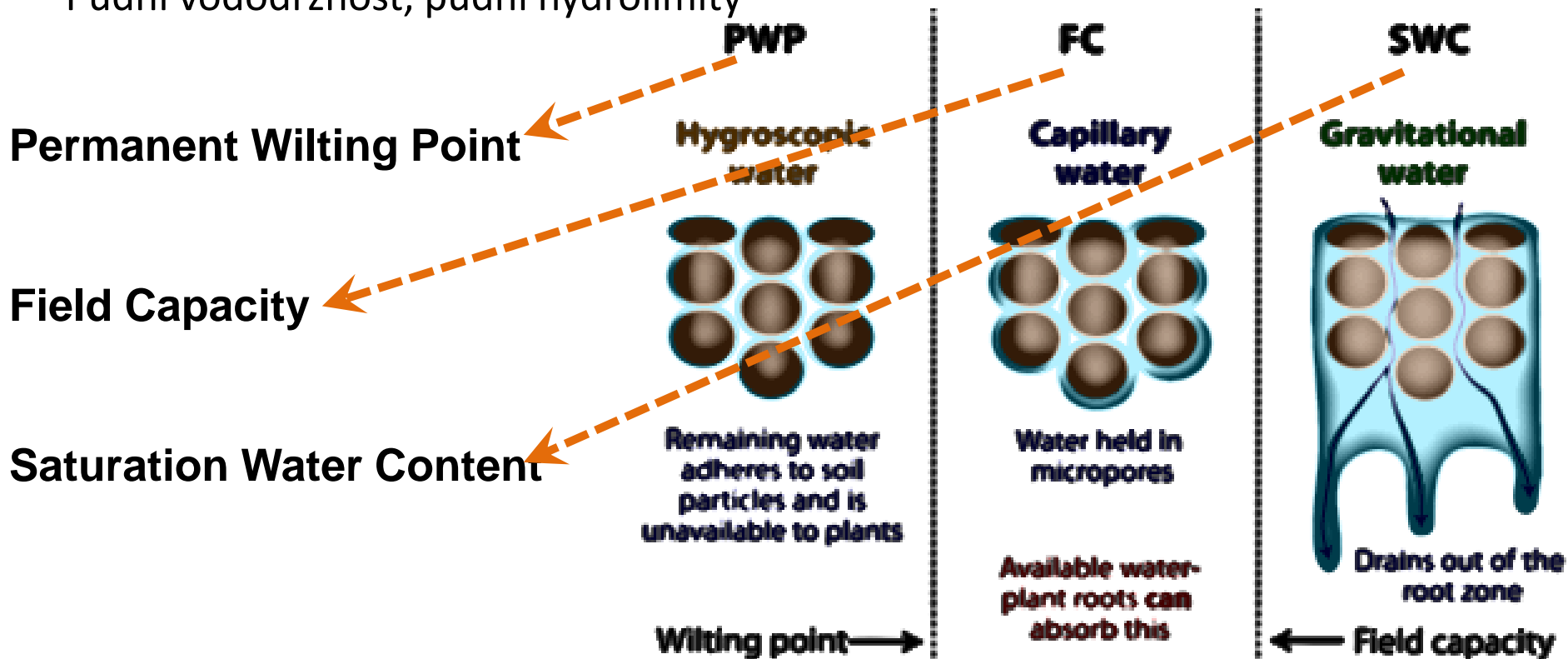


Pedologie

pro posluchače Mendelu v Brně, obor arboristika
akademický rok 2019/2020

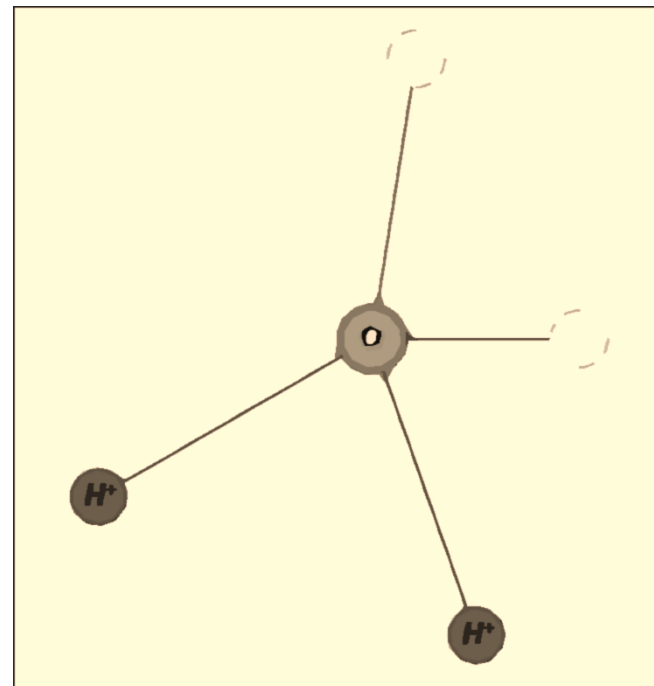
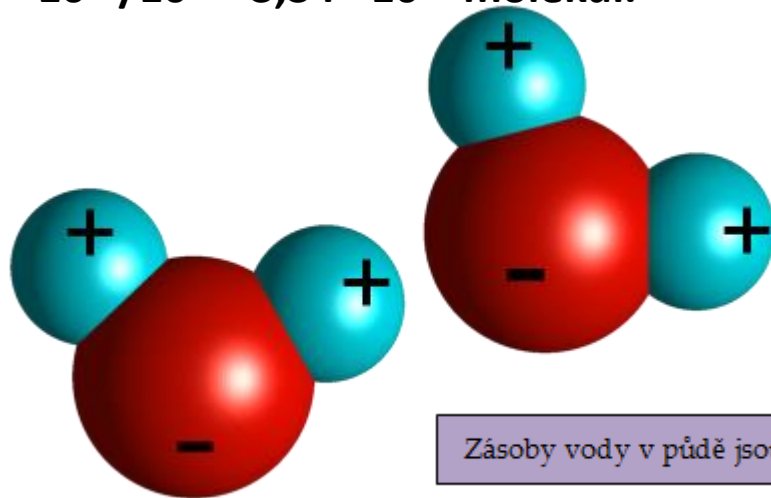
Přednáška 8: *Voda v půdě, kapalná fáze půdy*

