

# **ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE**

*I. PŘEDNÁŠKA*

## **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

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

Šráček, 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, 3<sup>rd</sup> 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.

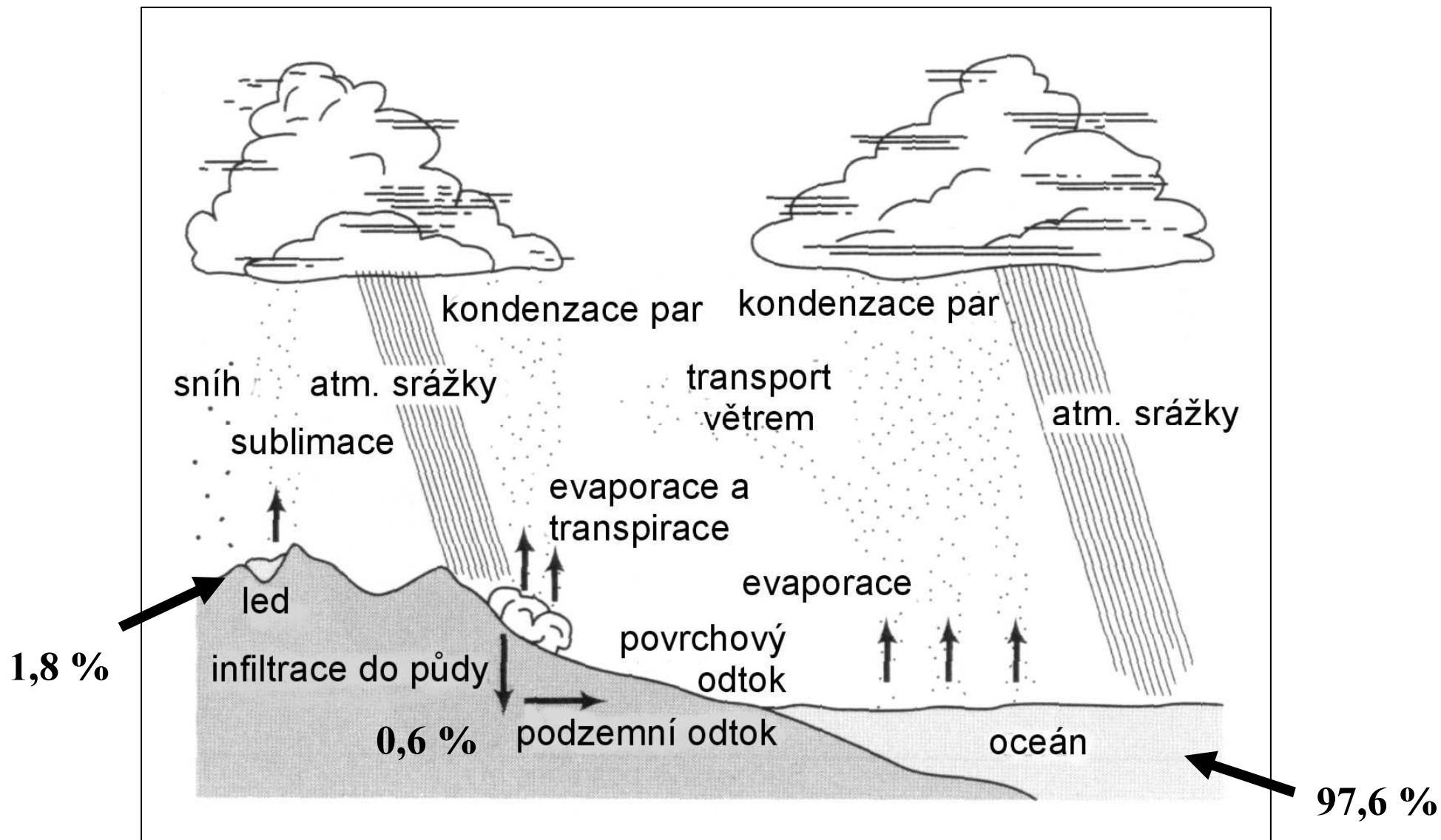
Šilar, J. (1996): Hydrologie v životním prostředí, učební texty projektu PHARE, UJEP Ústí nad Labem.

# **POZICE HYDROGEOLOGIE**

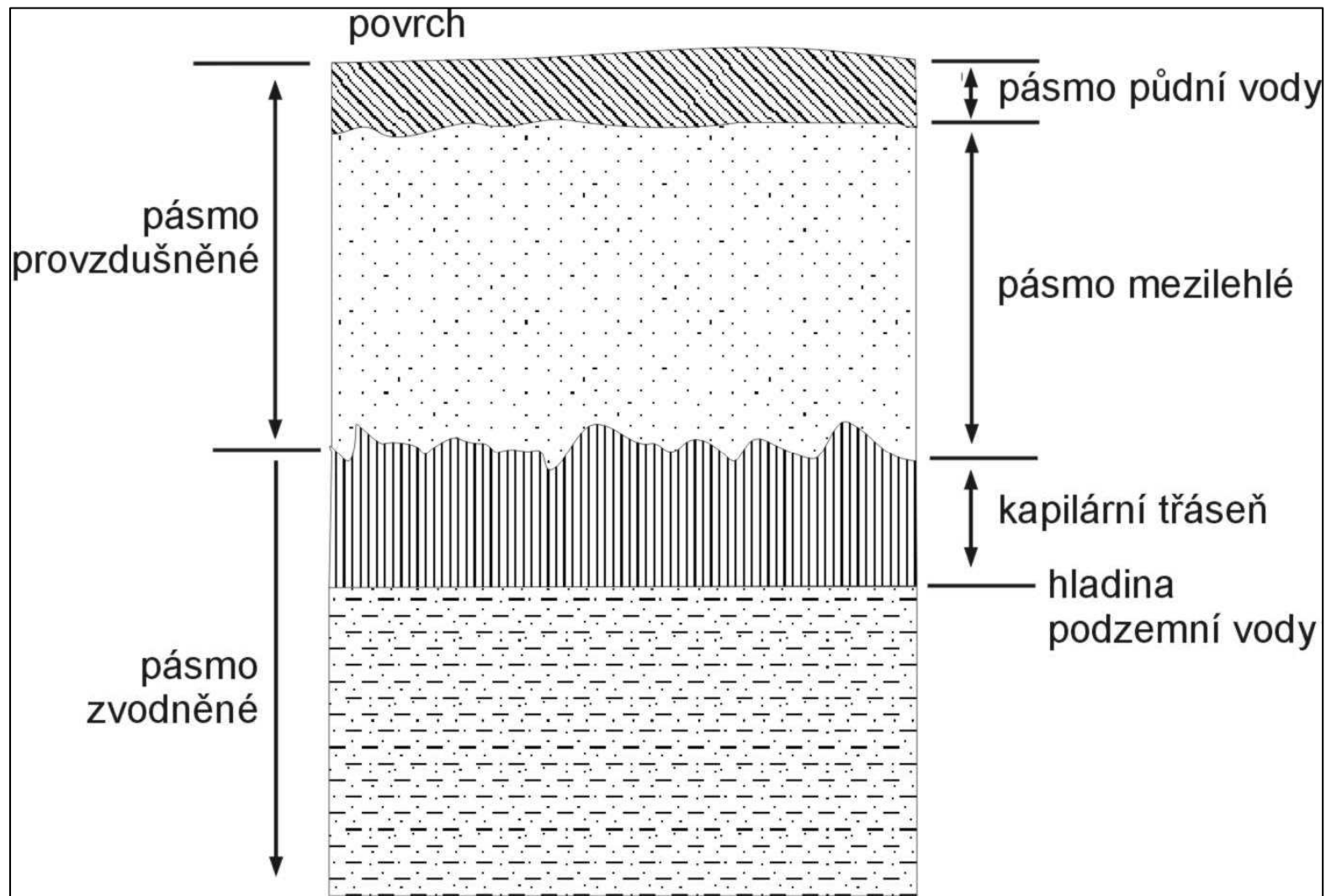
## **MEZI OSTATNÍMI VĚDAMI**

interdisciplinární věda

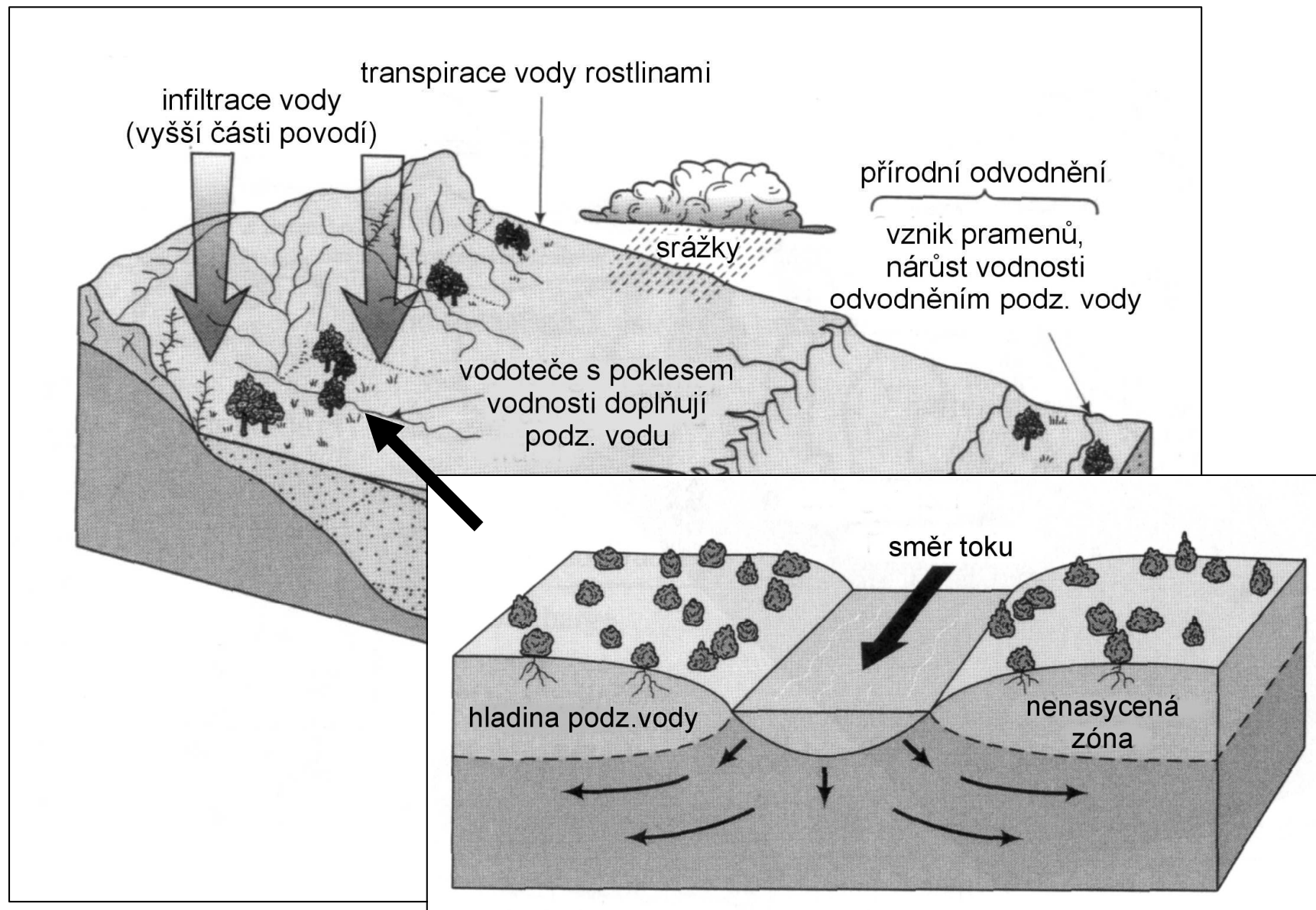
- geologie
- hydrologie
- matematika
- chemie
- fyzika



