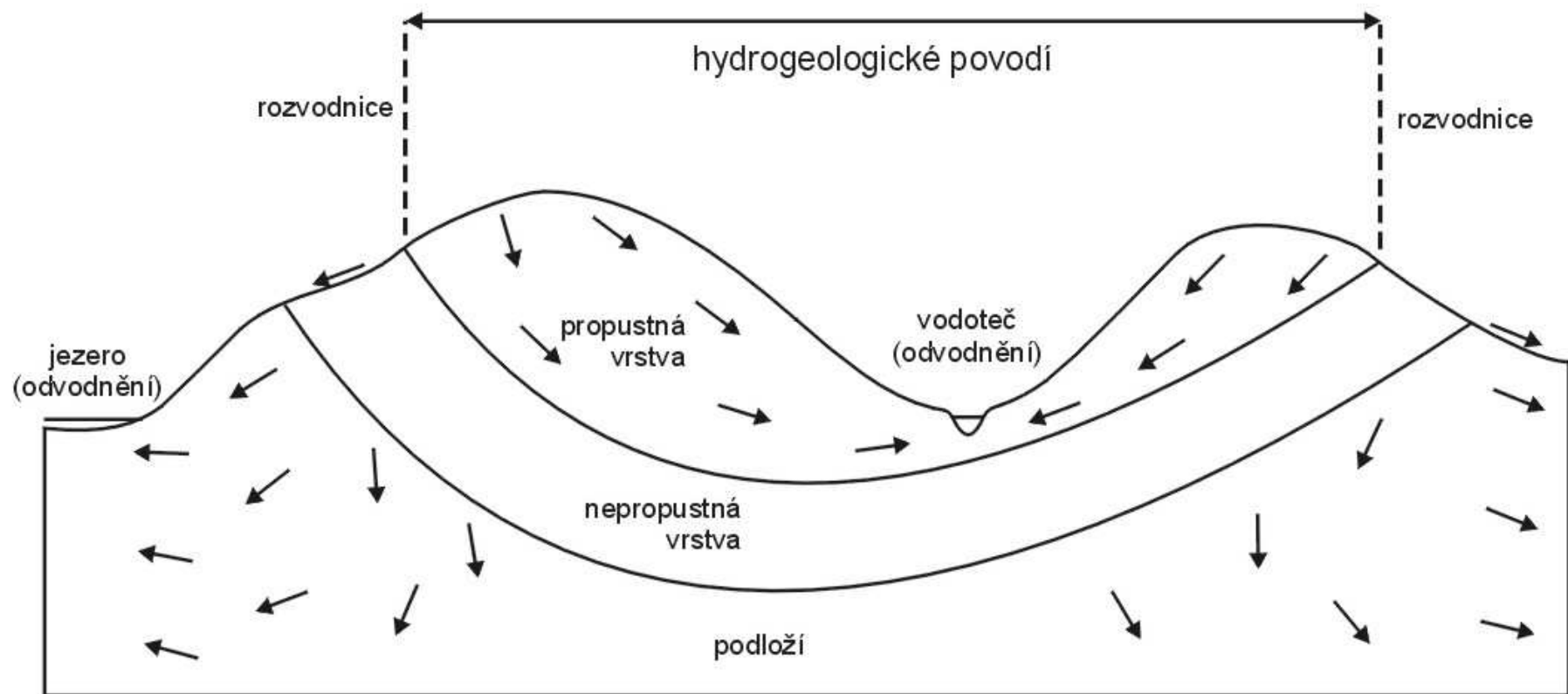
další VSTUPY (+)

- povrchový přítok (PP)

- podzemní přítok (DP)

URČENÍ HRANICE POVODÍ





rozvodí – směry proudění podzemní vody jsou na ně kolmé (mapy)
rozvodnice – různých řádů (I, II, ...), zásady konstrukce rozvodnic
povodí – různé řády (I, II, ...)

ROVNICE HYDROLOGICKÉ BILANCE

zhodnocení vstupů a výstupů v různě velkých posuzovaných regionech

- globální měřítko – množství vody je víceméně konstantní
- lokální měřítko – hydrogeologické struktury, povodí, rajóny

základní rovnice

vstup – výstup = změna v zásobách

obecná rovnice pro pevniny

$$P - E - T - PO - D - HO (+ DP) = \Delta S$$

zjednodušení rovnice – zanedbání změn zásob

$$P = ET + PO + I$$

určení infiltrace – přímé určení infiltrace je prakticky nemožné

$$I = P - ET - PO$$

detailní rovnice v měřítku povodí
(pouze pro bilanci podzemní vody)

$$D + Qi - T - Qo = \Delta S$$

antropogenní zásahy – vstupuje další člen rovnice – čerpané množství ($\pm Q\check{c}$)

$$D + Qi - T - Qo \pm Q\check{c} = \Delta S$$

sestavení konkrétní bilanční rovnice

- vždy podle požadavků výpočtu
- může obsahovat navíc i členy podzemního a povrchového přítoku
- nejčastěji pro období jednoho hydrologického roku (1.11. – 30.10.)
- v období jednoho hydrologického roku se často pro zjednodušení zanedbává změna zásob podzemních vod

vlastní výpočet bilanční rovnice

- hodnoty jednotlivých členů se vyjadřují v mm vodního sloupce
- v případě výpočtů pro povodí se obvykle členy vyjadřují v m^3
(plocha povodí v m^2 násobená hodnotou členu vyjádřenou v mm vodního sloupce)

URČENÍ JEDNOTLIVÝCH ČLENŮ BILANČNÍ ROVNICE

SRÁŽKY

základní a nejvýznamnější vstupní člen bilanční rovnice

kapalné skupenství (déšť)

- srážkoměry
- kalibrované nádoby minimalizující odpar
- měření za určité období (24 hodin) nebo kontinuálně

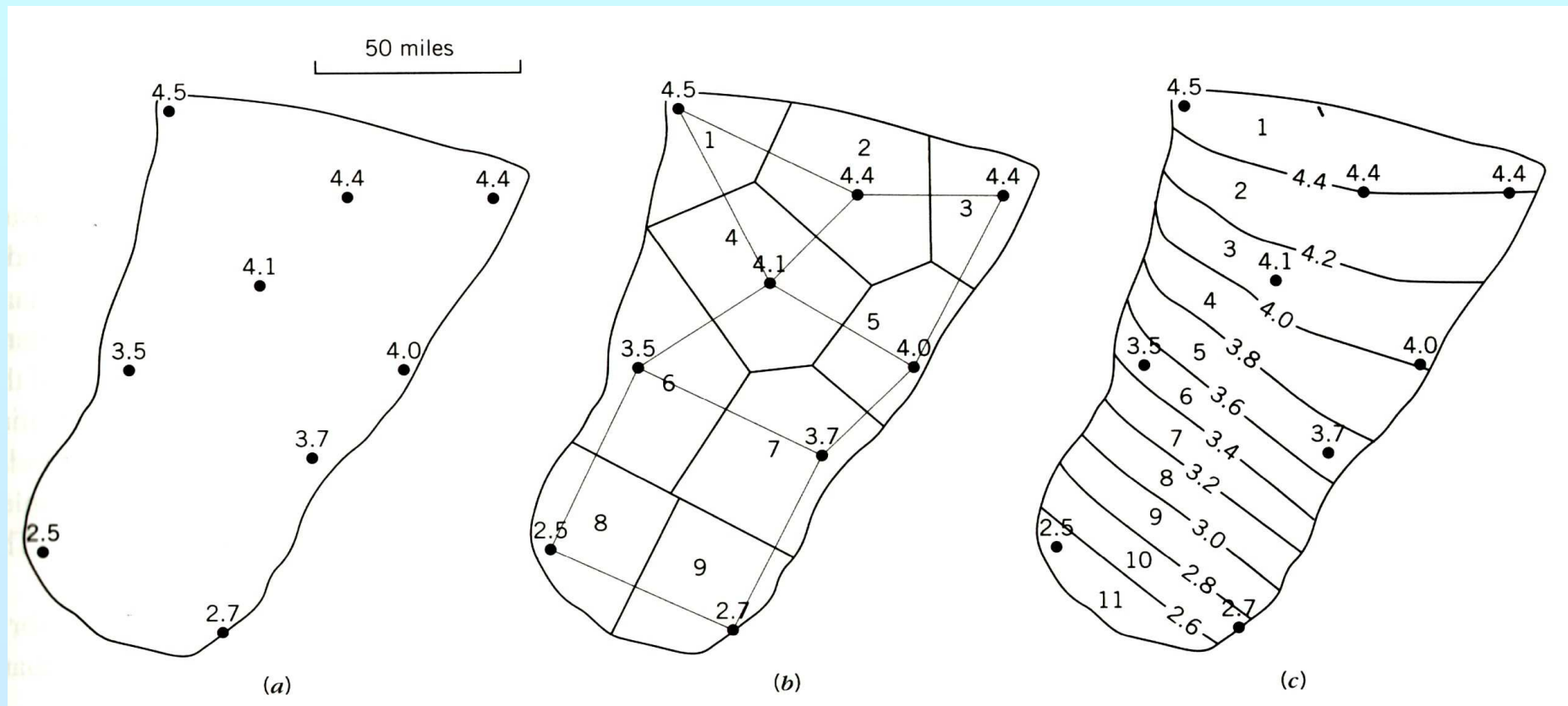
pevné skupenství (sníh)

