

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 PfF 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.

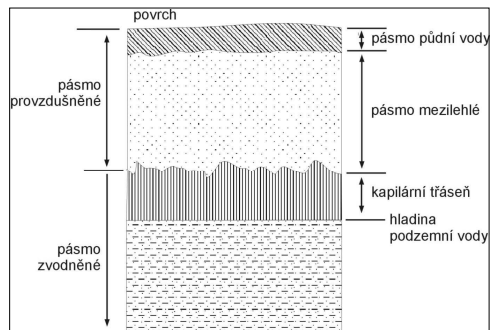
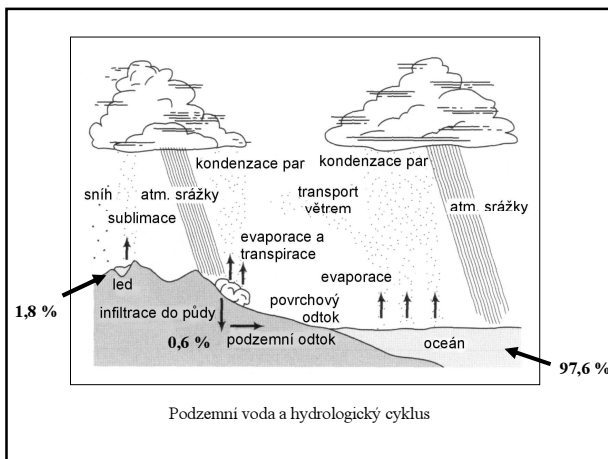
Šilar, J. – Pačes, T. – Dovolil, M. – Sarga, K. (1983): Všeobecná hydrogeologie, SPN Praha.

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

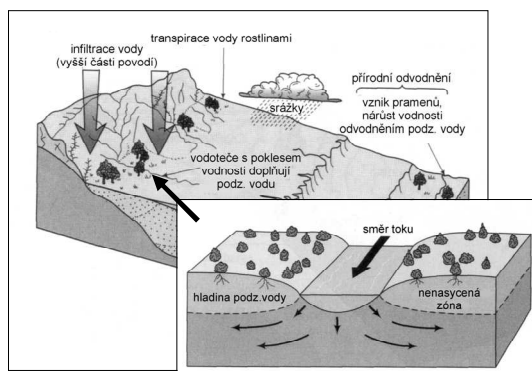
POZICE HYDROGEOLOGIE MEZI OSTATNÍMI VĚDAMI

interdisciplinární věda

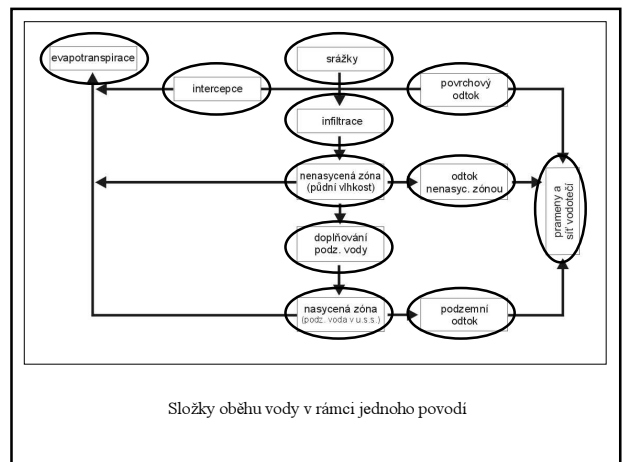
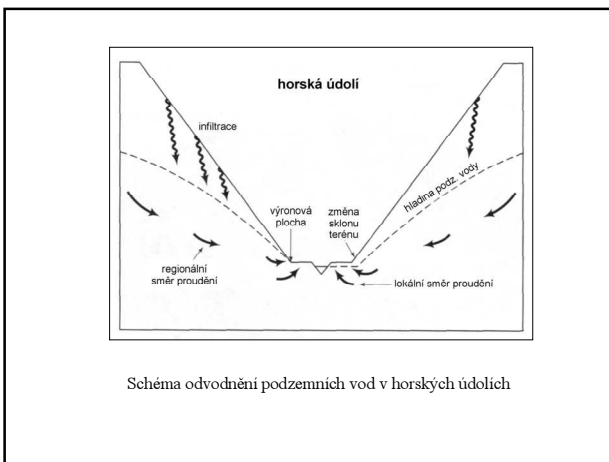
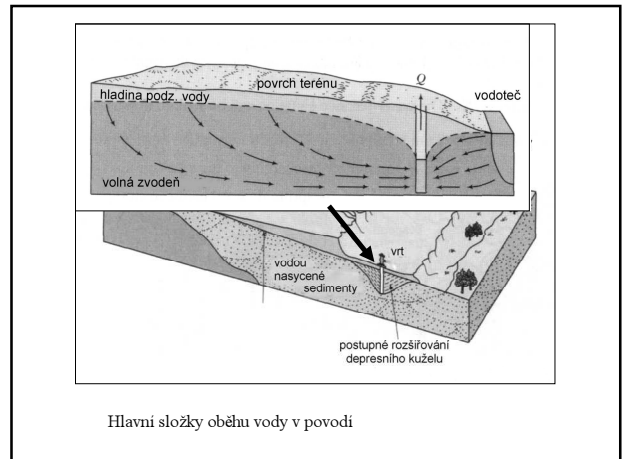
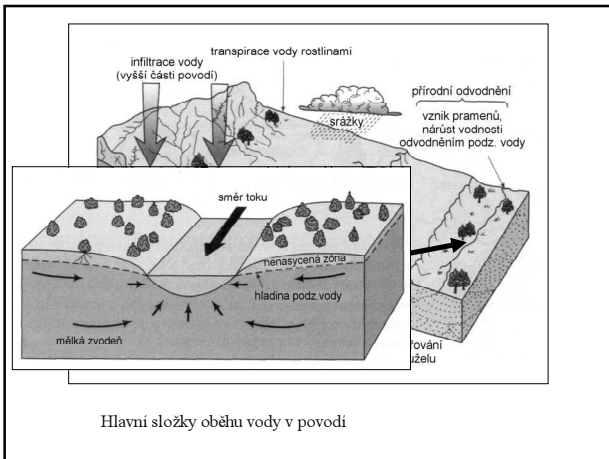
- geologie
- hydrologie
- matematika
- chemie
- fyzika