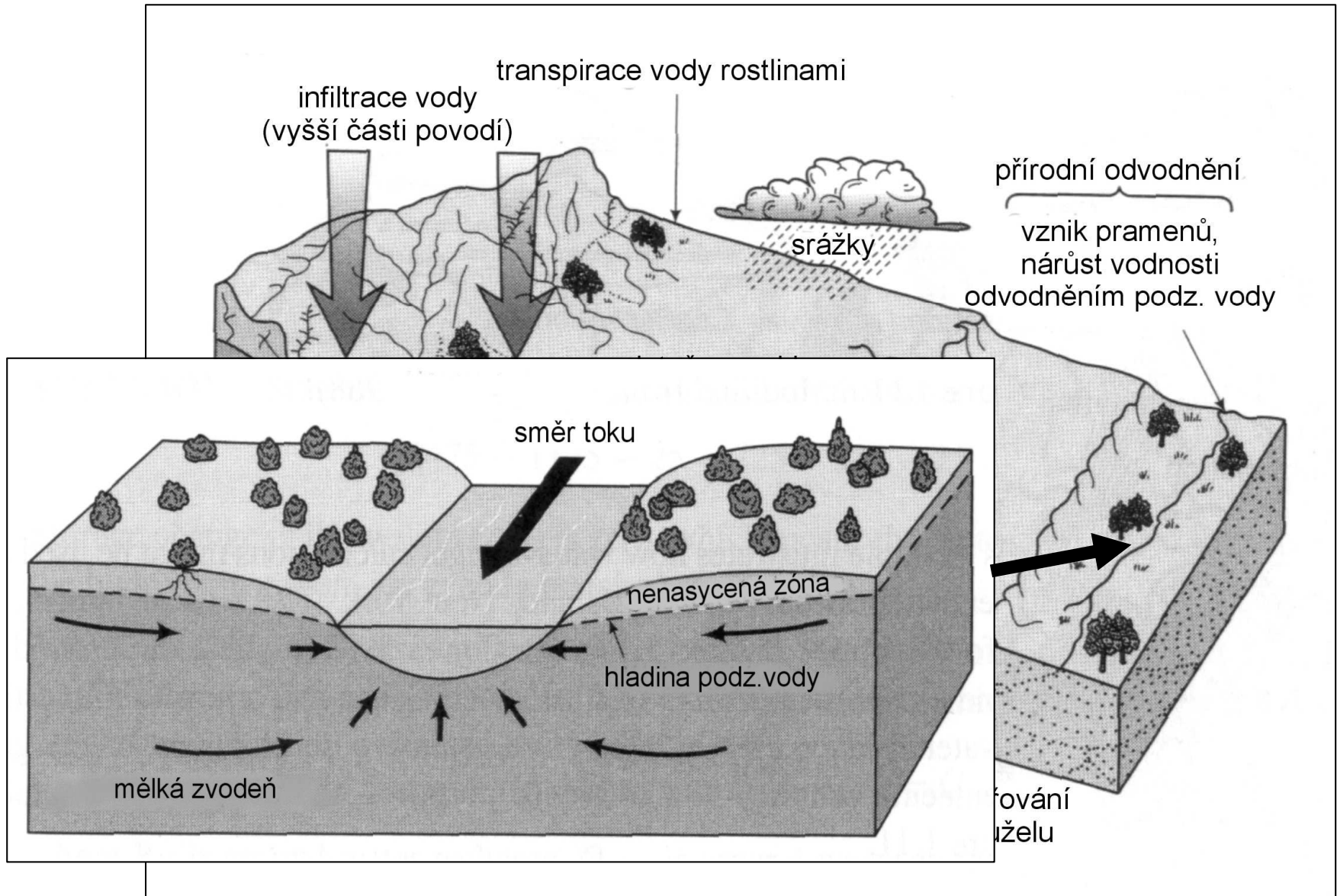
Podzemní voda a hydrologický cyklus



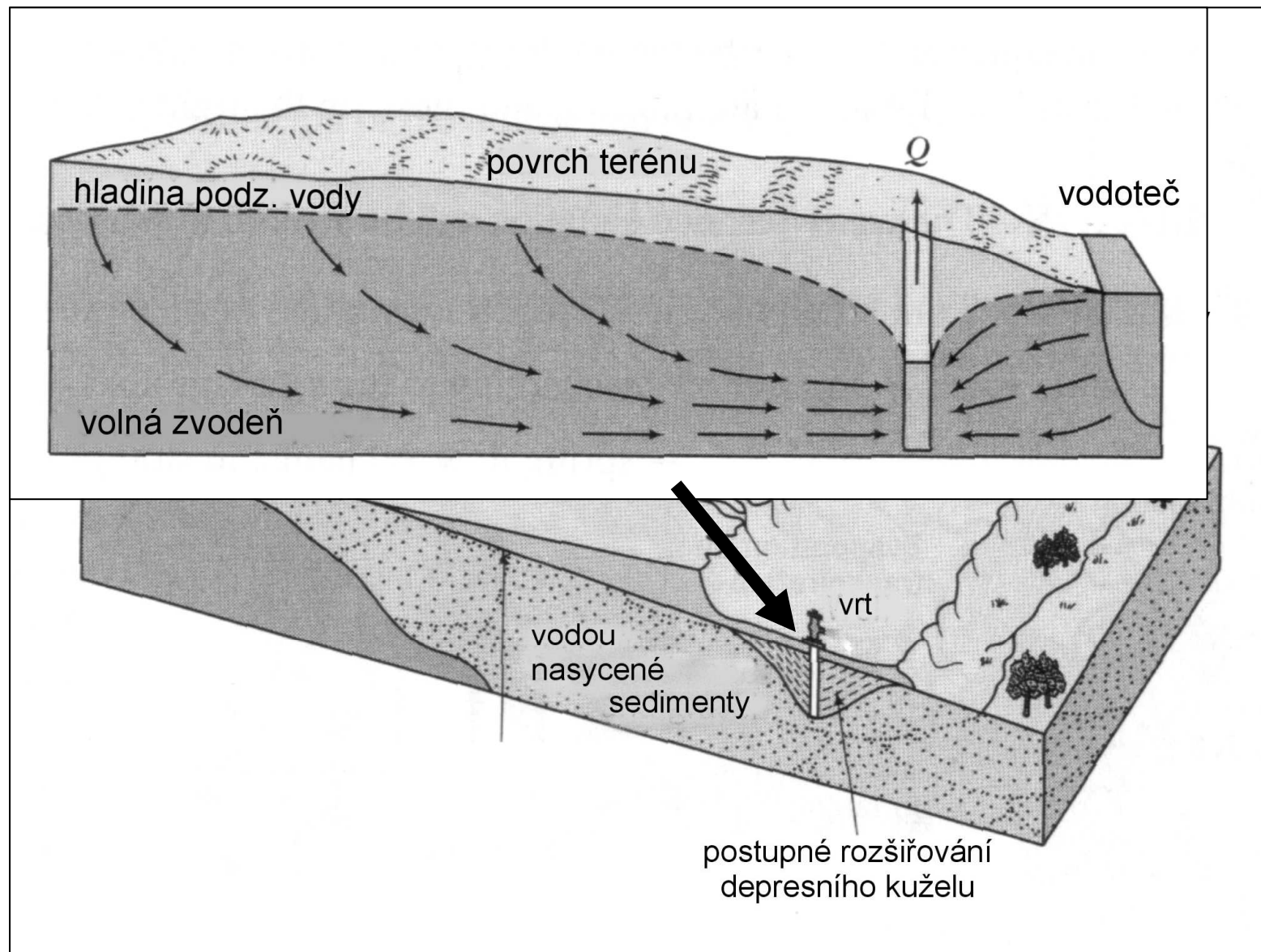
zóny výskytu podzemní vody



Hlavní složky oběhu vody v povodí



Hlavní složky oběhu vody v povodí



Hlavní složky oběhu vody v povodí



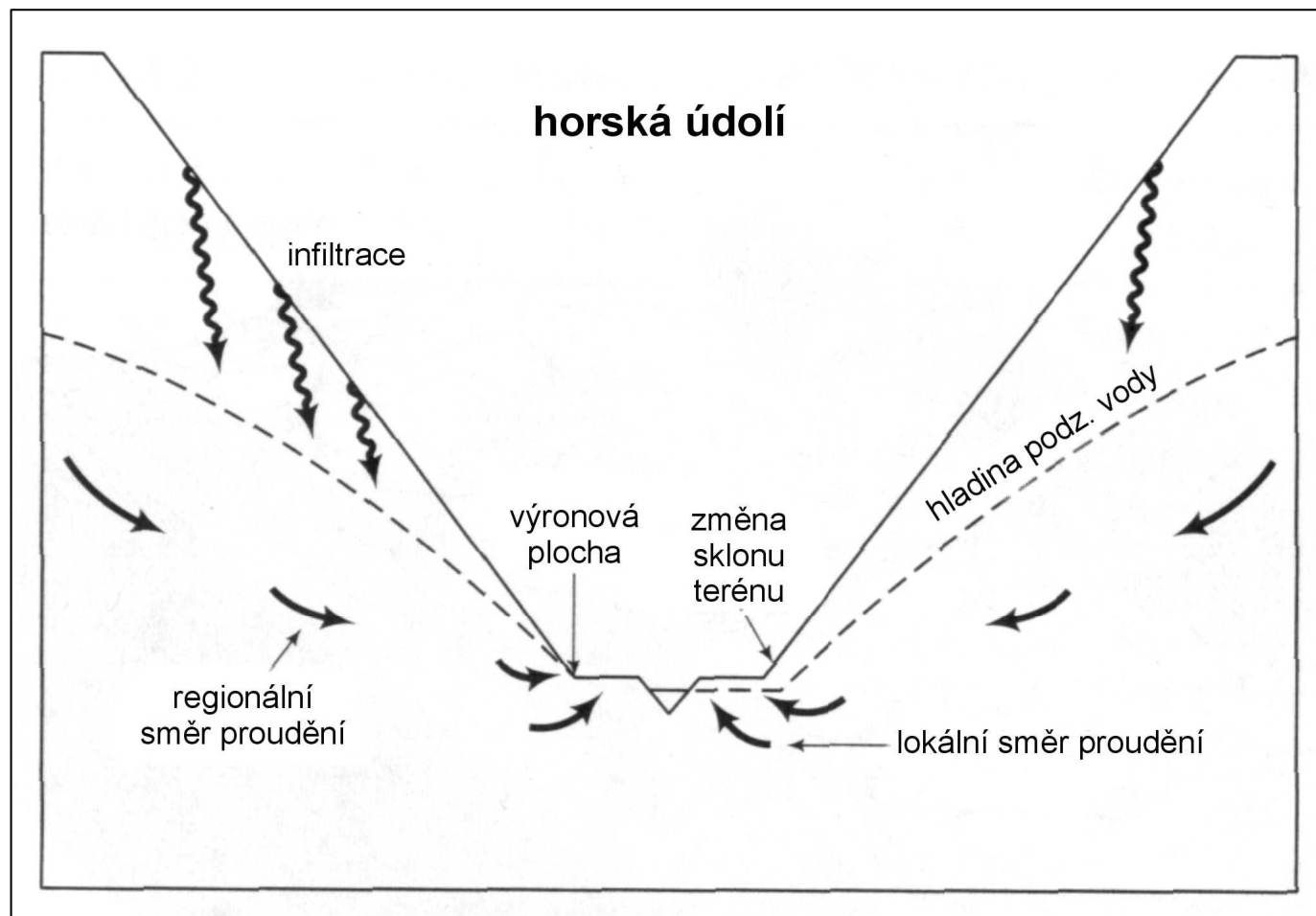