- měření měrnou latí nebo pomocí radionuklidů
- přepočítání na ekvivalent vodního sloupce

reprezentativní data

- dlouhodobé řady pozorování
- malá hustota měřících stanic – interpolace dat:

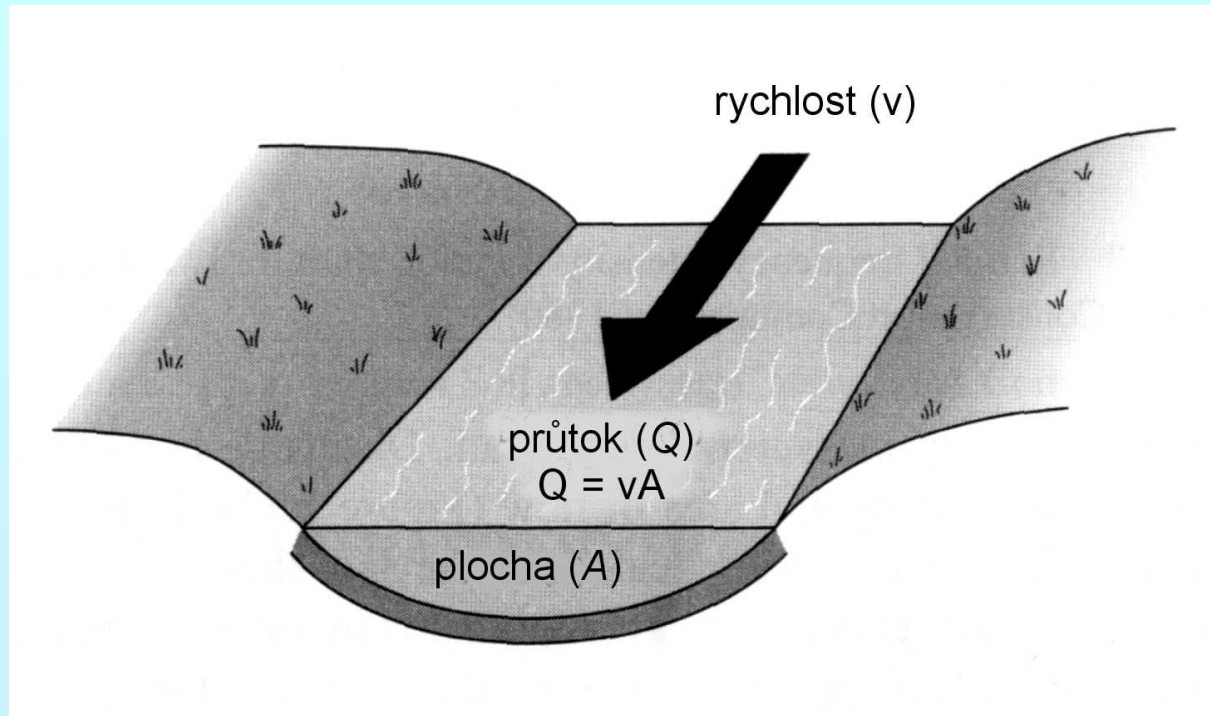
- aritmetický průměr
- Thiessenovy polygony
- izohyety



- perspektivní metoda – radar – nejpřesnější detailní informace i o intenzitě srážek

POVRCHOVÝ ODTOK A PŘÍTOK

(měření průtoků ve vodotečích)



zásady měření

- nutné zaznamenat změny v průtocích ve vodních tocích
- měření vždy před ústím do dalšího vodního toku případně častěji

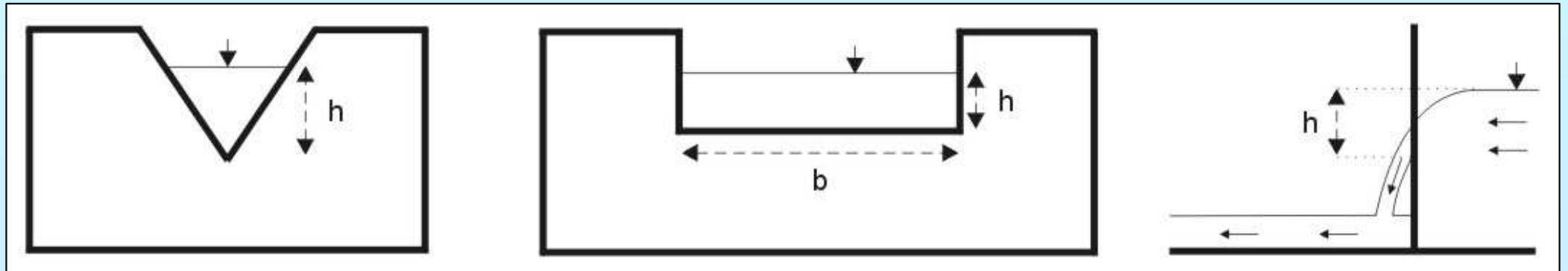
způsoby měření průtoků

1. objemové měření

- malé vodní toky
- použití kalibrované nádoby o známém objemu a stopek

2. měrné přepady (přelivy)

- trvale instalované nebo přenosné
- použití až do průtoků v desítkách l/s
- řada typů podle geometrie výřezu



Thomsonův - trojúhelníkový tvar - $Q = 2,362 \cdot \mu \cdot h^{5/2}$... ($\mu = 0,62$)

Ponceletův - obdélníkový tvar - $Q = 2/3 \cdot \mu \cdot b (2g)^{1/2} \cdot h^{5/2}$

3. použití stopovačů

konzervativní stopovač – roztok sloučeniny, která se nerozpadá a nesorbuje

použití u menších toků s kamenitým dnem

po určité vzdálenosti měříme koncentrace v měrném profilu (rozředění)

- směšovací metoda – do vodního toku přidáváme roztok stopovače s konstantní koncentrací při konstantní vydatnosti