- Zdroje a ztráty půdní vody
- Obsah a formy vody v půdě
- Potenciál půdní vody
- Pohyb vody v půdě, vodní režim
- Půdní vododržnost, půdní hydrolimity



Voda: základní vlastnosti a anomálie

- Skupenství
- Hustota
- Clustery
- ...
- voda jako dipól
- Slabá ionizace vody. Je-li každá 10^7 . molekula disociována (rozdělena na OH^- a H^+), pak je v 1 l H_2O disociovaných $3,34 \cdot 10^{25} / 10^7 = 3,34 \cdot 10^{18}$ molekul.

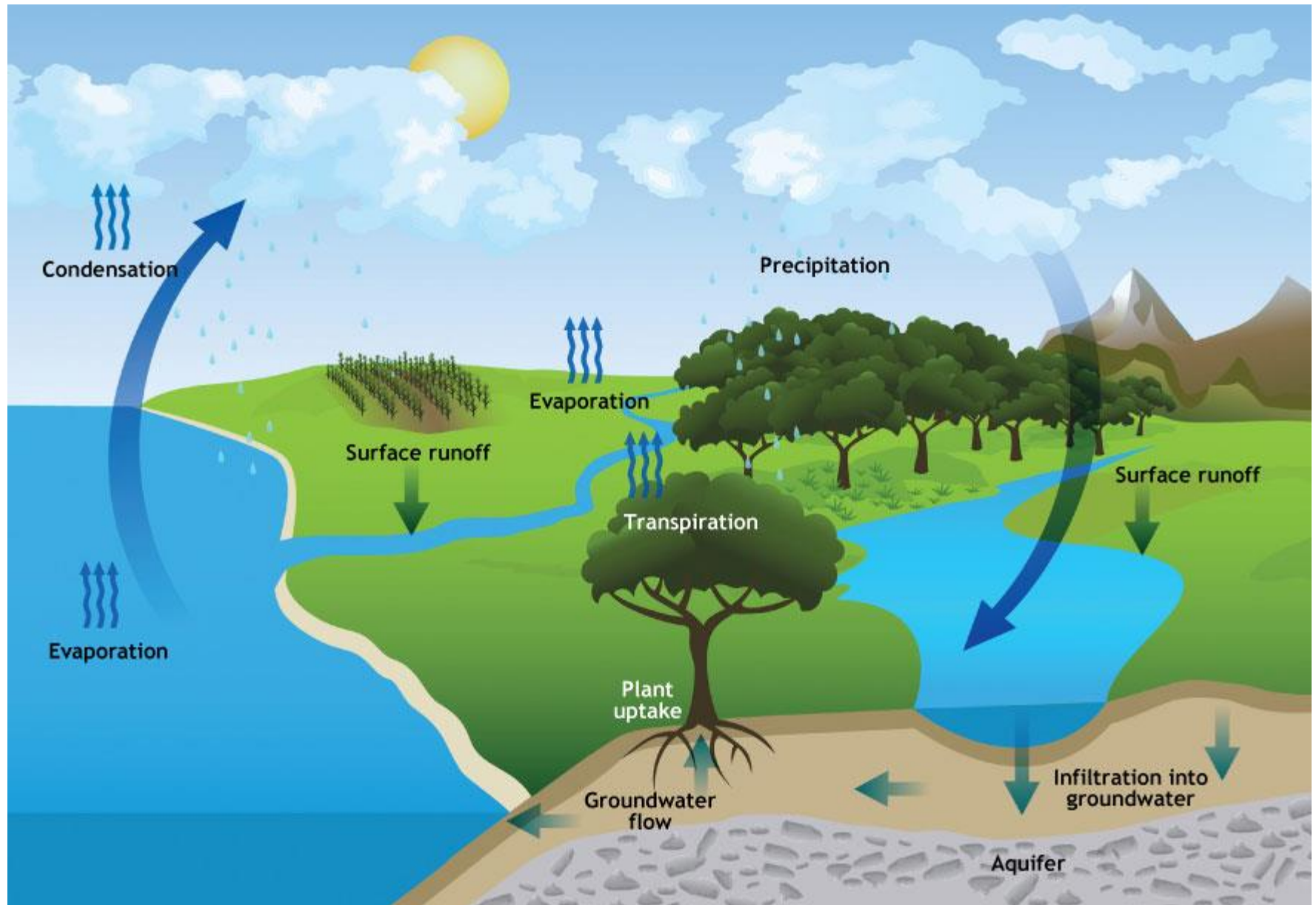


Zásoby vody na Zemi [$\cdot 10^{15}$ kg]

ledovce	19 200
horniny do 4 km hloubky	8 350
sladká a slaná jezera	229
půdy	67
řeky, potoky	1,2