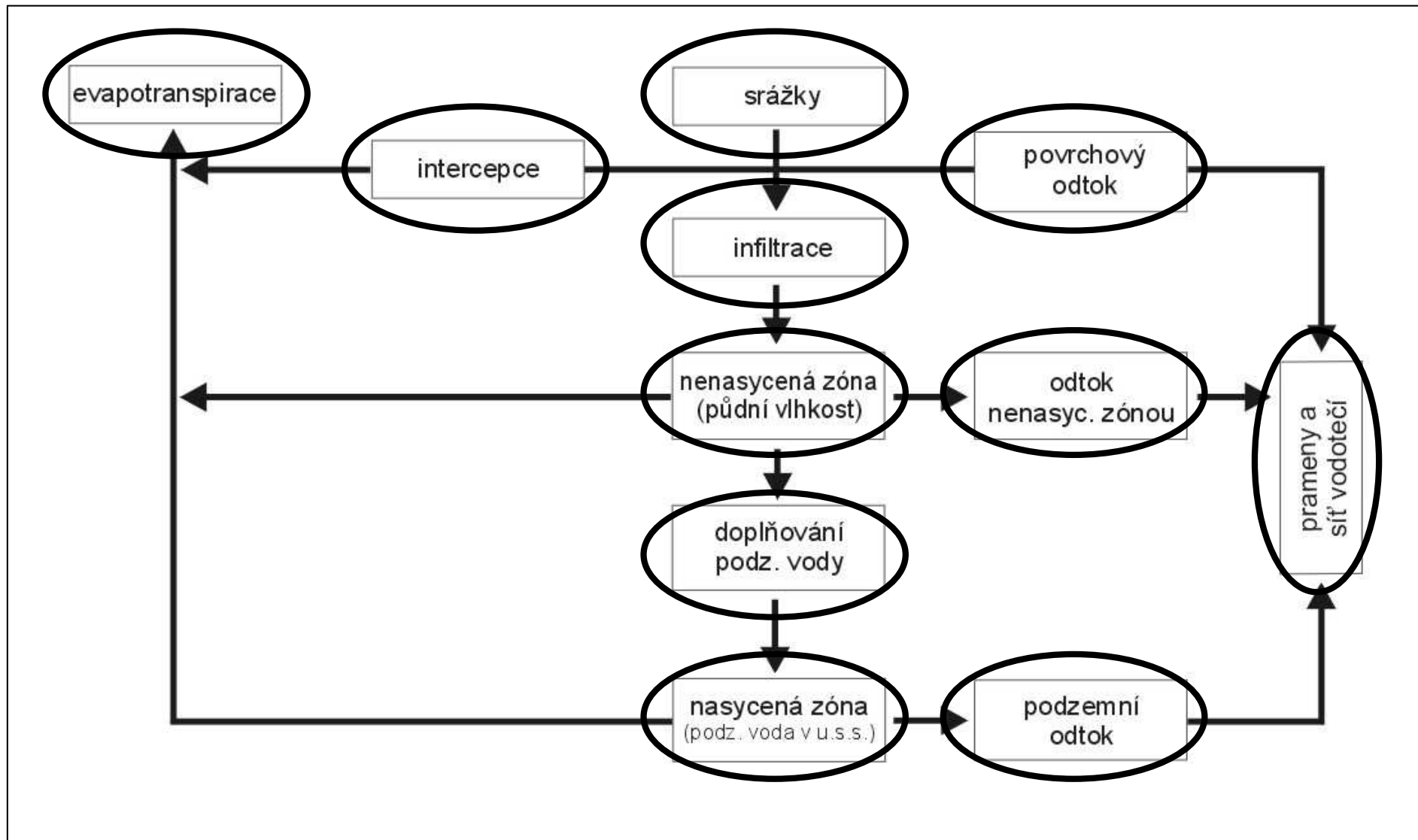


Schéma odvodnění podzemních vod v horských údolích



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

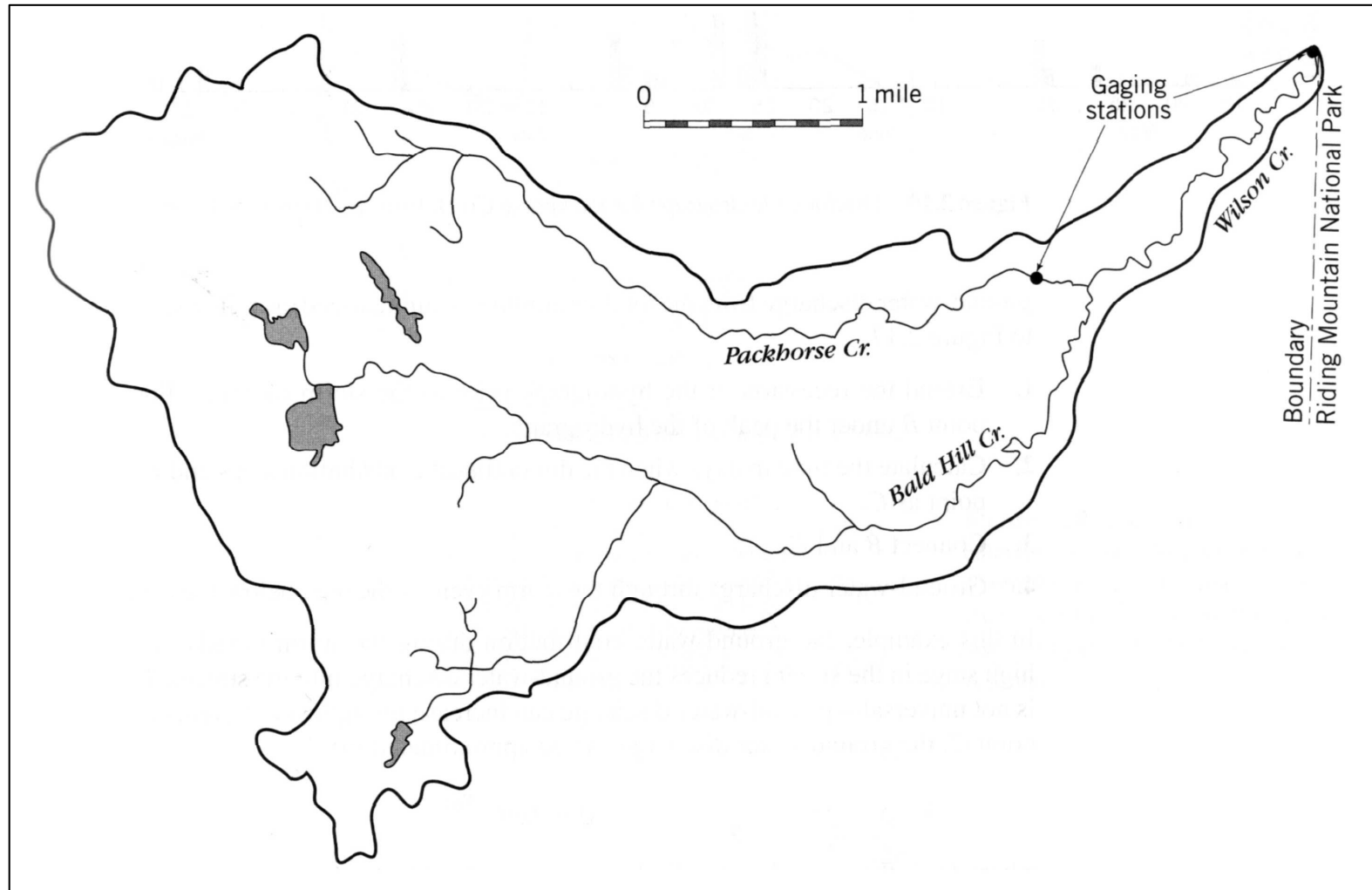
musíme navíc uvažovat i přítok vody (podzemní a povrchový) z jiných povodí