$$Q = \frac{(C_1 - C_2)}{(C_2 - C_0)}$$

C_1 ... koncentrace dávkovaného stopovače

C_2 ... koncentrace v měrném profilu

C_0 ... pozad'ová koncentrace

Q_1 ... dávkovaný průtok roztoku stopovače

- integrační metoda – jednorázové přidání známého objemu roztoku stopovače

$$Q = \frac{V \cdot C_1}{t(C_2 - C_0)}$$

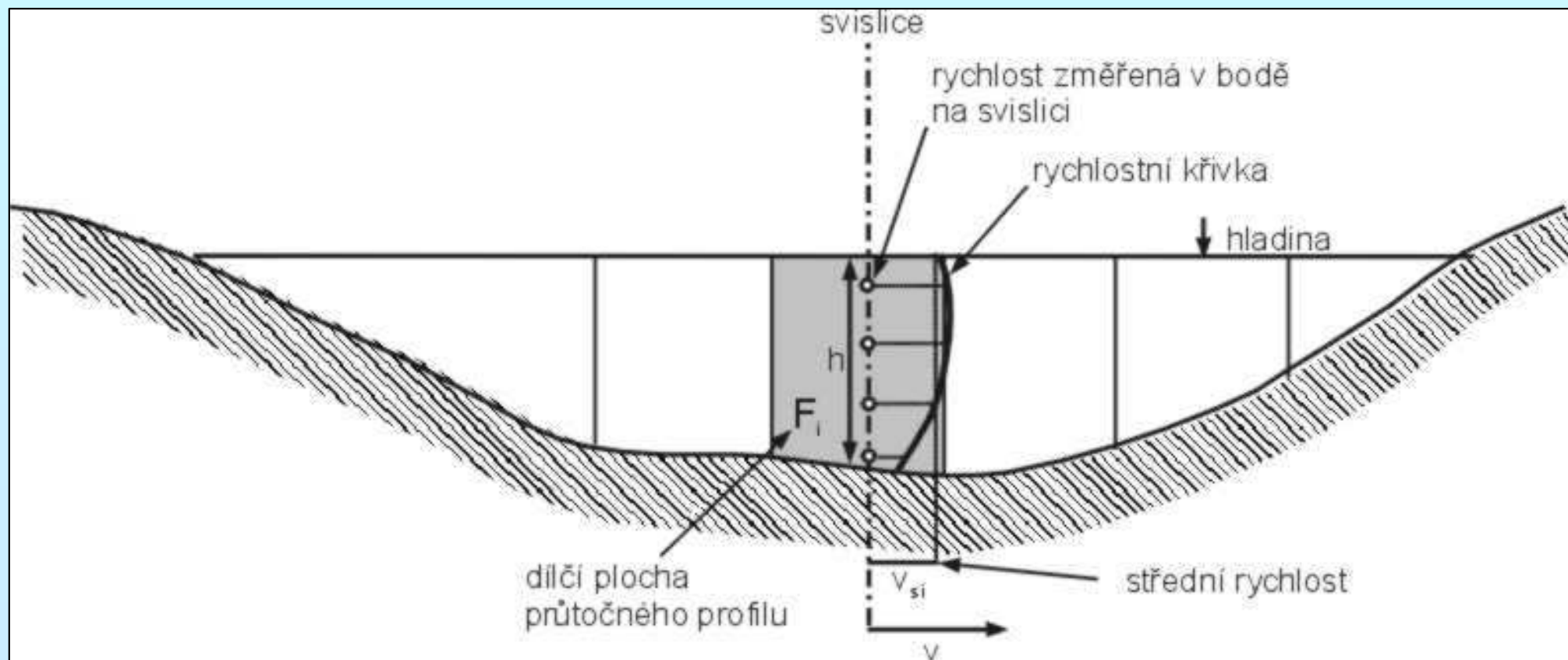
4. hydrometrování

použití u větších vodních toků

nejčastěji vybudování stálých měrných profilů

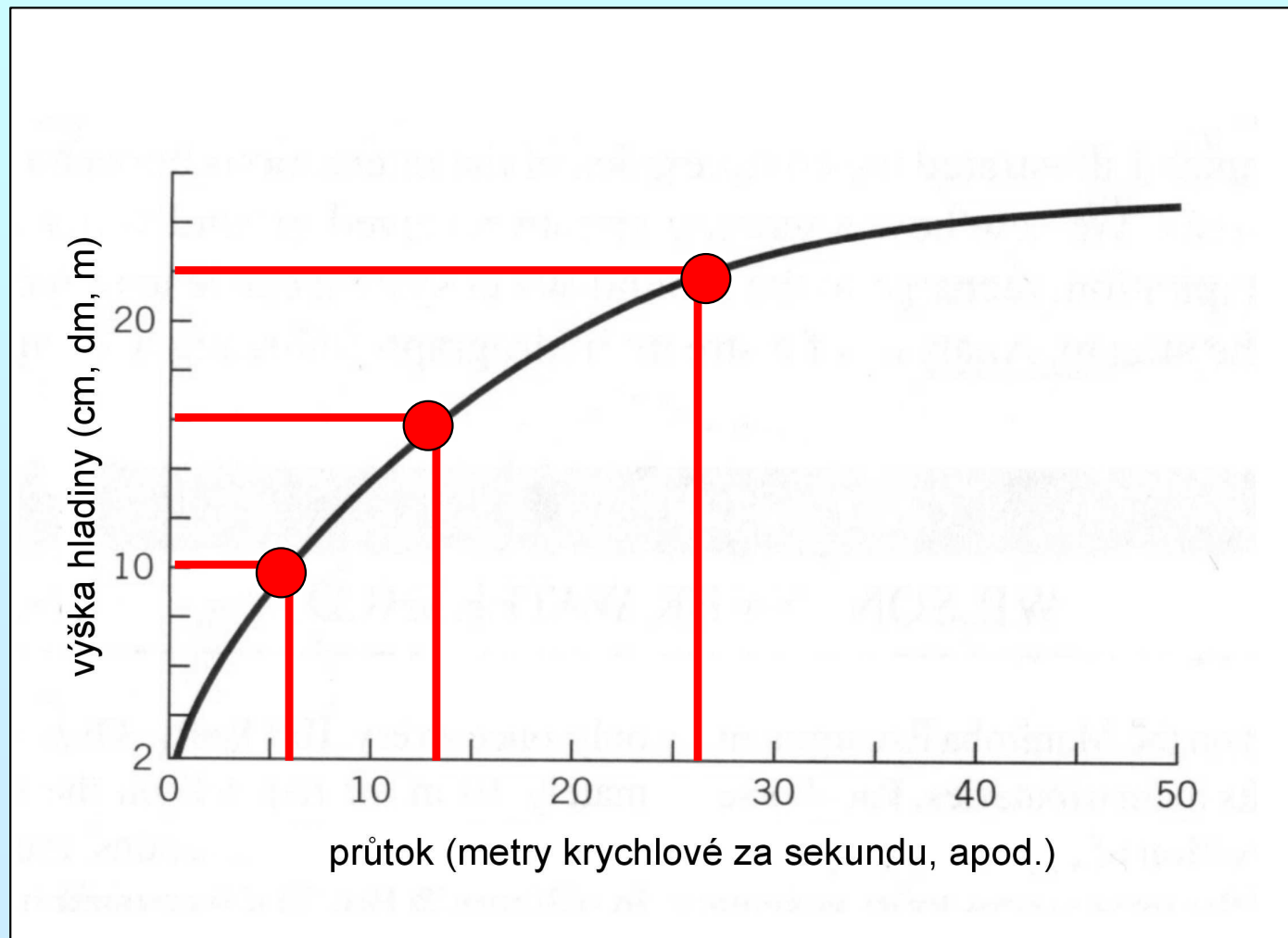
- použití tzv. *hydrometrické vrtule (křídla)*

- měří se rychlost proudění – přímo úměrná otáčkám vrtule ... $v = a + b \cdot n$



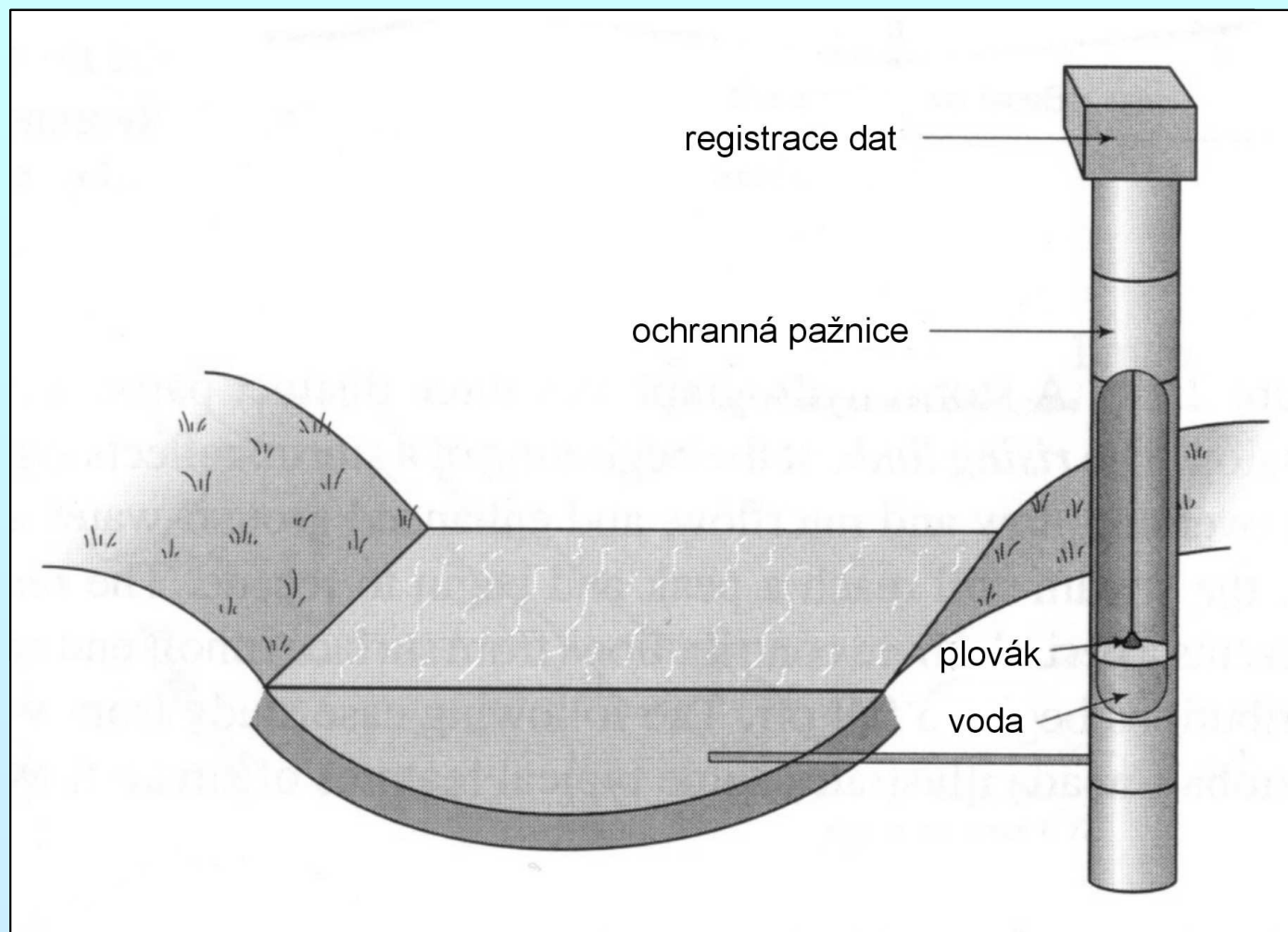
jednotlivé průtoky odpovídají jednotlivým stavům hladin
(při konstantní geometrii průtočné plochy – koryta)