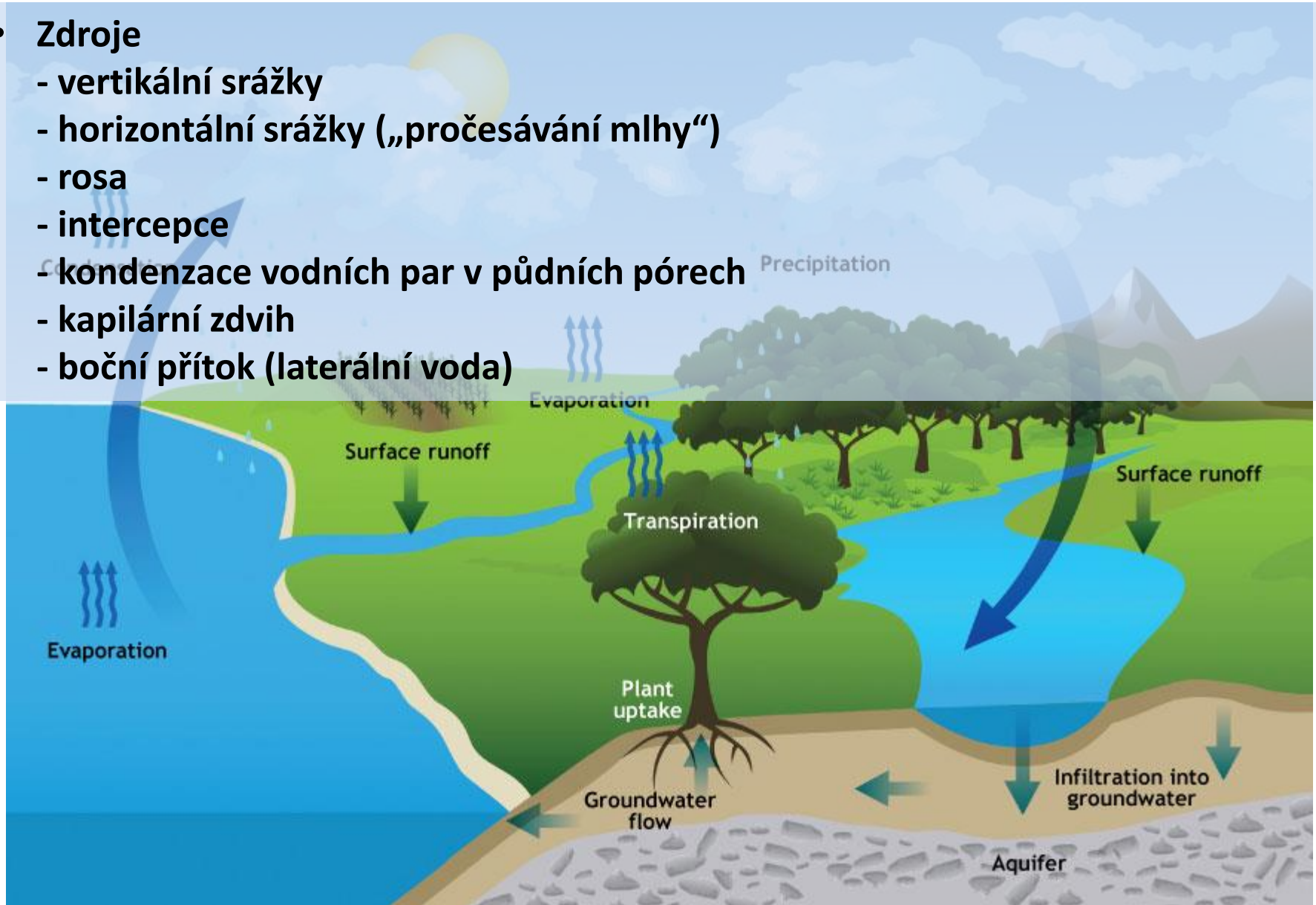
Zásoby vody v půdě jsou 60× větší než v řekách.