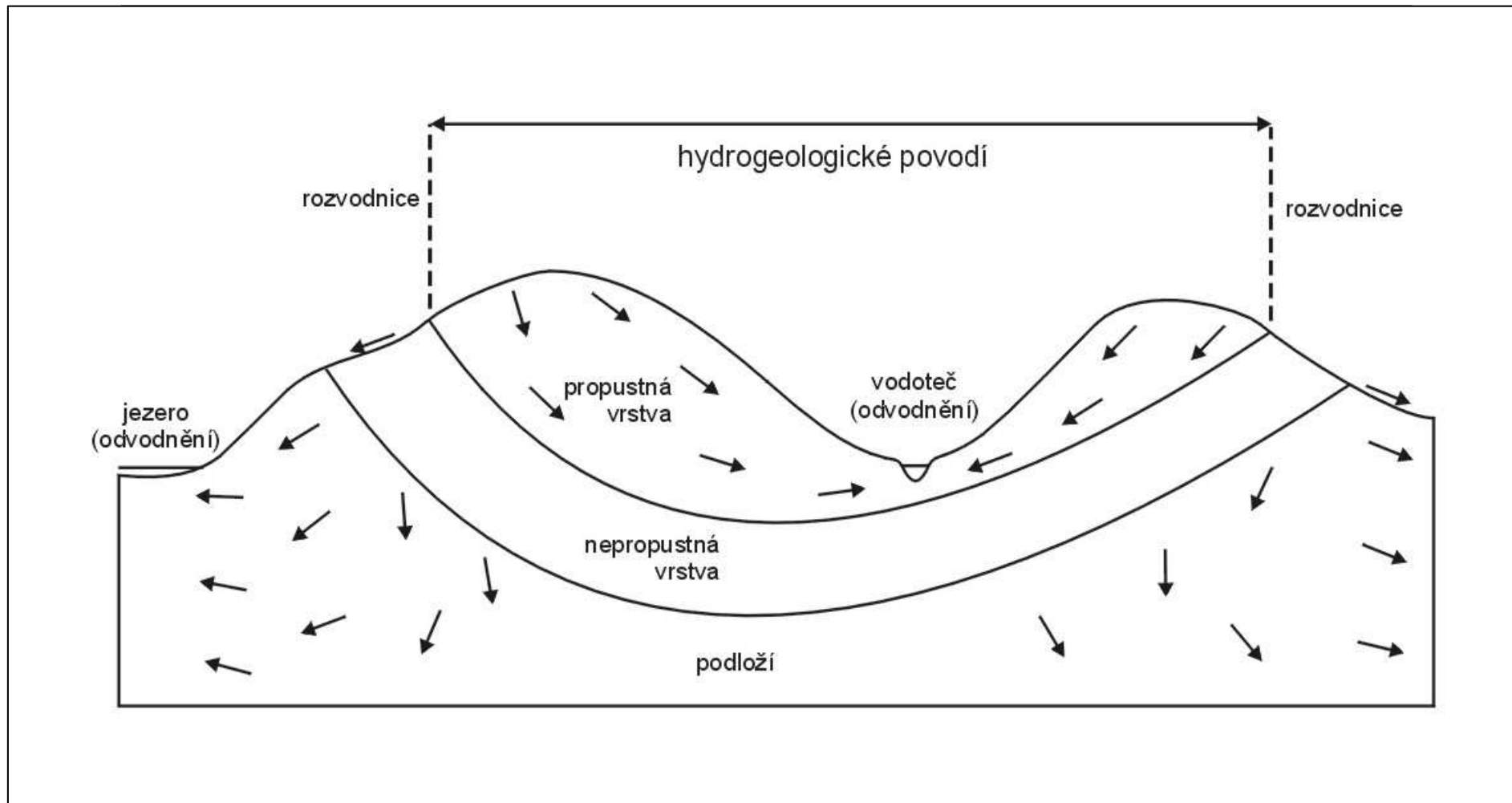
### další VSTUPY ( + )

- 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

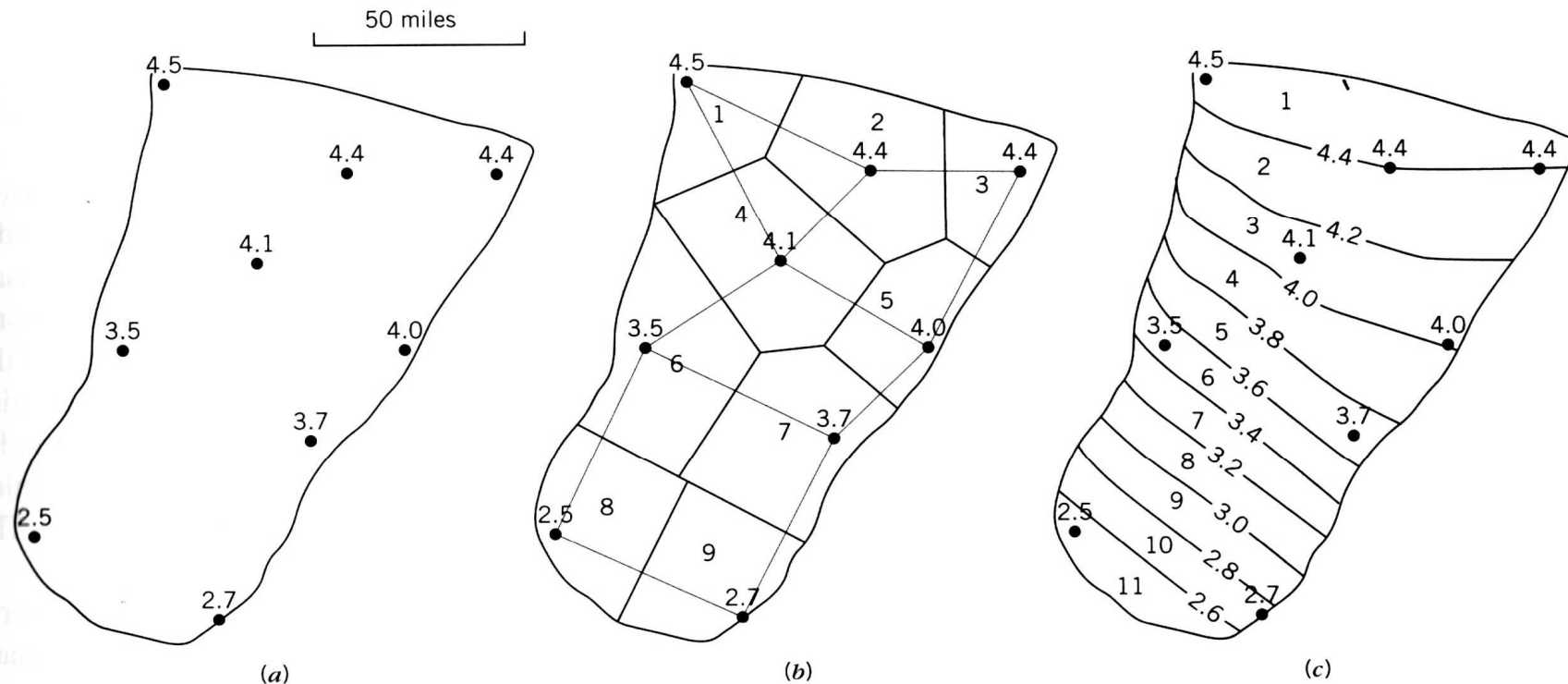
pevné skupenství (sníh)

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

## reprezentativní data

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

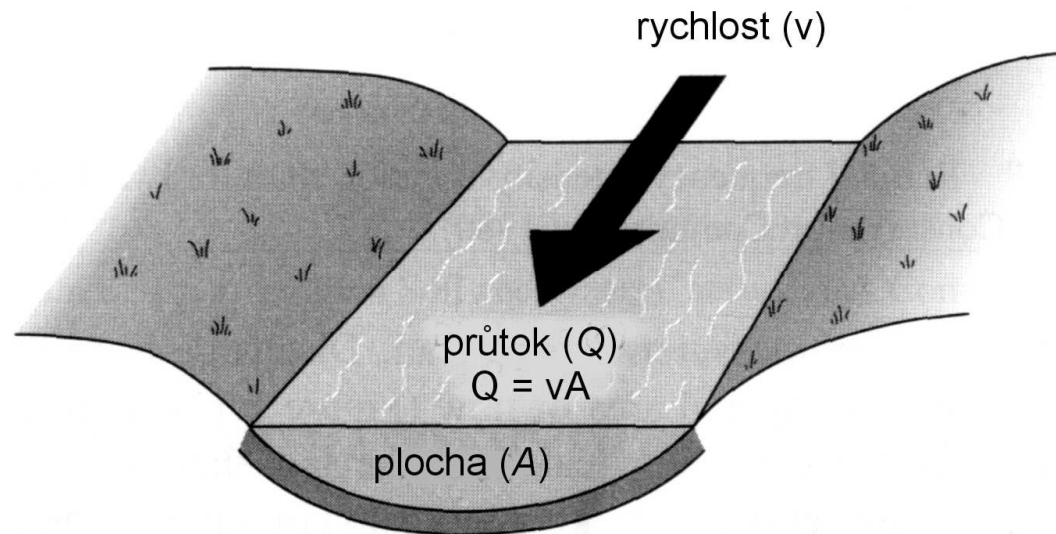
- aritmetický průměr
- Thiessenovy polygony
- izohyety