zóny výskytu podzemní vody



Hlavní složky oběhu vody v povodí



HYDROLOGICKÁ BILANCE

1. v rámci jednoho povodí

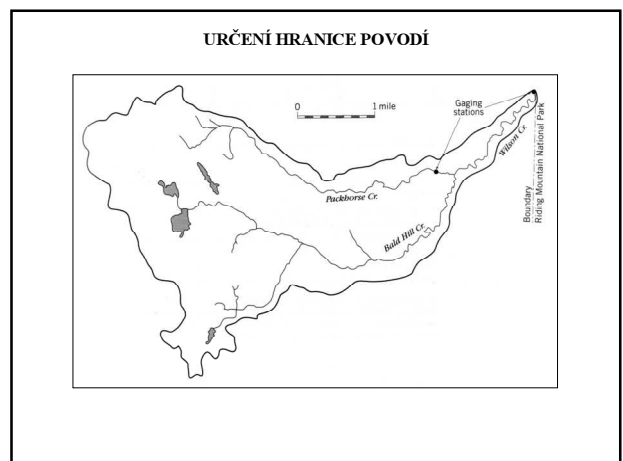
VSTUPY (+)	VÝSTUPY (-)
- atm. srážky (P)	- povrchový odtok (PO)
infiltrace (I)	- podzemní (bazální) odtok (D)
	- hypodermický odtok (HO)
	- evaporace + transpirace (ET)

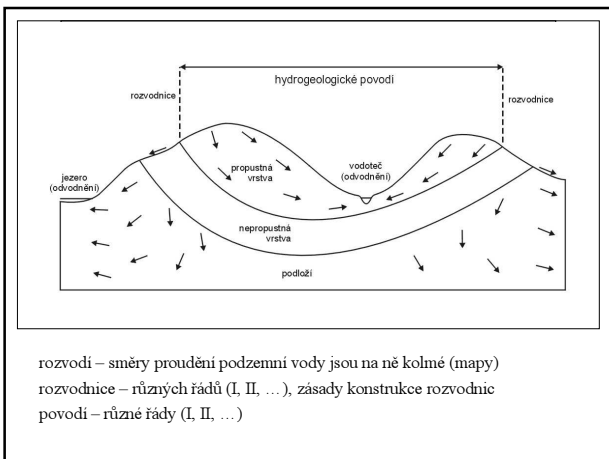
2. v rámci více povodí

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

další VSTUPY (+)

- povrchový přítok (PP)
- podzemní přítok (DP)





ROVNICE HYDROLOGICKÉ BILANCE

zhodnocení vstupů a výstupů v různé velkých posuzovaných regionech

- globální měřítko – množství vody je víceméně konstantní
- lokální měřítko – hydrogeologické struktury, povodi, 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 povodi (pouze pro bilanci podzemní vody)
 $D + Qi - T - Qo = \Delta S$

antropogenní zásahy – vstupuje další člen rovnice – čerpané množství ($\pm Qč$)
 $D + Qi - T - Qo \pm Qč = \Delta S$

sestavění 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 povodi se obvykle členy vyjadřují v m^2 (plocha povodi v m^2 násobená hodnotou členu vyjádřenou v mm vodního sloupce)