konsumpční křivka – vyjadřuje závislost průtoku na výšce hladiny



orientační metoda – unášecí účinek proudu – splývající těliska

měření výšky (stavu) hladiny

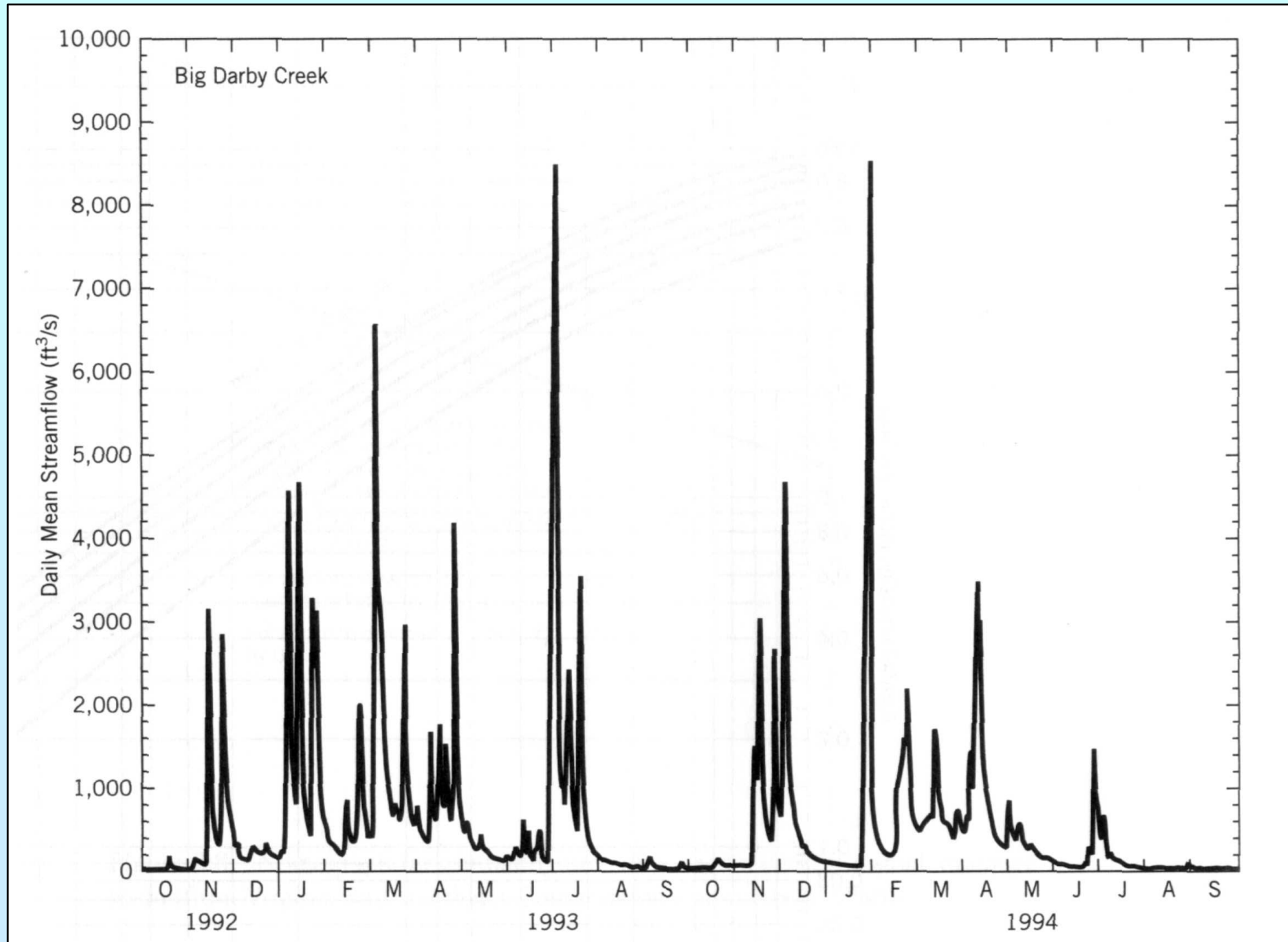


průběžně – limnigraf

hydrogram

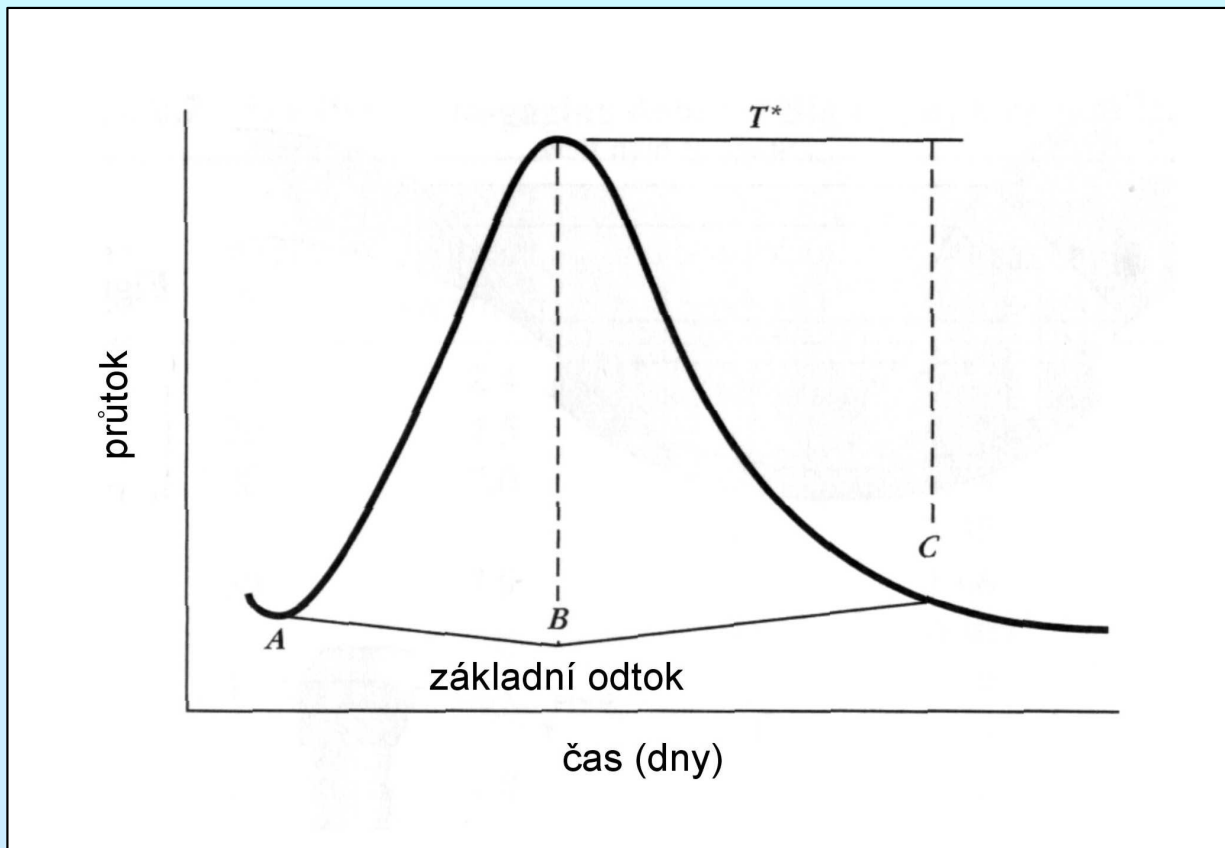
- chronologický záznam průtoku v profilu