Zdroje a ztráty půdní vody



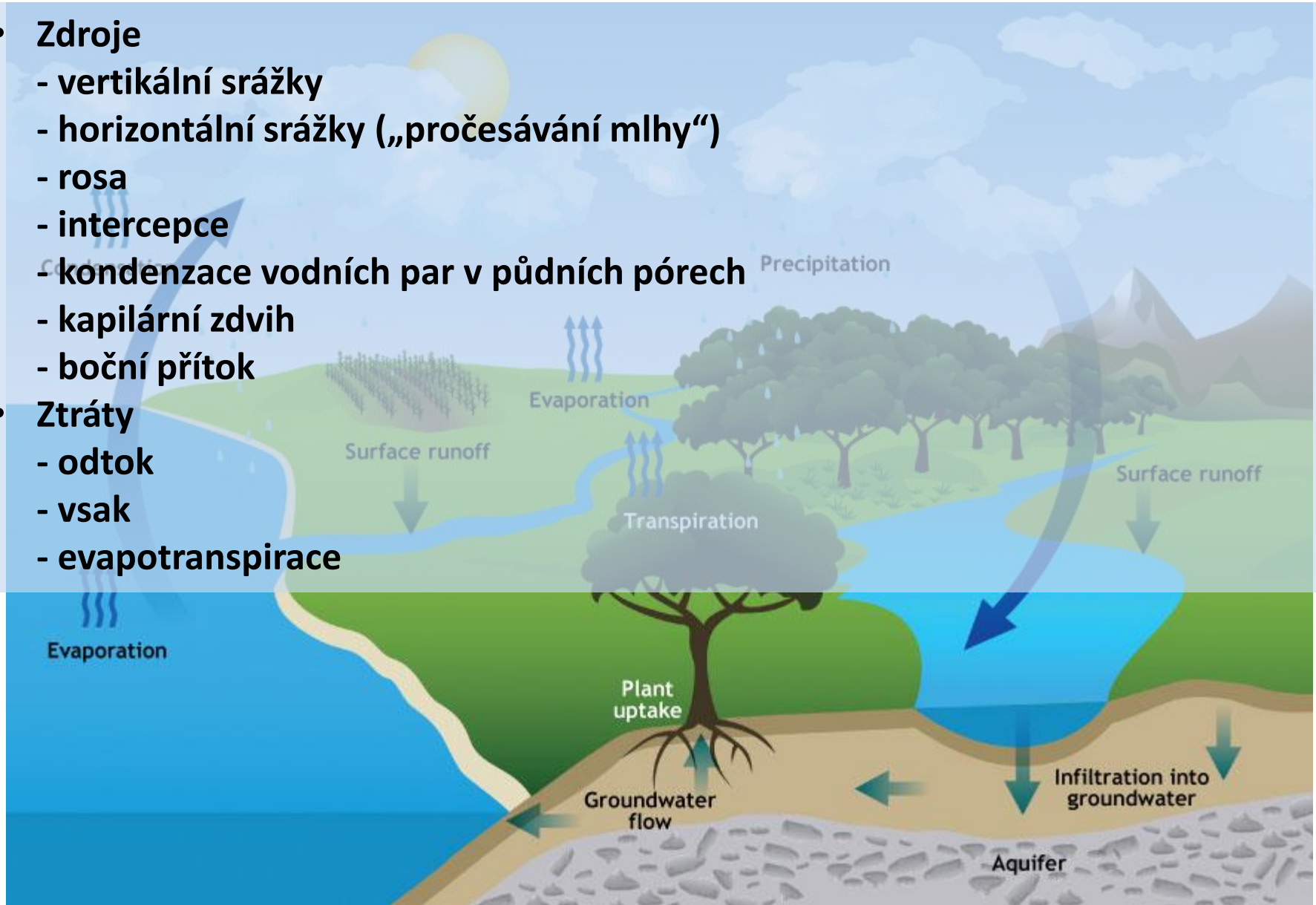
Zdroje a ztráty půdní vody

- Zdroje
 - vertikální srážky
 - horizontální srážky („pročesávání mlhy“)
 - rosa
 - intercepce
 - kondenzace vodních par v půdních pórech
 - kapilární zdvih
 - boční přítok (laterální voda)



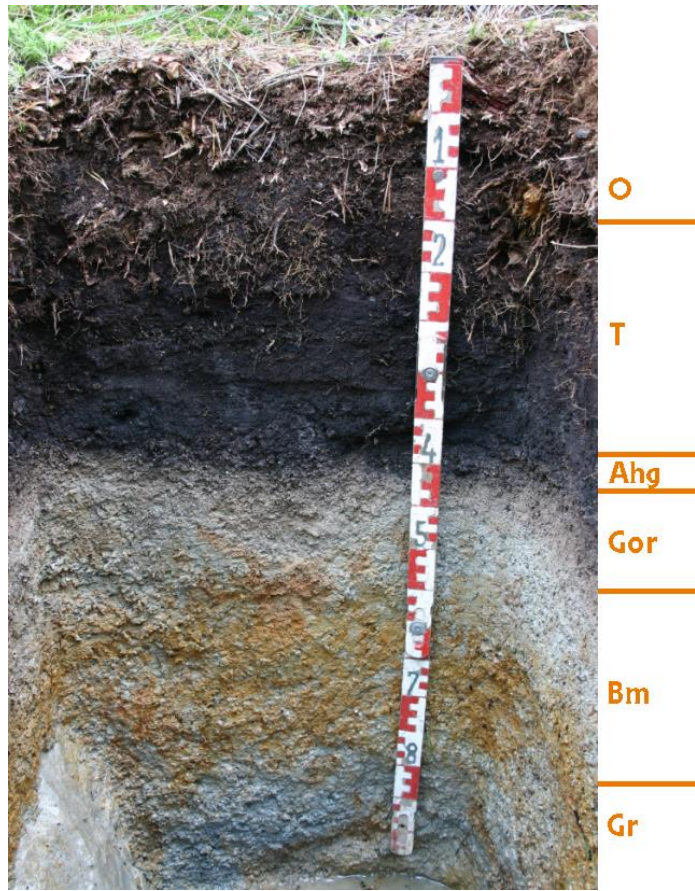
Zdroje a ztráty půdní vody

- Zdroje
 - vertikální srážky
 - horizontální srážky („pročesávání mlhy“)
 - rosa
 - intercepce
 - kondenzace vodních par v půdních pórech
 - kapilární zdvih
 - boční přítok
- Ztráty
 - odtok
 - vsak
 - evapotranspirace