URČENÍ JEDNOTLIVÝCH ČLENŮ BILANČNÍ ROVNICE

SRÁŽKY

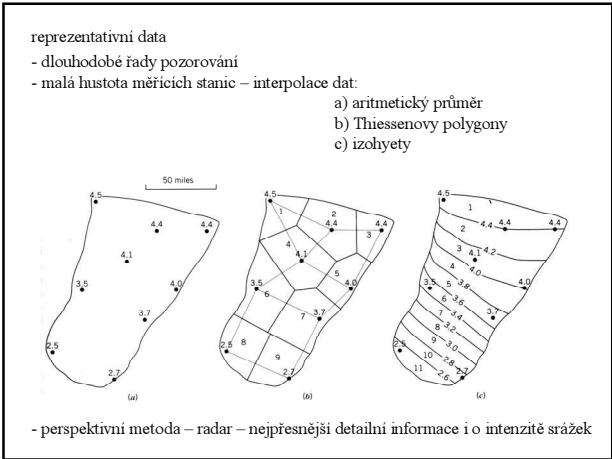
základní a nejvýznamnější vstupní člen bilanční rovnice

kapalné skupenství (déšť)

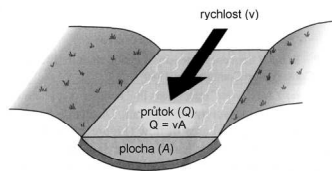
- srážkoměry - kalibrované nádoby minimalizující odpar
- měření za určité období (24 hodin) nebo kontinuálně

pevné skupenství (sněh)

- měření měnou latí nebo pomocí radionuklidů
- přepočten na ekvivalent vodního sloupce



POVRCHOVÝ ODTOK A PŘÍTOK
(měření průtoků ve vodotečích)

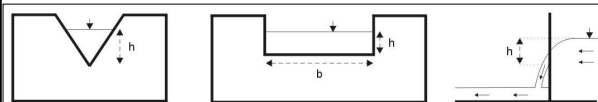


zásady měření

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

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

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

$$Q = \frac{(C_1 - C_2)}{(C_2 - C_0)} C_1 Q_1$$

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

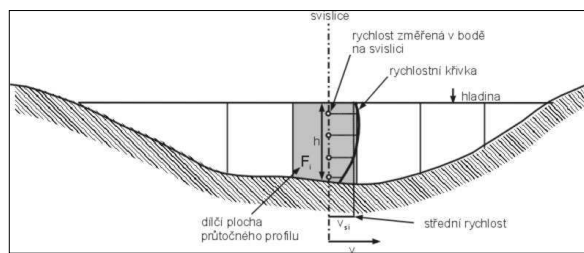
$$Q = \frac{V \cdot C_1}{t(C_2 - C_0)}$$

4. hydrometrování

použití u větších vodních toků

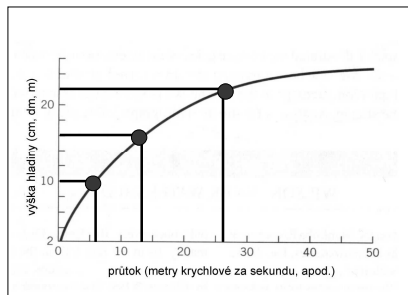
nejčastěji vybudování stálých měrných profilů

- použití tzv. *hydrometrické vrtule (křídla)*
- měří se rychlost proudění – přímo úměrná otáčkám vrtule ... $v = a + b \cdot n$



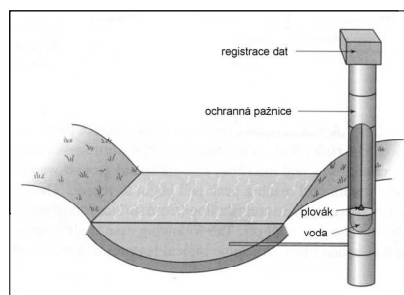
jednotlivé průtoky odpovídají jednotlivým stavům hladin
(při konstantní geometrii průtočné plochy – koryta)