- $Q \dots f(t)$



separace hydrogramu

- vodoteče odvodňují o podzemní vodu
- v hydrogramu je současně zachycen povrchový i podzemní odtok
- velké výkyvy v závislosti na srážkách



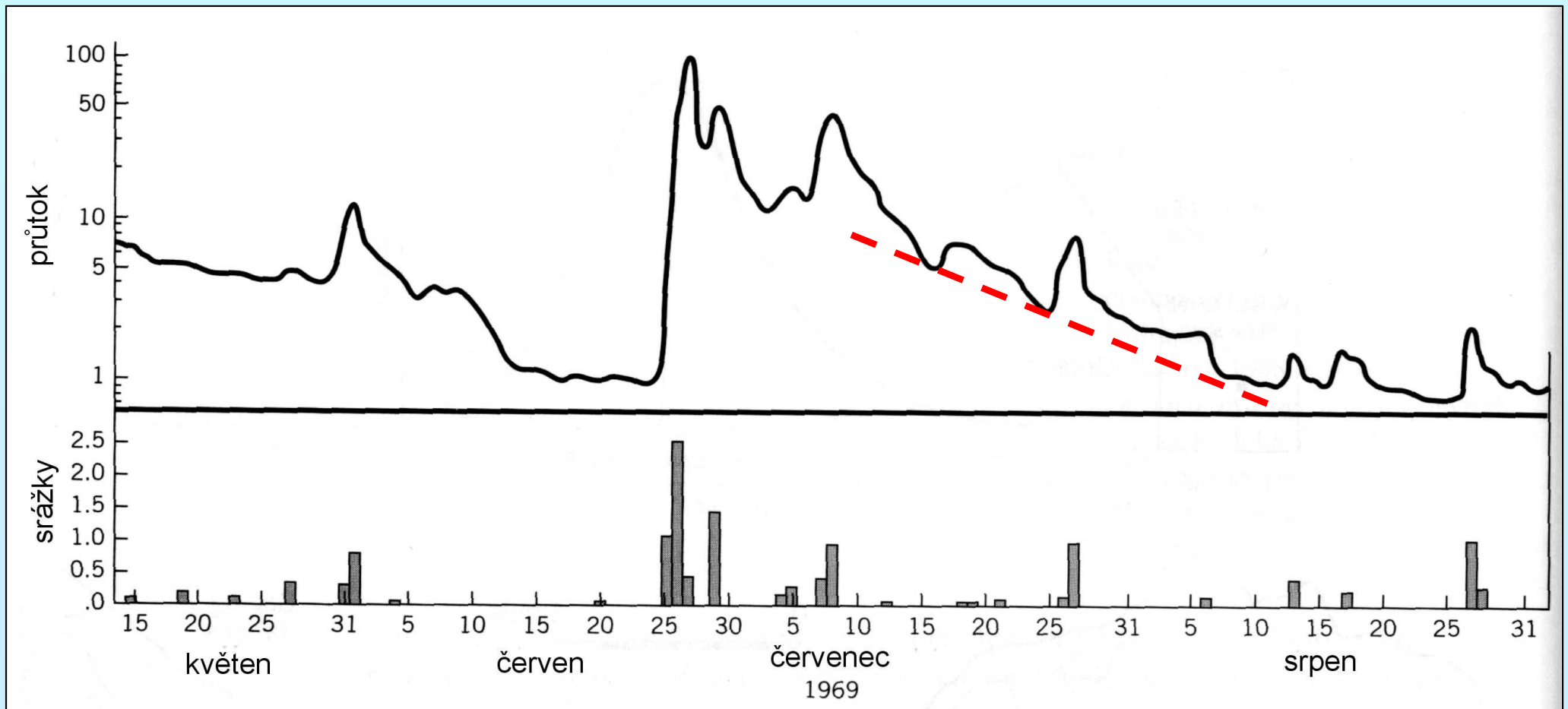
$$T^* = A^{0,2}$$

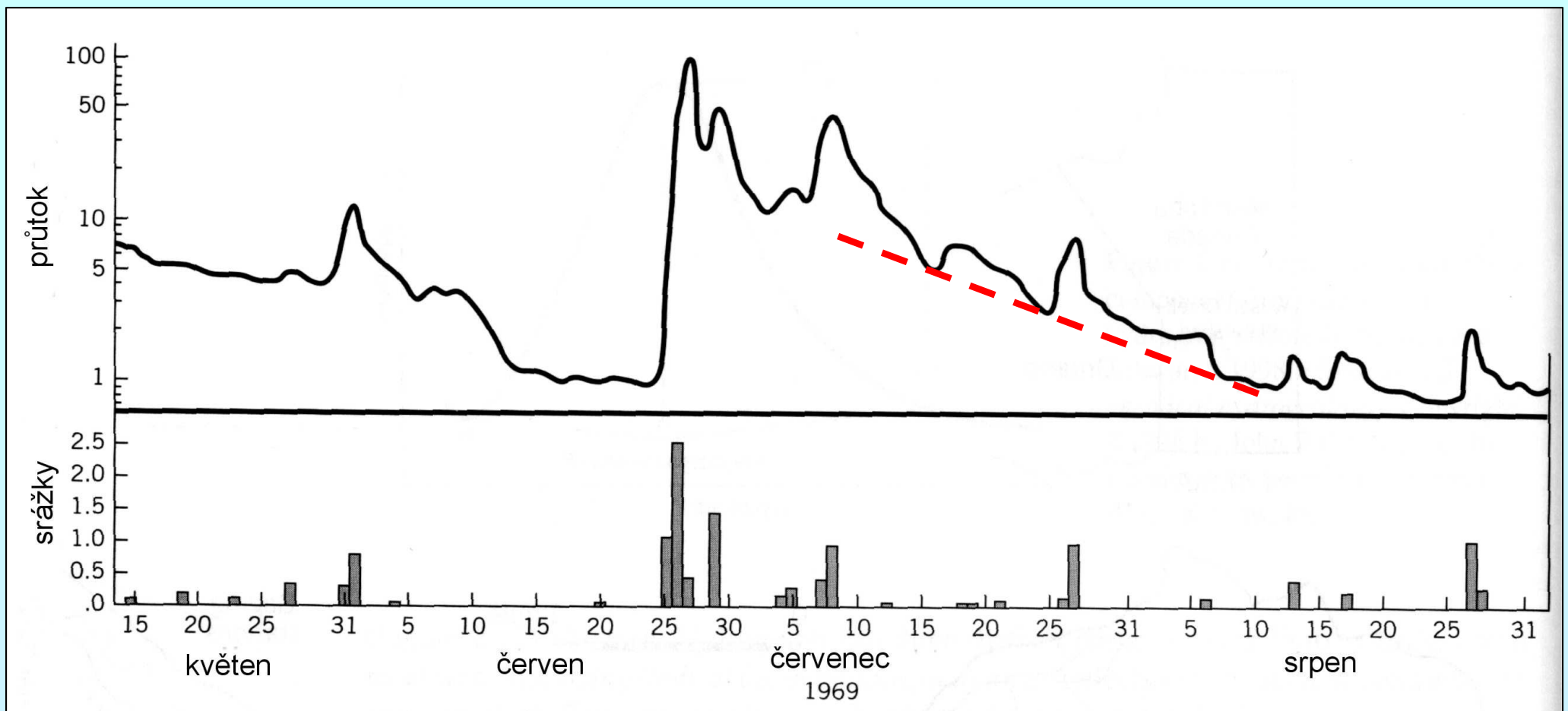
T^* čas konce
povrchového odtoku

A plocha povodí
[sq m]

vzorec je platný jen
orientačně, empiricky
odvozená konstanta nemá
obecnou platnost