Obsah a formy vody v půdě, vlhkostní charakteristiky

- osmotická voda
- kohezní voda
- sorpční voda (kapilární, obalová, hygroskopická)
- gravitační voda
- podzemní voda



Obsah a formy vody v půdě, vlhkostní charakteristiky

- **okamžitá vlhkost** (obsah vody v půdě v daném okamžiku)
- **hmotnostní vlhkost** (hmotnostní podíl vody v půdě [%hm])
- **objemová vlhkost** (objemový podíl vody v půdě [%obj])



Obsah a formy vody v půdě, vlhkostní charakteristiky

- **okamžitá vlhkost** (obsah vody v půdě v daném okamžiku)
- **hmotnostní vlhkost** (hmotnostní podíl vody v půdě [%hm])
- **objemová vlhkost** (objemový podíl vody v půdě [%obj])
- **relativní vlhkost** (vyplnění půdních pórů vodou [%obj])



Obsah a formy vody v půdě, vlhkostní charakteristiky

- **okamžitá vlhkost** (obsah vody v půdě v daném okamžiku)
- **hmotnostní vlhkost** (hmotnostní podíl vody v půdě [%hm])
- **objemová vlhkost** (objemový podíl vody v půdě [%obj])
- **relativní vlhkost** (vyplnění půdních pórů vodou [%obj])
- **zásobní vlhkost** (vyjádřená výškou vodního sloupce [mm])
- **využitelná voda** (vyjádřená výškou vodního sloupce [mm])



Potenciál půdní vody Ψ

(také „vodní potenciál“ neboli "potenciál půdní vody")

= síla, jakou je voda v půdě vázána

Energie, kterou je potřeba vynaložit, abychom vodu z půdy „odsáli“.

Vyjádřená jako převrácená hodnota atmosférického tlaku; odvozená z tlaku (výšky) vodního sloupce.

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p \text{ [-MPa]},$$

kde

Ψ_g je gravitační potenciál (síla gravitace účinkující na vodu v půdě)

Ψ_m je matriční potenciál (síly půdního prostředí – poutání vody na půdní částice)

Ψ_o je osmotický potenciál (vazba vody na soli – osmotické síly)

Ψ_p je tlakový potenciál (ovlivněn atmosférickým tlakem nebo tlakem plynů v půdě)

Potenciál půdní vody Ψ

(také „vodní potenciál“)