konzumpční křivka – vyjadřuje závislost průtoku na výšce hladiny



orientační metoda – unášecí účinek proudu – splývající tělíska

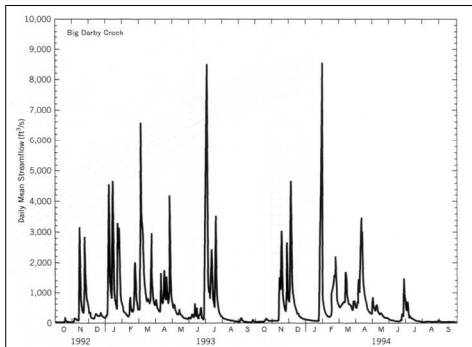
měření výšky (stavu) hladiny



průběžně – limnigraf

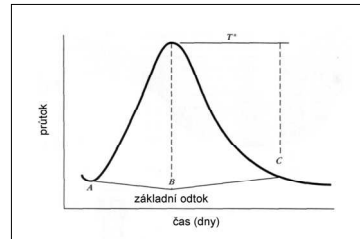
hydrogram

- 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



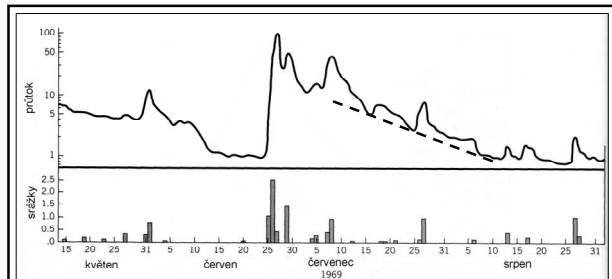
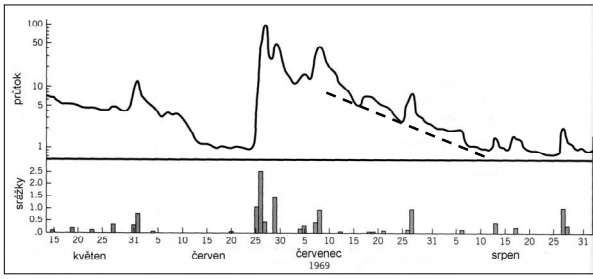
$$T^* = A^{0.2}$$

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) $\times \log Q$ (osa y)
- období po vydatnějších srážkách se promítou 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 přímkové části charakterizuje retenci povodí

krasové oblasti – mirmější (prameny)

sedimentární pánve – střední až mirmější (prameny)

krystalinikum – strmější (prameny)

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

- Mailletova rovnice

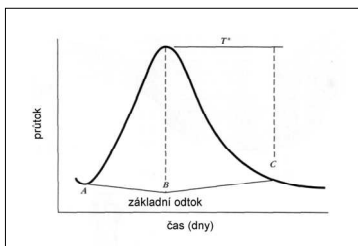
$$Q = Q_0 \cdot e^{-kt}$$

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)

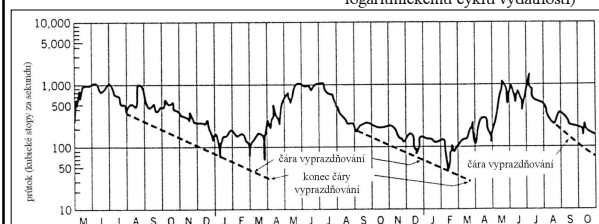
$$V = \frac{Q_0 \cdot K}{2,306}$$

V celkový objem vody

Q_0 podzemní odtok v bodě C

K recesní index

(čas odpovídající jednomu logaritmickému cyklu vydatnosti)



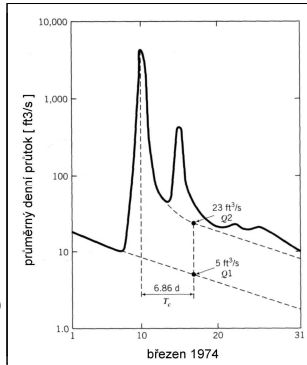
doplňování zásob podzemní vody mezi dvěma srážkovými událostmi

(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** (obtížné 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
 Thomthwaitův

Thomthwaitův 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)

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

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

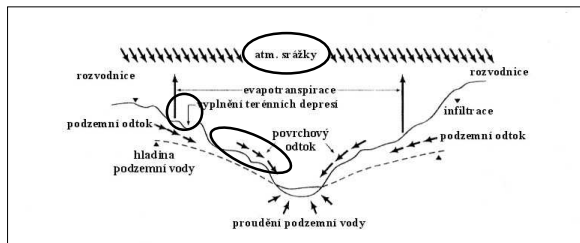
$F(\lambda)$... korekční koeficient (funkce zeměpisné šířky – hodnoty tabulovány)

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	1,04	1,01	1,04
10	1,00	91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	1,02	1,02
15	97	91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,03	1,01	97
20	94	90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	93	94
25	92	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	87	1,03	1,07	1,16	1,16	1,19	1,13	1,02	98	89	88
29	91	87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,20	1,14	1,03	98	89	88
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	1,09	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	1,21	1,24	1,16	1,03	97	86	84
37	86	84	1,03	1,10	1,22	1,22	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	75
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	1,22	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

INFILTRACE A ODTOK

popis procesů



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

URČENÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU

malé oblasti (povodi)

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

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 lomy – 0,70 – 0,95
- pastviny - písčité půdy – 0,05 – 0,25
- zatravněná jílovitá půda se sklonem 2-7% - 0,18 – 0,22