- zobrazení hydrogramu v semilogaritmickém měřítku – t (osa x) x $\log Q$ (osa y)
- období po vydatnějších srážkách se promítnou jako přímková
- omezená platnost
 - spíše aridnější oblasti
 - neplatí v povodích s významnou dotací podzemních vod ze srážek v podobě sněhu





- sklon přímkové části charakterizuje recesní konstanta k (koeficient vyprazdňování)

$$k = -(1/t) \cdot \ln(Q/Q_0)$$

- sklon přímky charakterizuje retenci povodí

krasové oblasti – mírnější (prameny)

sedimentární pánve – střední až mírnější (prameny)

krystalinikum – strmější (prameny)

vyčlenění podzemního odtoku následujícím po srážkové události, předpokládá pokles vydatnosti v semilogaritmickém grafu aproximovatelný přímkou

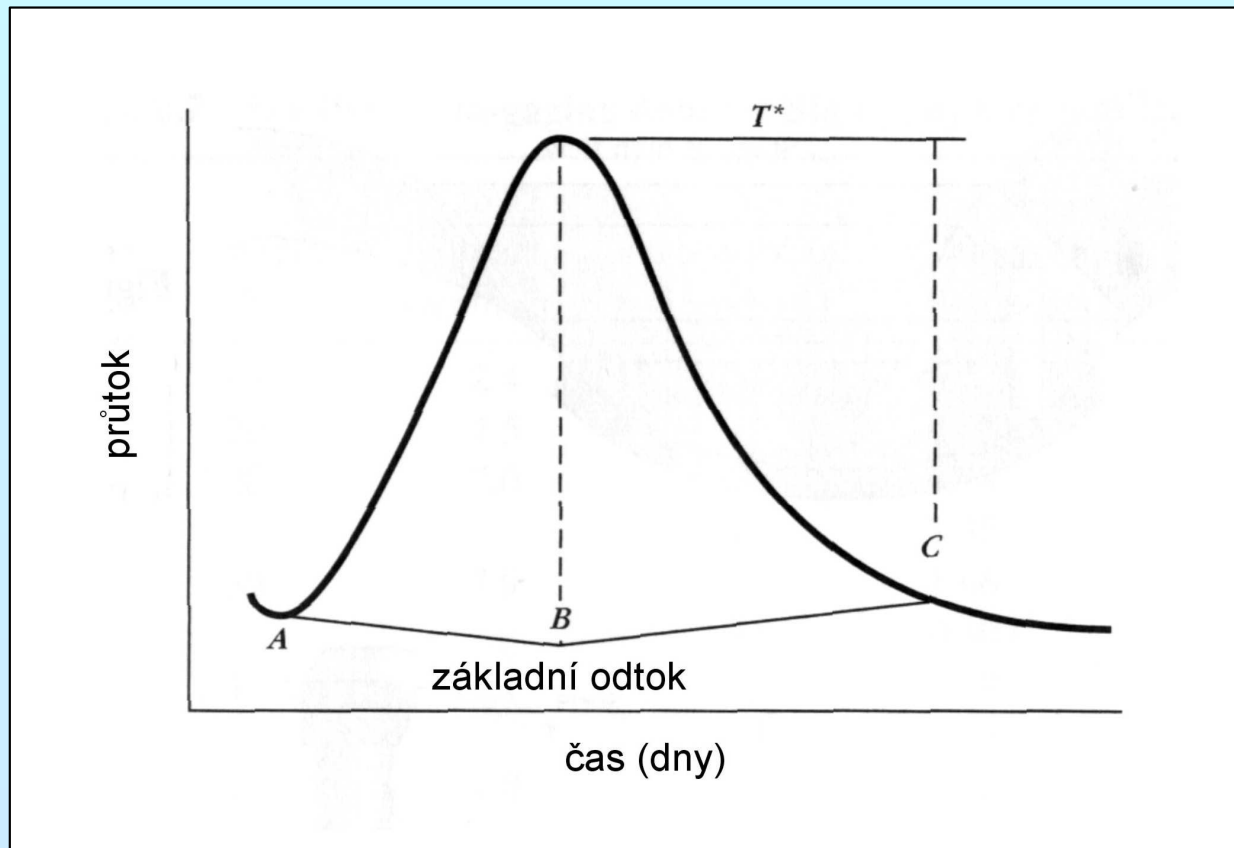
- Mailletova rovnice

$$Q = Q_0 \cdot e^{-kt}$$

Q podzemní odtok v čase t
(v bodě C je čas t definován jako počáteční)

Q_0 podzemní odtok v bodě C

k recesní konstanta



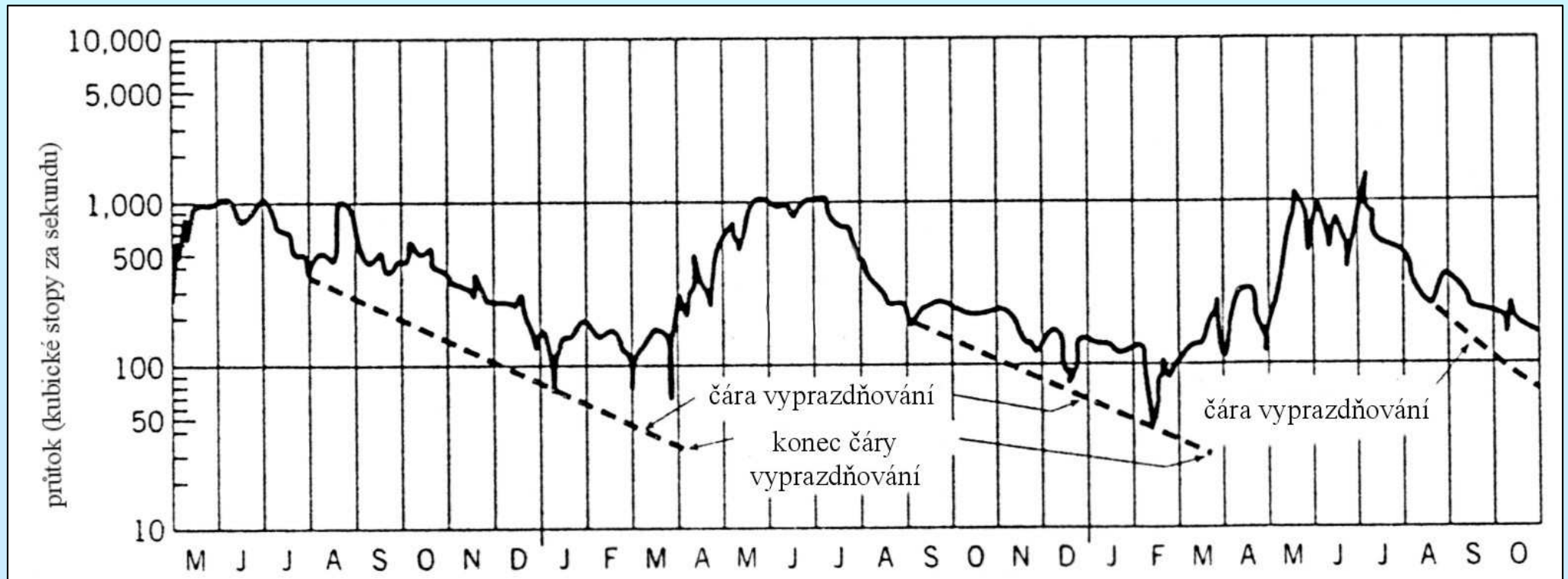
$$k = -(1/t) \cdot \ln(Q/Q_0)$$

celkový potenciální podzemní odtok

(celkový objem vody, který se může uvolnit ze zásob podzemní vody v nekonečně dlouhém období bez doplňování)

$$V = \frac{Q_0 \cdot K}{2,306}$$

V celkový objem vody
 Q_0 podzemní odtok v bodě C
 K recesní index
(čas odpovídající jednomu logaritmickeému cyklu vydatnosti)