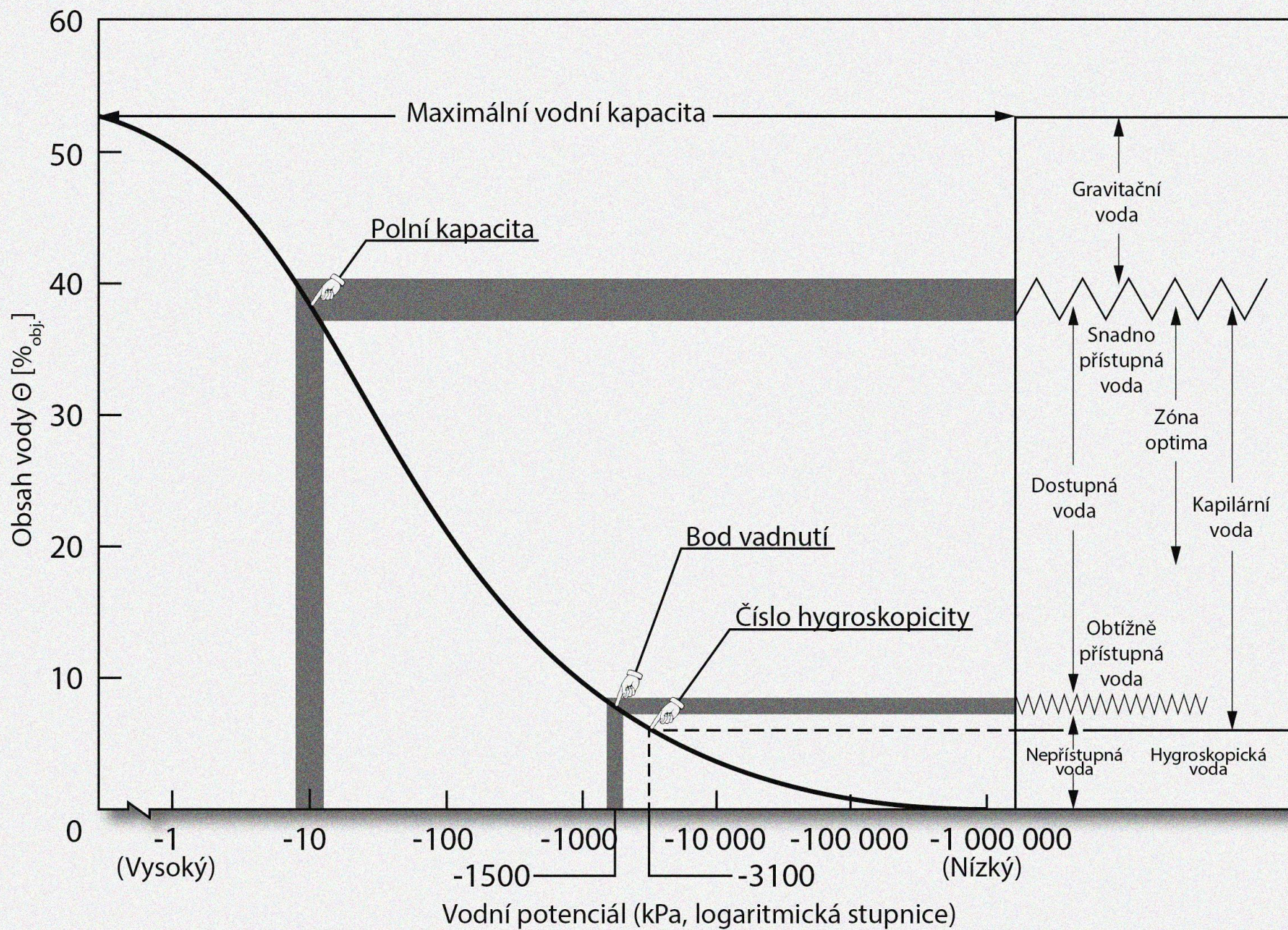
= síla, jakou je voda v půdě vázána

Energie, kterou je potřeba vynaložit, abychom vodu z půdy „odsáli“.

Vyjádřená jako převrácená hodnota atmosférického tlaku; odvozená z tlaku (výšky) vodního sloupce.

1000 cm vodního sloupce = 1 atm = 0,1 MPa

výška vodního sloupce [cm]	potenciál půdní vody [milibar]	potenciál půdní vody [kPa]	potenciál půdní vody [MPa]	potenciál půdní vody [atm]	potenciál půdní vody [bar]	pF
0	0	0	0	0	0	–
10,2	-10	-1	-0,001	-0,01	-0,01	1,0
102	-100	-10	-0,01	-0,1	-0,1	2,0
306	-300	-30	-0,03	-0,3	-0,3	2,5
1 020	-1 000	-100	-0,1	-1	-1	3,0
10 200	-10 000	-1 000	-1	-10	-10	4,0
15 300	-15 000	-1 500	-1,5	-15	-15	4,2
31 700	-31 000	-3 100	-3,1	-31	-31	4,5
102 000	-100 000	-10 000	-10	-100	-100	5,0