- 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

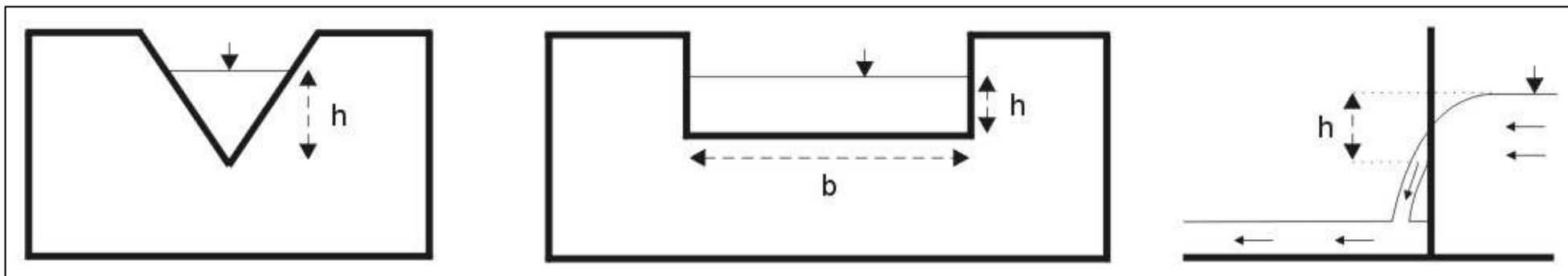
## způsoby měření průtoků

### 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 -  $Q = 2,362 \cdot \mu \cdot h^{5/2} \quad \dots (\mu = 0,62)$

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

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

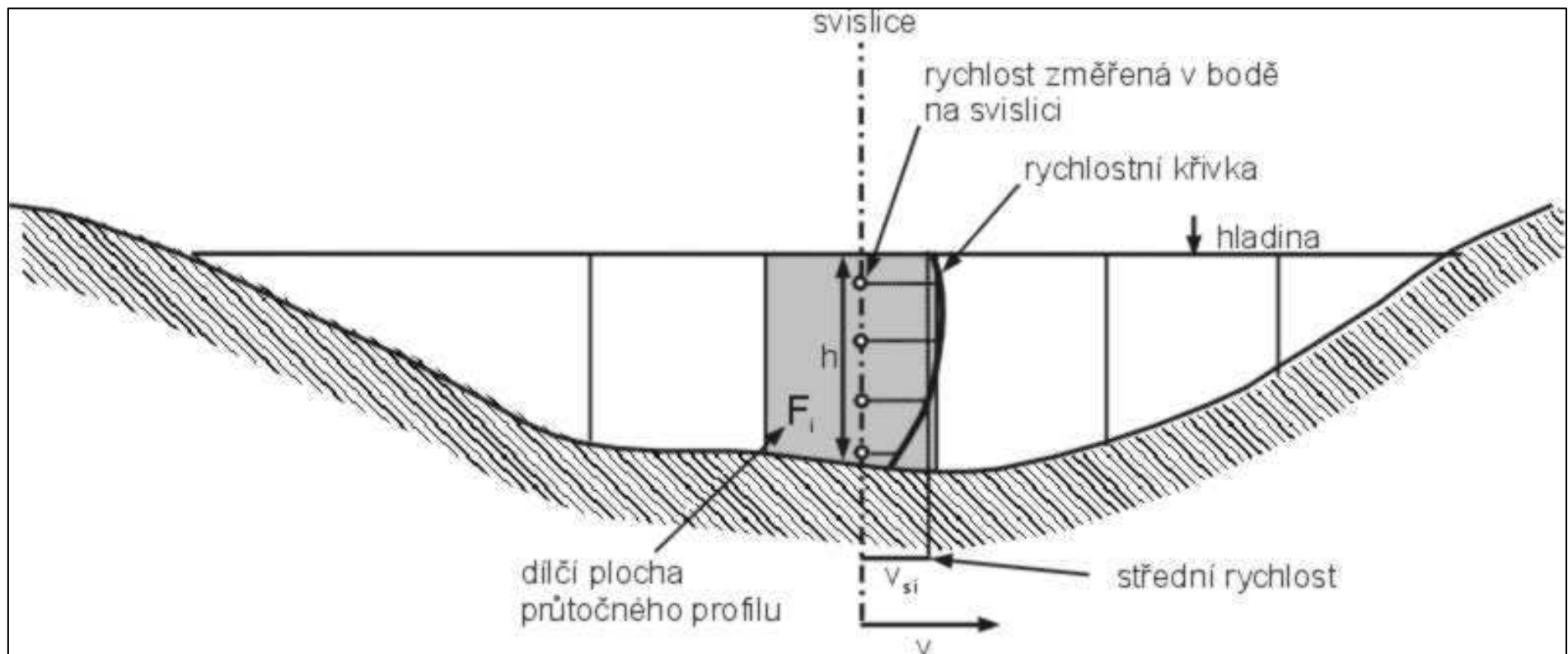
## 4. hydrometrování

použití u větších vodních toků

nejčastěji vybudování stálých měrných profilů

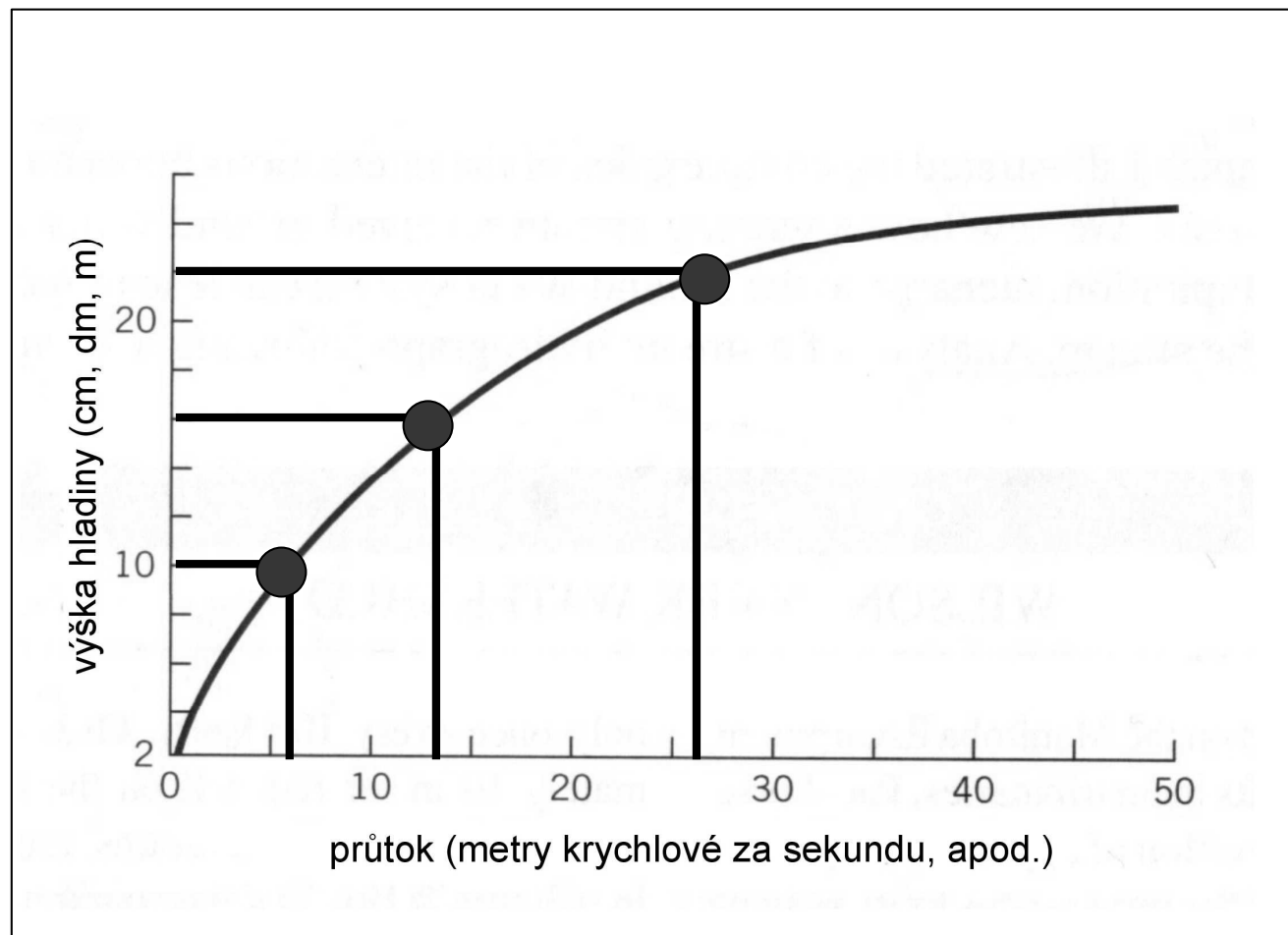
- použití tzv. *hydrometrické vrtule (křídla)*