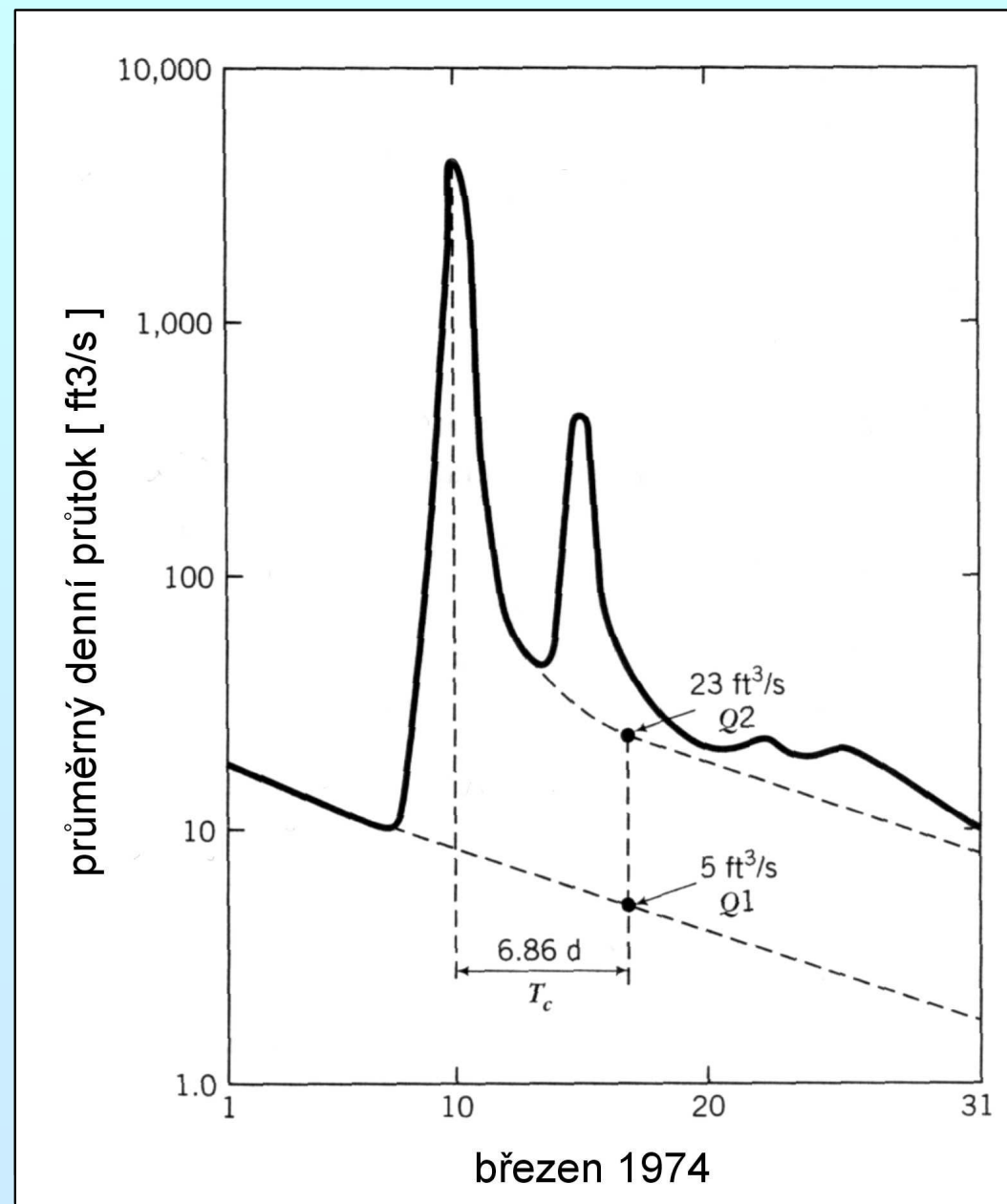
doplňování zásob podzemní vody mezi dvěma srážkovými událostmi

(celkový objem vody, který se doplnil do zásob podzemní vody po srážkové události)

$$R = \frac{2(Q_2 - Q_1)K}{2,3026}$$

- R celkový objem doplněné vody
- Q_1 podzemní odtok v kritickém čase T_c na čáře vyprazdňování předcházející srážkové události
- Q_2 podzemní odtok v kritickém čase T_c na čáře vyprazdňování následující po srážkové události
- K recesní index
(čas odpovídající jednomu logaritmickému cyklu vydatnosti)

$$T_c = 0,2144 \cdot K$$



EVAPORACE + TRANSPIRACE

evaporace - souborný výpar z otevřené hladiny (jezera, řeky, půda)

transpirace – spotřeba vody vegetačním pokryvem

potenciální evapotranspirace (*PET*)

- vždy je spíše nadhodnocená – uvažuje neomezené množství vody pro výpar
- není v průběhu roku stejná – *f* (*teplota, vlhkost vzduchu, vegetace*)
- převyšuje skutečnou evapotranspiraci (*AET*) – dopočítání (obtížně se stanovuje)

způsoby stanovení PET

1. půdní lyzimetry – válcovité nádoby zapuštěné v zemi
– vážením se sleduje *PET* (event. i *AET*)

2. empirické vzorce:

Penmannův

Turcovův

Thornthwaitův

Thornthwaitův vzorec

$$PET = 16,2 \left(\frac{10 \cdot T_{ai}}{I} \right)^a \cdot F(\lambda) \quad [\text{mm/měsíc}]$$

T_{ai} ... průměrná měsíční teplota vzduchu

I ... roční termický index (součet měsíčních indexů i)

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{ai}}{5} \right)^{1,5}$$

$$a = 0,492 + 0,0179 \cdot I - 0,0000771 \cdot I^2 + 0,000000675 \cdot I^3$$

$F(\lambda)$... korekční koeficient (funkce zeměpisné šířky – hodnoty tabelovány)