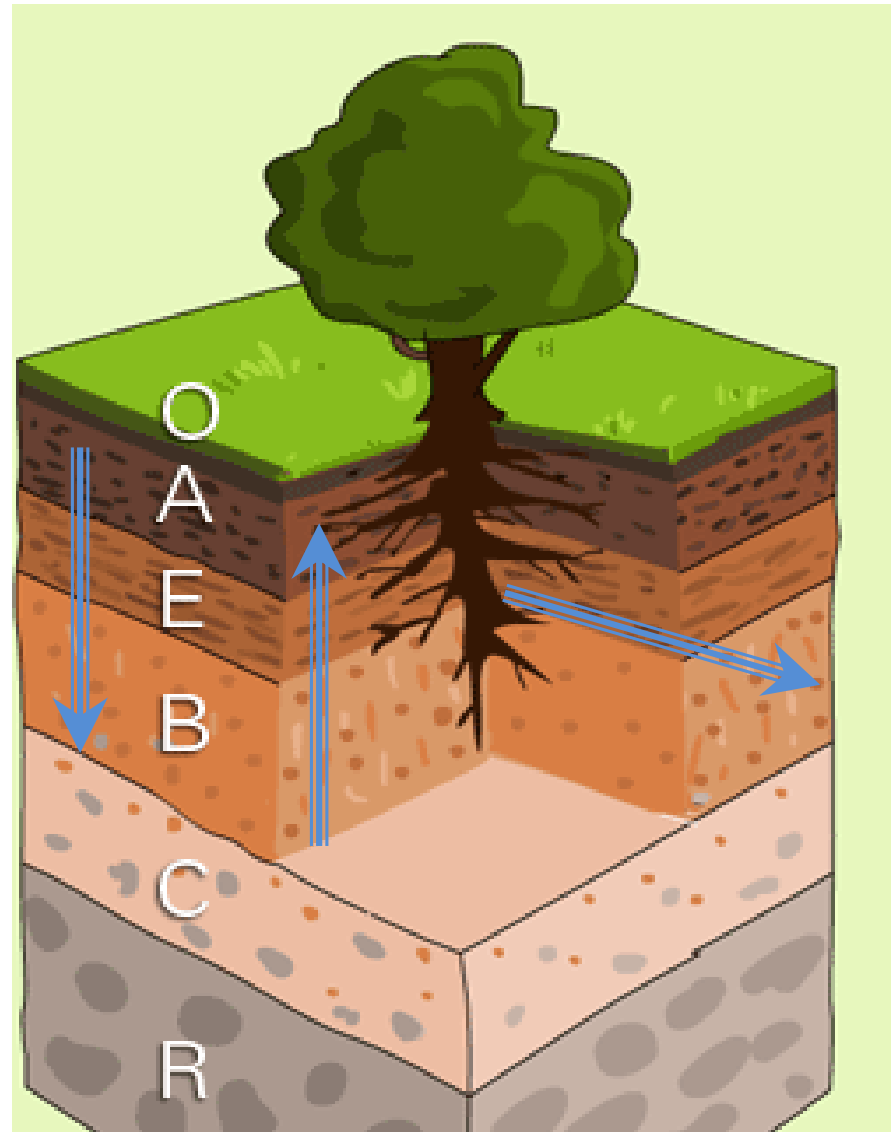
Pohyb vody v půdě, vodní režim

Pohyb vody v půdě:

sestupný

vzestupný

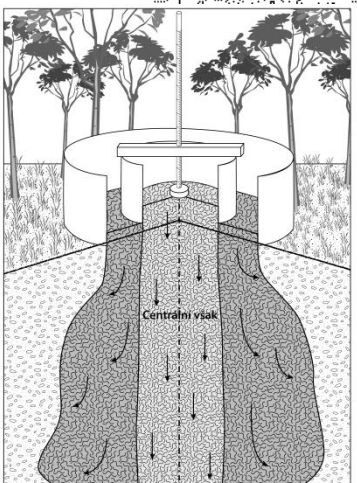
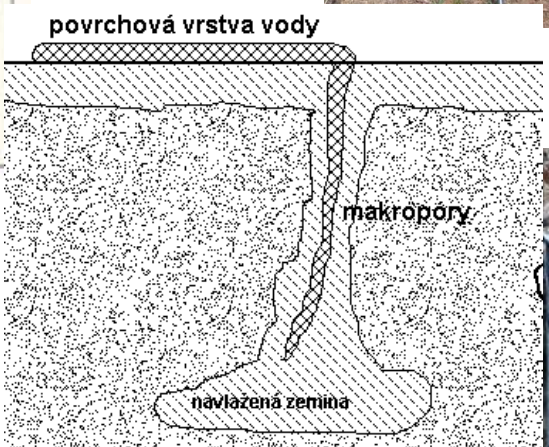
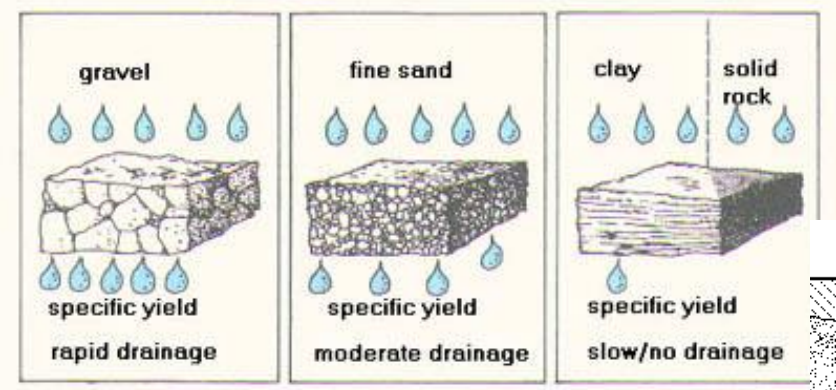
laterální



Pohyb vody v půdě, vodní režim

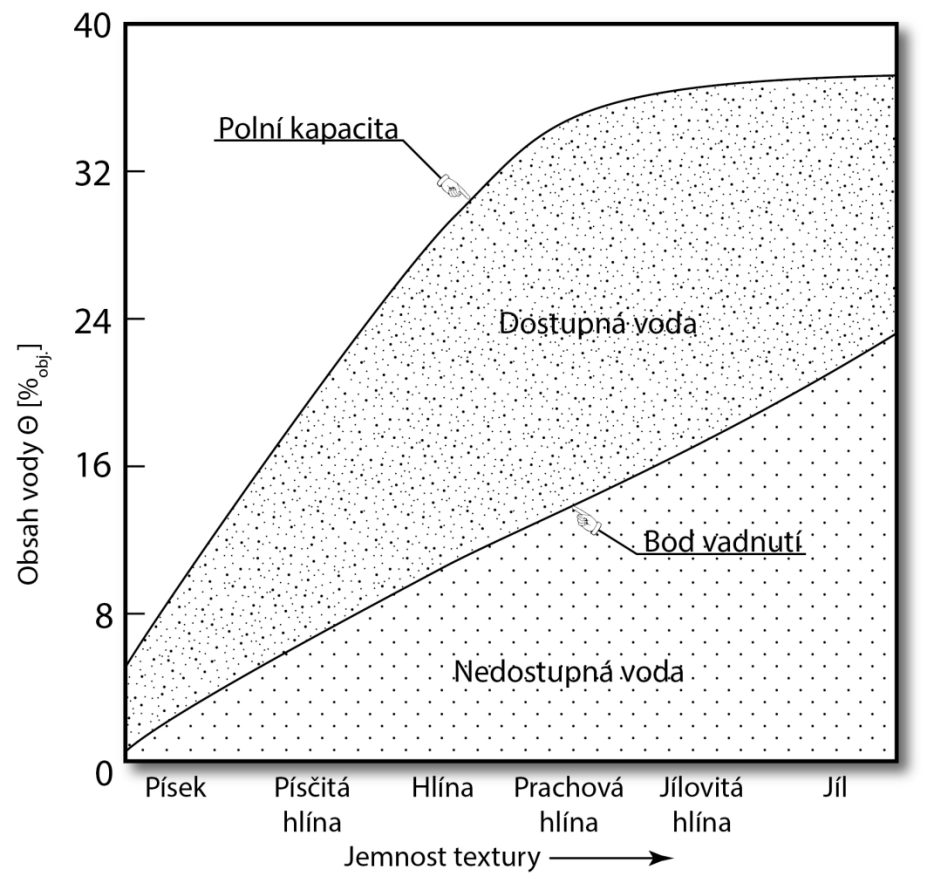
Infiltrace = vsak (proces vstupu vody do půdy)