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



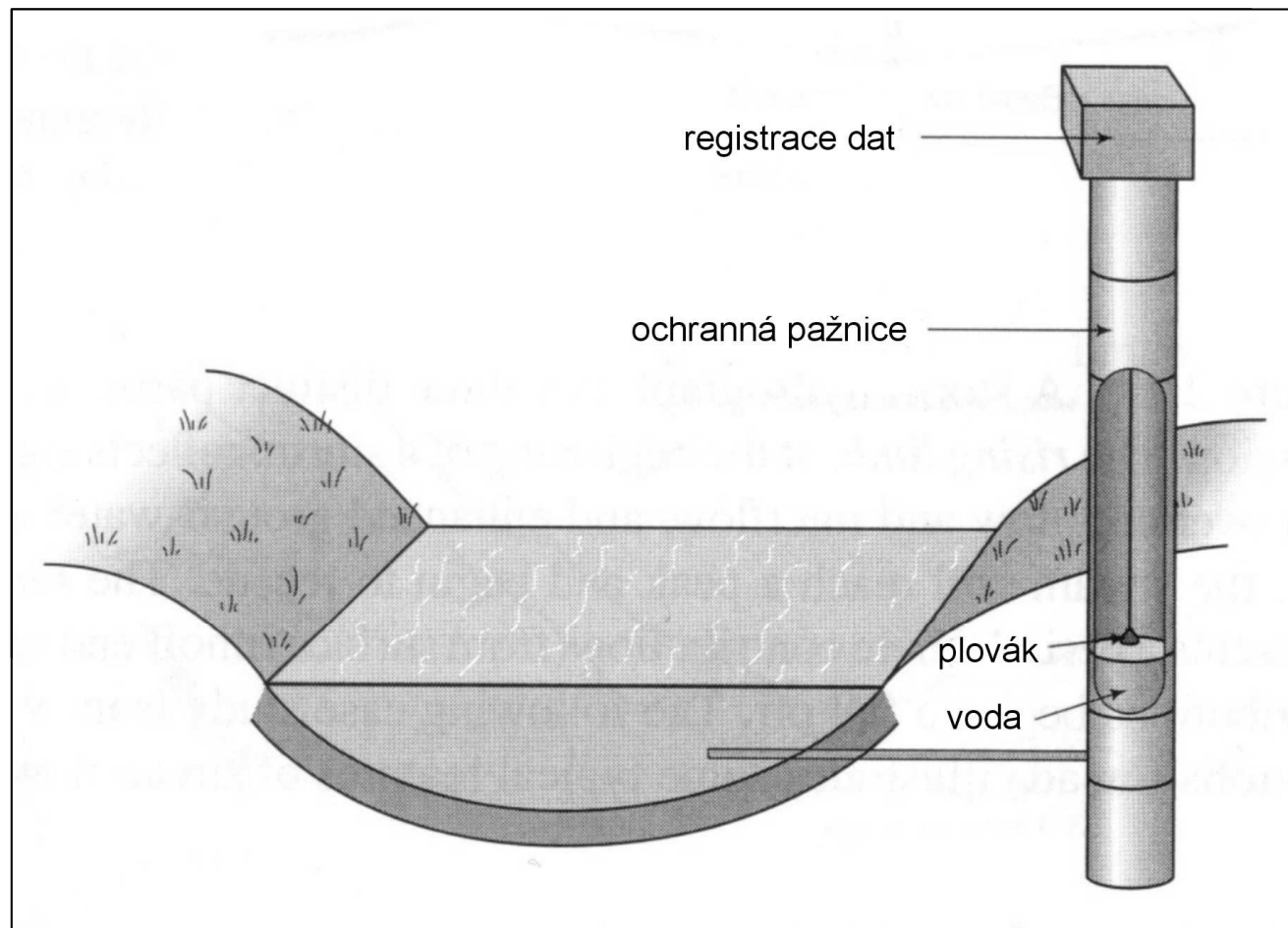
jednotlivé průtoky odpovídají jednotlivým stavům hladin  
(při konstantní geometrii průtočné plochy – koryta)

*konsumpční křivka* – vyjadřuje závislost průtoku na výšce hladiny



orientační metoda – unášecí účinek proudu – splývající tělíska

# měření výšky (stavu) hladiny



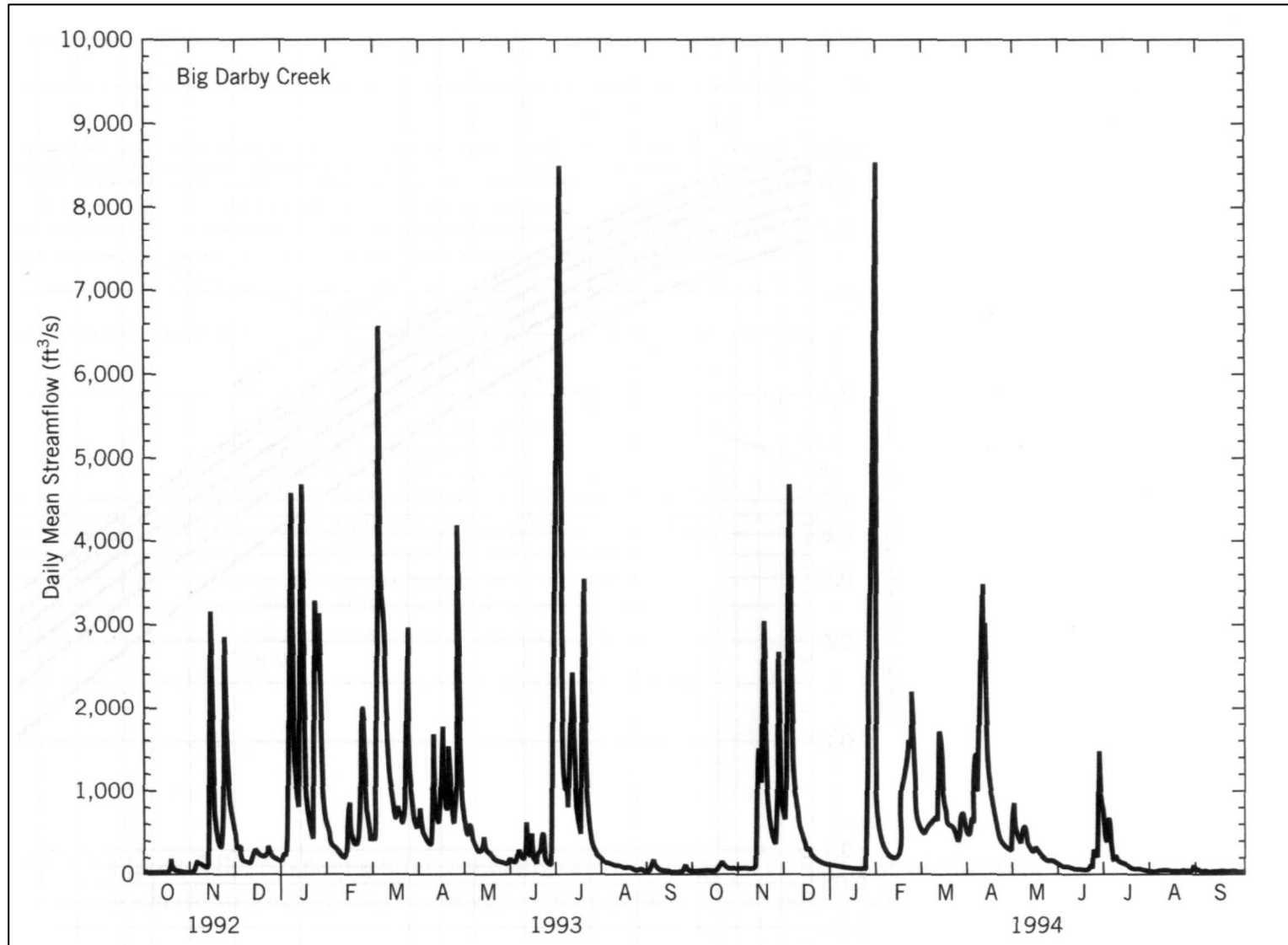
průběžně – limnigraf



# hydrogram

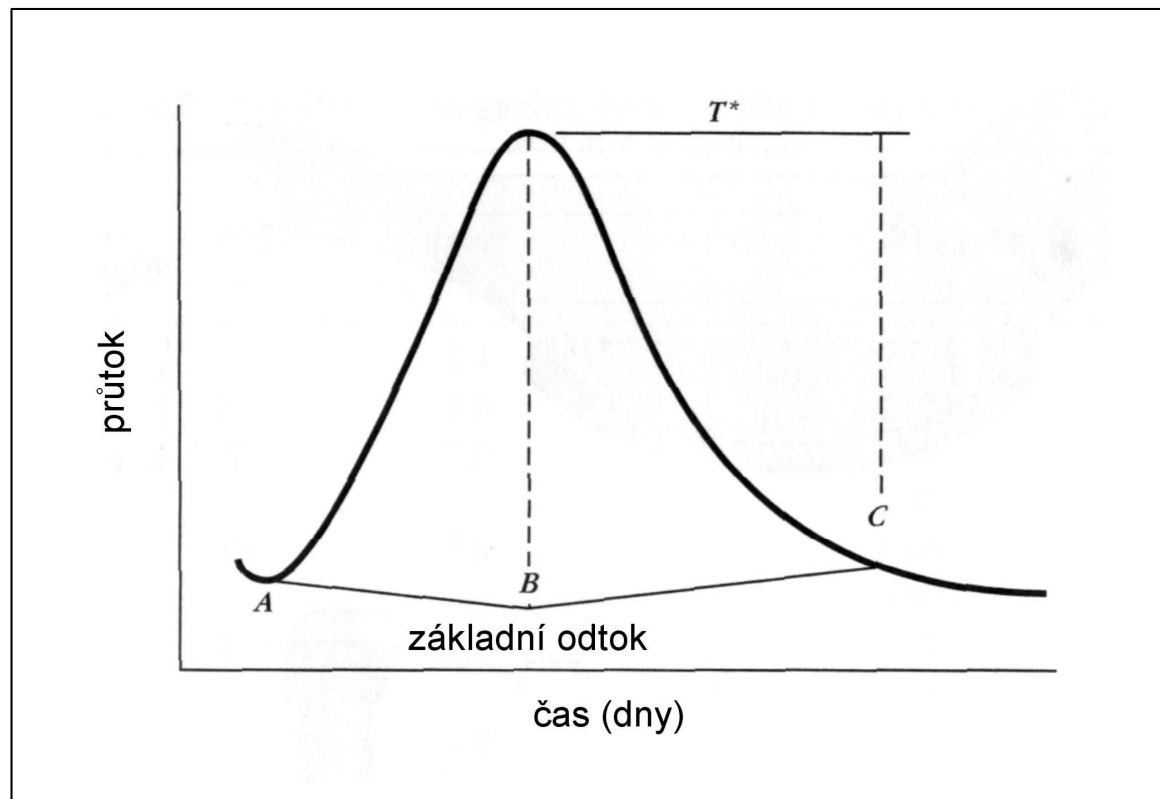
- chronologický záznam průtoku v profilu