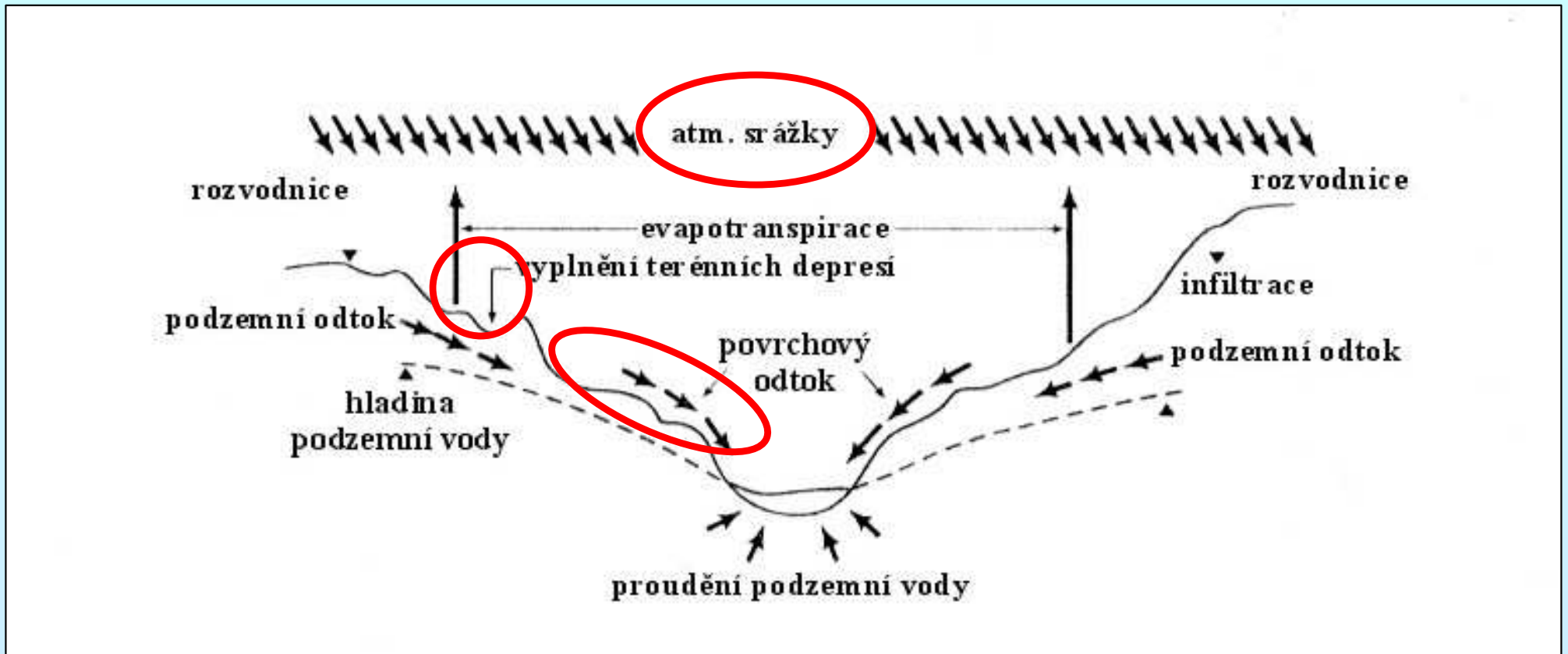
hodnoty
korekčního
koeficientu

$F(\lambda)$

| Lat. N. | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 1.04 | .94 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.04 |
| 5 | 1.02 | .93 | 1.03 | 1.02 | 1.06 | 1.03 | 1.06 | 1.05 | 1.01 | 1.03 | .99 | 1.02 |
| 10 | 1.00 | .91 | 1.03 | 1.03 | 1.08 | 1.06 | 1.08 | 1.07 | 1.02 | 1.02 | .98 | .99 |
| 15 | .97 | .91 | 1.03 | 1.04 | 1.11 | 1.08 | 1.12 | 1.08 | 1.02 | 1.01 | .95 | .97 |
| 20 | .95 | .90 | 1.03 | 1.05 | 1.13 | 1.11 | 1.14 | 1.11 | 1.02 | 1.00 | .93 | .94 |
| 25 | .93 | .89 | 1.03 | 1.06 | 1.15 | 1.14 | 1.17 | 1.12 | 1.02 | .99 | .91 | .91 |
| 26 | .92 | .88 | 1.03 | 1.06 | 1.15 | 1.15 | 1.17 | 1.12 | 1.02 | .99 | .91 | .91 |
| 27 | .92 | .88 | 1.03 | 1.07 | 1.16 | 1.15 | 1.18 | 1.13 | 1.02 | .99 | .90 | .90 |
| 28 | .91 | .88 | 1.03 | 1.07 | 1.16 | 1.16 | 1.18 | 1.13 | 1.02 | .98 | .90 | .90 |
| 29 | .91 | .87 | 1.03 | 1.07 | 1.17 | 1.16 | 1.19 | 1.13 | 1.03 | .98 | .90 | .89 |
| 30 | .90 | .87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.17 | 1.20 | 1.14 | 1.03 | .98 | .89 | .88 |
| 31 | .90 | .87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.18 | 1.20 | 1.14 | 1.03 | .98 | .89 | .88 |
| 32 | .89 | .86 | 1.03 | 1.08 | 1.19 | 1.19 | 1.21 | 1.15 | 1.03 | .98 | .88 | .87 |
| 33 | .88 | .86 | 1.03 | 1.09 | 1.19 | 1.20 | 1.22 | 1.15 | 1.03 | .97 | .88 | .86 |
| 34 | .88 | .85 | 1.03 | 1.09 | 1.20 | 1.20 | 1.22 | 1.16 | 1.03 | .97 | .87 | .86 |
| 35 | .87 | .85 | 1.03 | 1.09 | 1.21 | 1.21 | 1.23 | 1.16 | 1.03 | .97 | .86 | .85 |
| 36 | .87 | .85 | 1.03 | 1.10 | 1.21 | 1.22 | 1.24 | 1.16 | 1.03 | .97 | .86 | .84 |
| 37 | .86 | .84 | 1.03 | 1.10 | 1.22 | 1.23 | 1.25 | 1.17 | 1.03 | .97 | .85 | .83 |
| 38 | .85 | .84 | 1.03 | 1.10 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.17 | 1.04 | .96 | .84 | .83 |
| 39 | .85 | .84 | 1.03 | 1.11 | 1.23 | 1.24 | 1.26 | 1.18 | 1.04 | .96 | .84 | .82 |
| 40 | .84 | .83 | 1.03 | 1.11 | 1.24 | 1.25 | 1.27 | 1.18 | 1.04 | .96 | .83 | .81 |
| 41 | .83 | .83 | 1.03 | 1.11 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.19 | 1.04 | .96 | .82 | .80 |
| 42 | .82 | .83 | 1.03 | 1.12 | 1.26 | 1.27 | 1.28 | 1.19 | 1.04 | .95 | .82 | .79 |
| 43 | .81 | .82 | 1.02 | 1.12 | 1.26 | 1.28 | 1.29 | 1.20 | 1.04 | .95 | .81 | .77 |
| 44 | .81 | .82 | 1.02 | 1.13 | 1.27 | 1.29 | 1.30 | 1.20 | 1.04 | .95 | .80 | .76 |
| 45 | .80 | .81 | 1.02 | 1.13 | 1.28 | 1.29 | 1.31 | 1.21 | 1.04 | .94 | .79 | .75 |
| 46 | .79 | .81 | 1.02 | 1.13 | 1.29 | 1.31 | 1.32 | 1.22 | 1.04 | .94 | .79 | .74 |
| 47 | .77 | .80 | 1.02 | 1.14 | 1.30 | 1.32 | 1.33 | 1.22 | 1.04 | .93 | .78 | .73 |
| 48 | .76 | .80 | 1.02 | 1.14 | 1.31 | 1.33 | 1.34 | 1.23 | 1.05 | .93 | .77 | .72 |
| 49 | .75 | .79 | 1.02 | 1.14 | 1.32 | 1.34 | 1.35 | 1.24 | 1.05 | .93 | .76 | .71 |
| 50 | .74 | .78 | 1.02 | 1.15 | 1.33 | 1.36 | 1.37 | 1.25 | 1.06 | .92 | .76 | .70 |
| LAT. S. | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1.06 | .95 | 1.04 | 1.00 | 1.02 | .99 | 1.02 | 1.03 | 1.00 | 1.05 | 1.03 | 1.06 |
| 10 | 1.08 | .97 | 1.05 | .99 | 1.01 | .96 | 1.00 | 1.01 | 1.00 | 1.06 | 1.05 | 1.10 |
| 15 | 1.12 | .98 | 1.05 | .98 | .98 | .94 | .97 | 1.00 | 1.00 | 1.07 | 1.07 | 1.12 |
| 20 | 1.14 | 1.00 | 1.05 | .97 | .96 | .91 | .95 | .99 | 1.00 | 1.08 | 1.09 | 1.15 |
| 25 | 1.17 | 1.01 | 1.05 | .96 | .94 | .88 | .93 | .98 | 1.00 | 1.10 | 1.11 | 1.18 |
| 30 | 1.20 | 1.03 | 1.06 | .95 | .92 | .85 | .90 | .96 | 1.00 | 1.12 | 1.14 | 1.21 |
| 35 | 1.23 | 1.04 | 1.06 | .94 | .89 | .82 | .87 | .94 | 1.00 | 1.13 | 1.17 | 1.25 |
| 40 | 1.27 | 1.06 | 1.07 | .93 | .86 | .78 | .84 | .92 | 1.00 | 1.15 | 1.20 | 1.29 |
| 42 | 1.28 | 1.07 | 1.07 | .92 | .85 | .76 | .82 | .92 | 1.00 | 1.16 | 1.22 | 1.31 |
| 44 | 1.30 | 1.08 | 1.07 | .92 | .83 | .74 | .81 | .91 | .99 | 1.17 | 1.23 | 1.33 |
| 46 | 1.32 | 1.10 | 1.07 | .91 | .82 | .72 | .79 | .90 | .99 | 1.17 | 1.25 | 1.35 |
| 48 | 1.34 | 1.11 | 1.08 | .90 | .80 | .70 | .76 | .89 | .99 | 1.18 | 1.27 | 1.37 |
| 50 | 1.37 | 1.12 | 1.08 | .89 | .77 | .67 | .74 | .88 | .99 | 1.19 | 1.29 | 1.41 |

INFILTRACE A ODTOK

popis procesů



určení infiltrace – přímé určení infiltrace je prakticky nemožné
dopočítání ... $I = P - ET - PO$

URČENÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU

malé oblasti (povodí)

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

Q maximální odtok [m³/s]

C odtokový koeficient

i průměrná intenzita srážek [mm/hod]

A příslušná plocha [km²]

odtokový koeficient

- hodnoty tabelovány

- udává typické rozmezí hodnot pro daný typ povrchu terénu

- např. parky – 0,10 – 0,25

asfaltové lochy – 0,70 – 0,95

pastviny - písčité půdy – 0,05 – 0,25

zatravněná jílovitá půda se sklonem 2-7% - 0,18 – 0,22