-  $Q \dots f(t)$



## separace hydrogramu

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



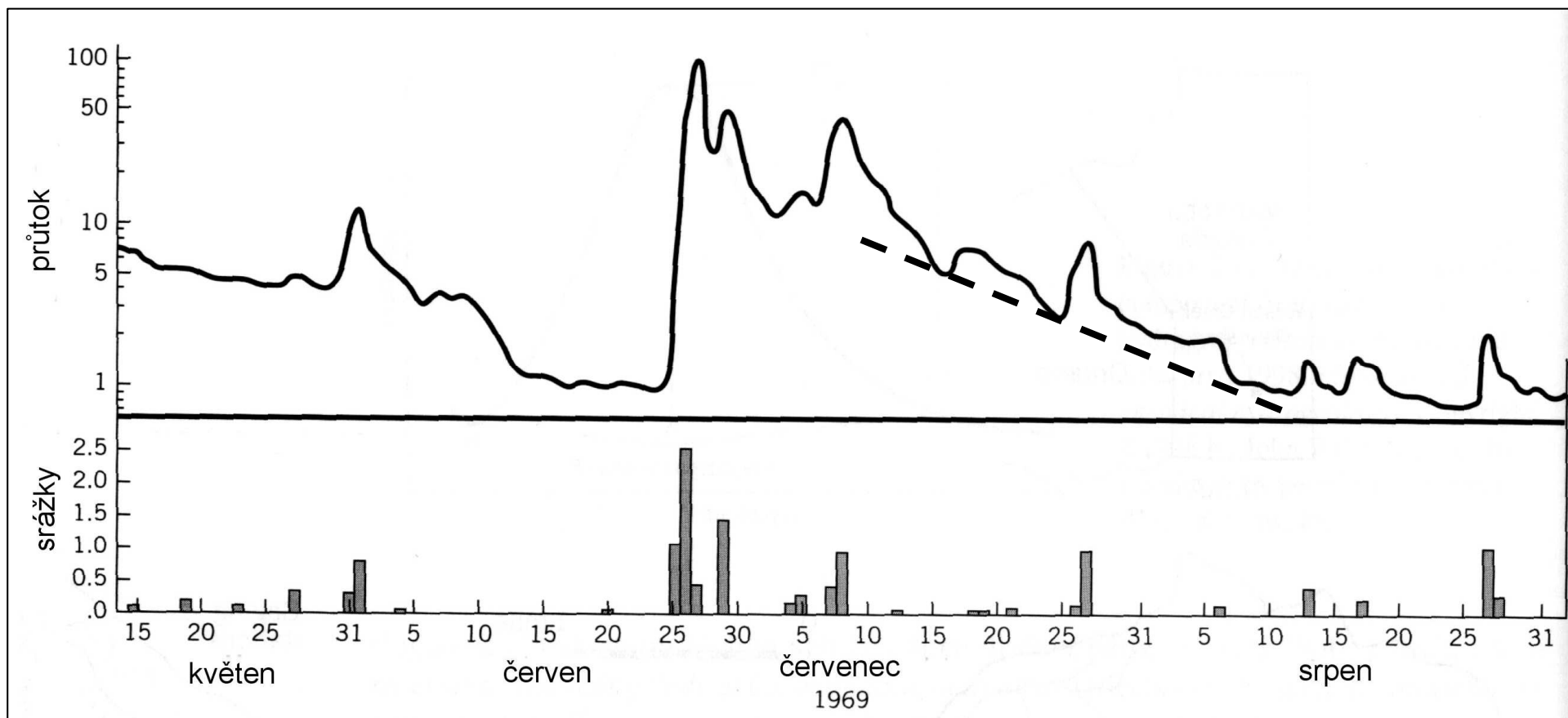
$$T^* = A^{0,2}$$

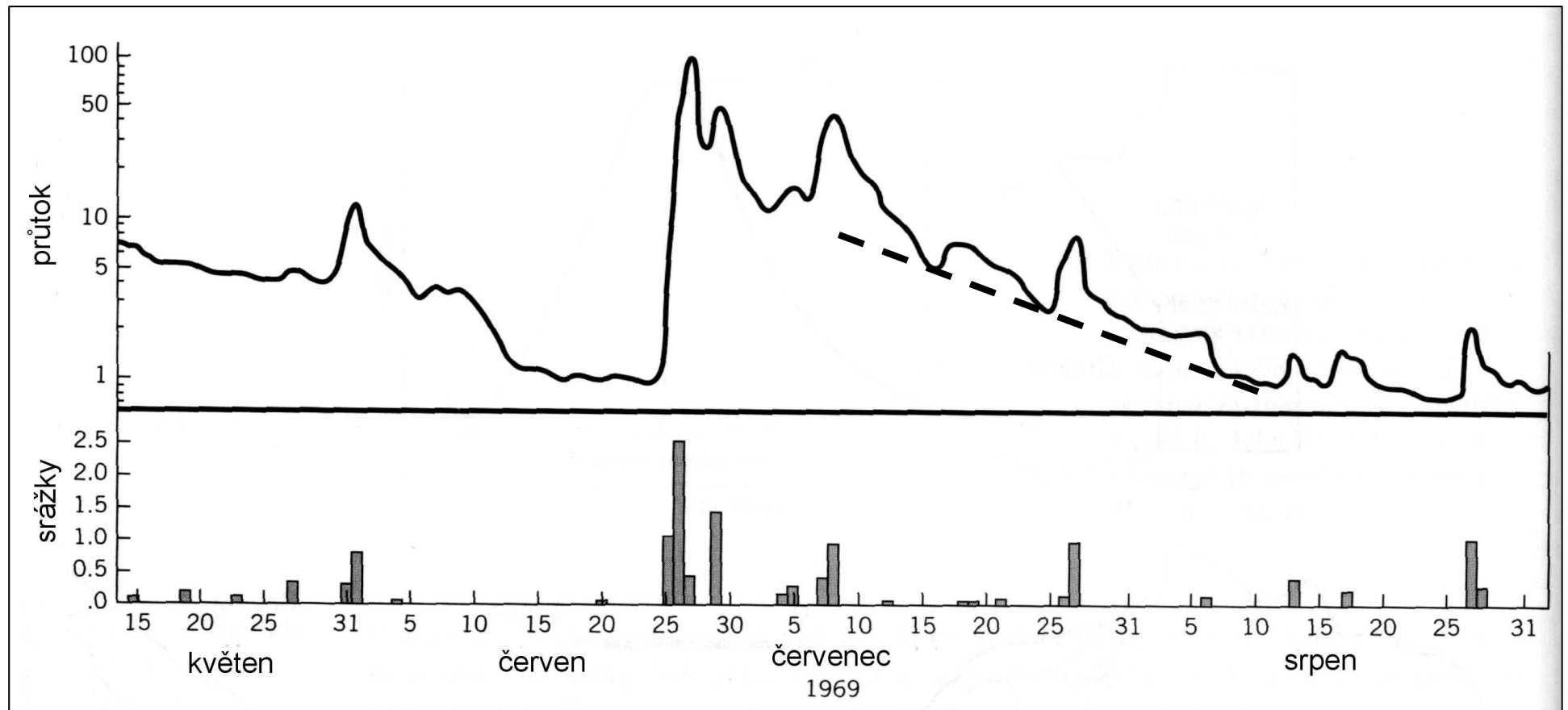
$T^*$  čas konce  
povrchového odtoku

$A$  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

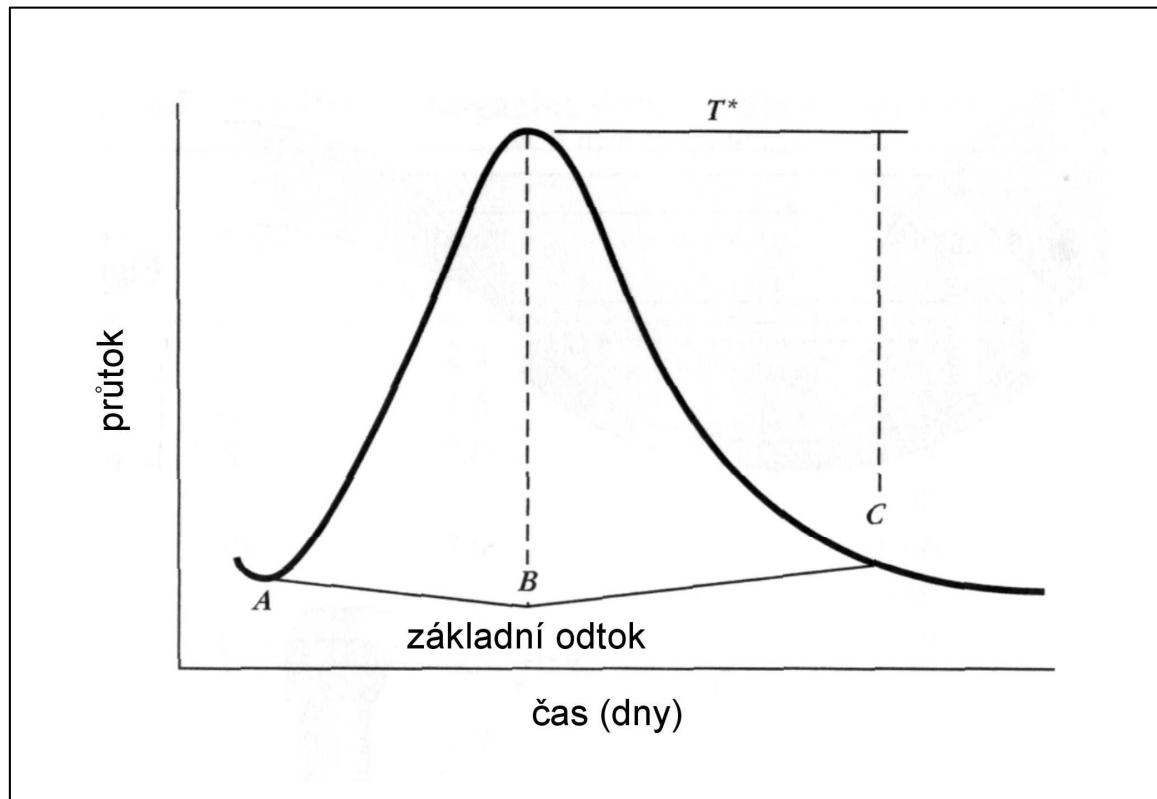
- Mailletova rovnice

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

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

$Q_0$  podzemní odtok v bodě C

$k$  recesní konstanta



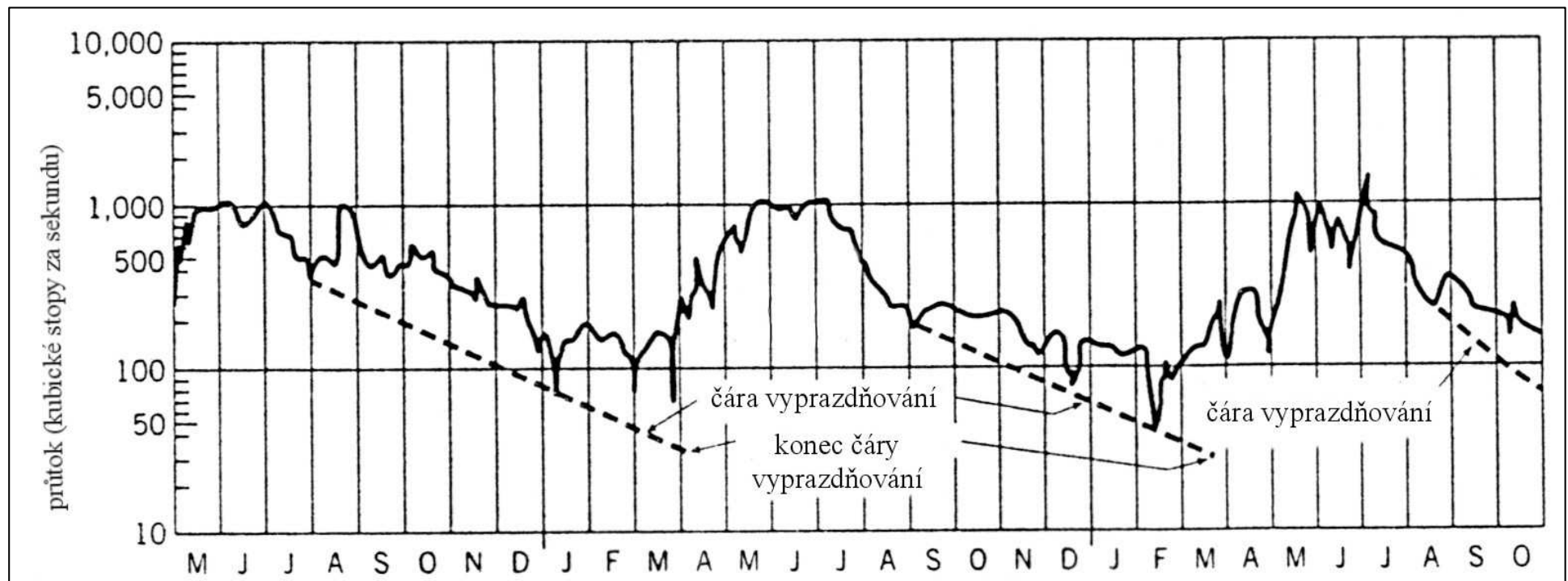
$$k = -(1/t) \cdot \ln(Q/Q_0)$$

## 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 logaritmickému cyklu vydatnosti)



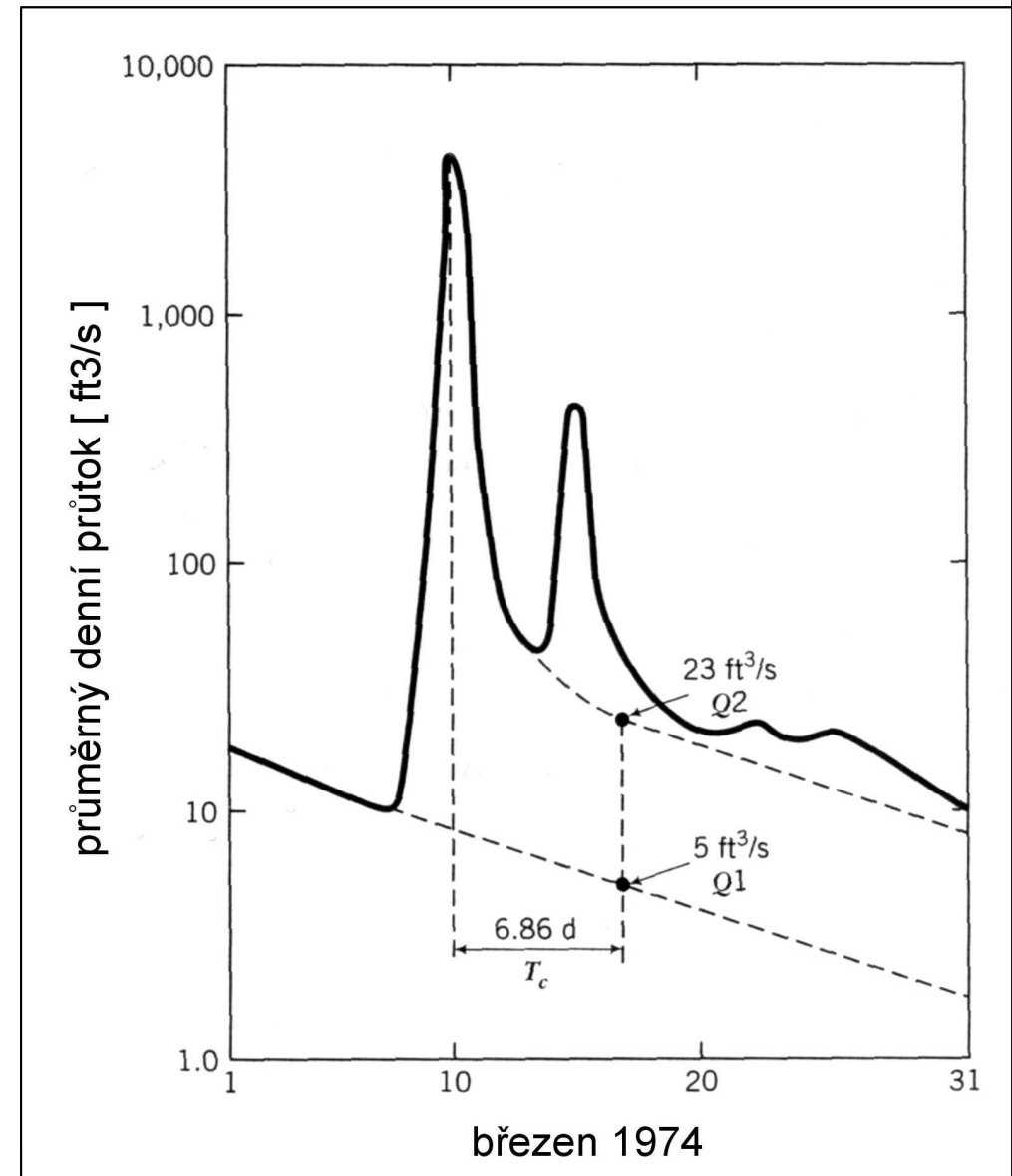
## doplňování zásob podzemní vody mezi dvěma srážkovými událostmi

(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  $i$ )

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

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

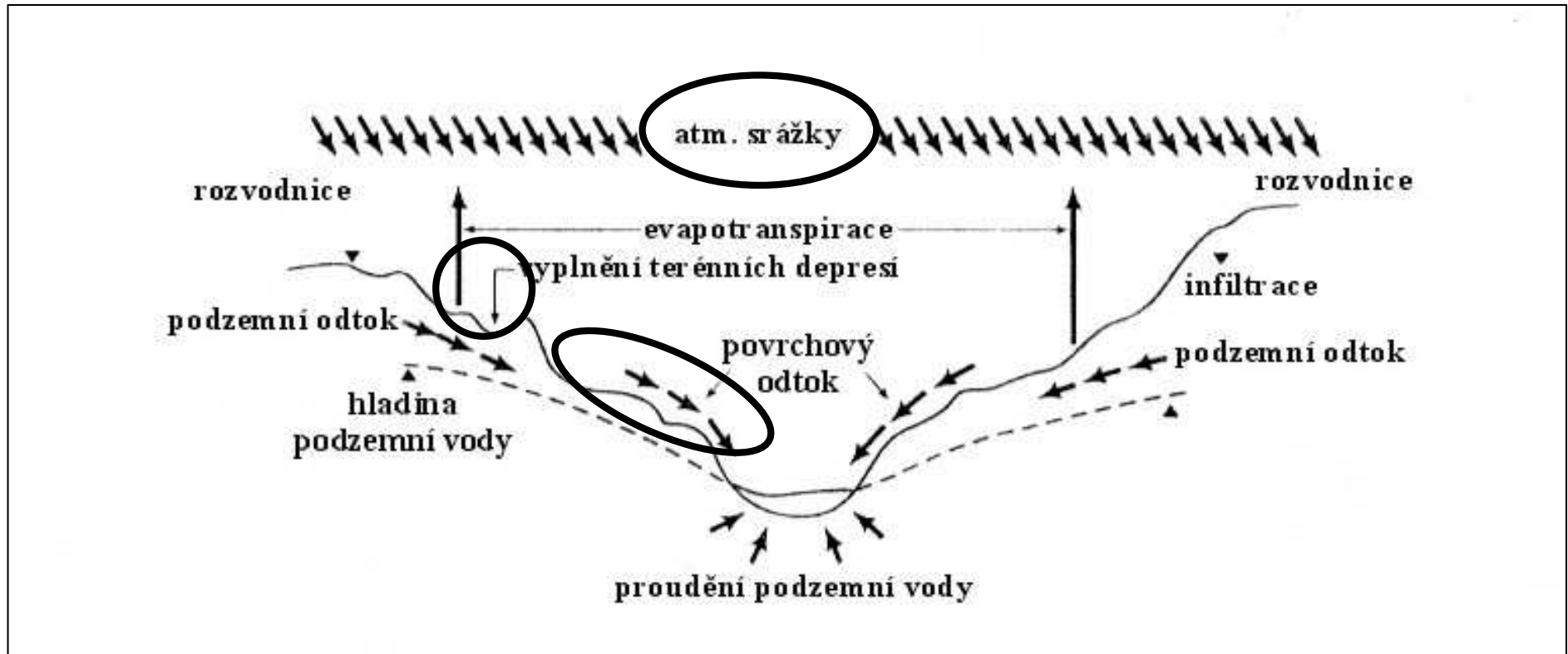
$F(\lambda)$  ... korekční koeficient (funkce zeměpisné šířky – hodnoty tabelovány)

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 [ m<sup>3</sup>/s ]

$C$  odtokový koeficient

$i$  průměrná intenzita srážek [ mm/hod ]

$A$  příslušná plocha [ km<sup>2</sup> ]

## 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