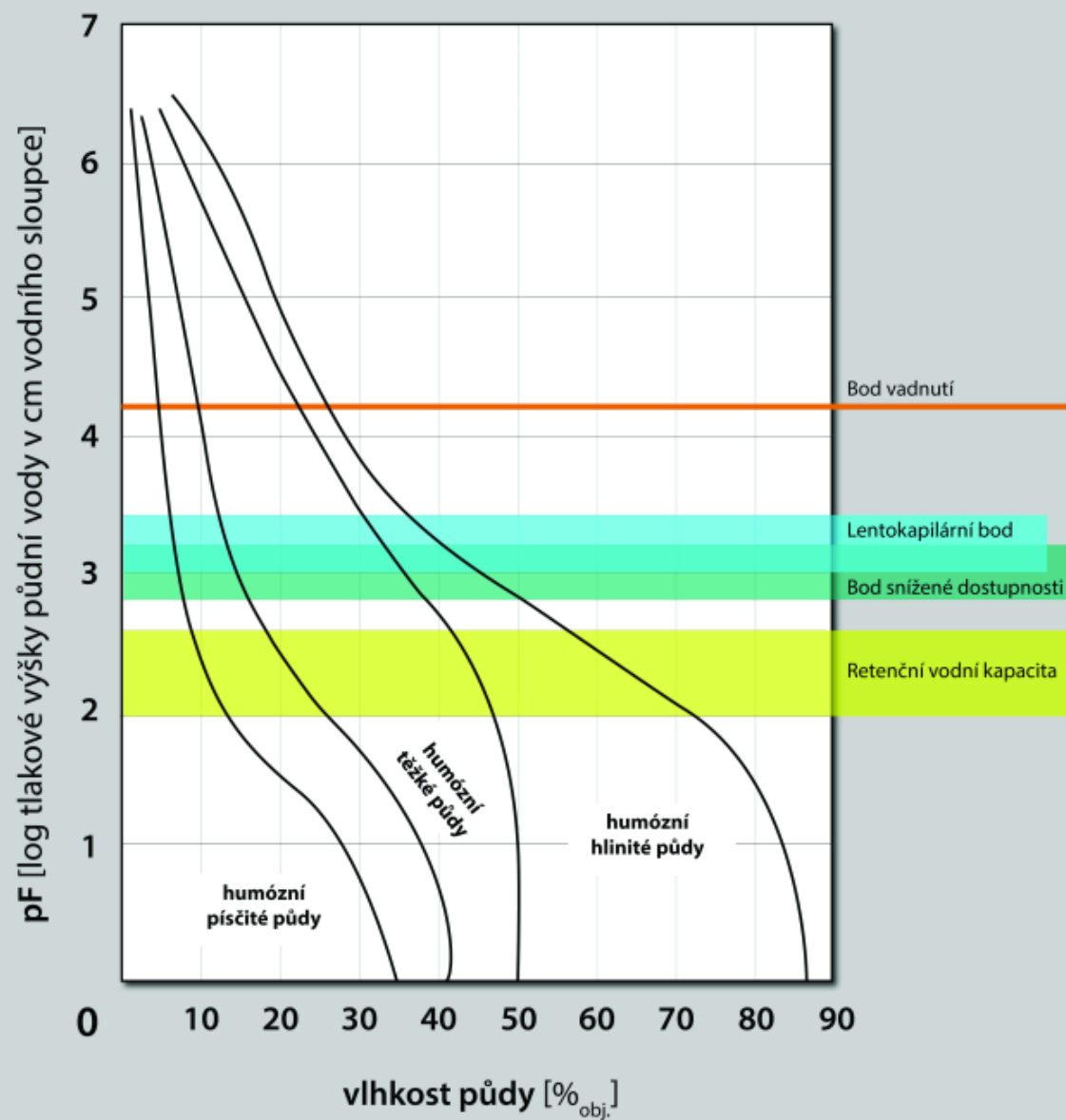
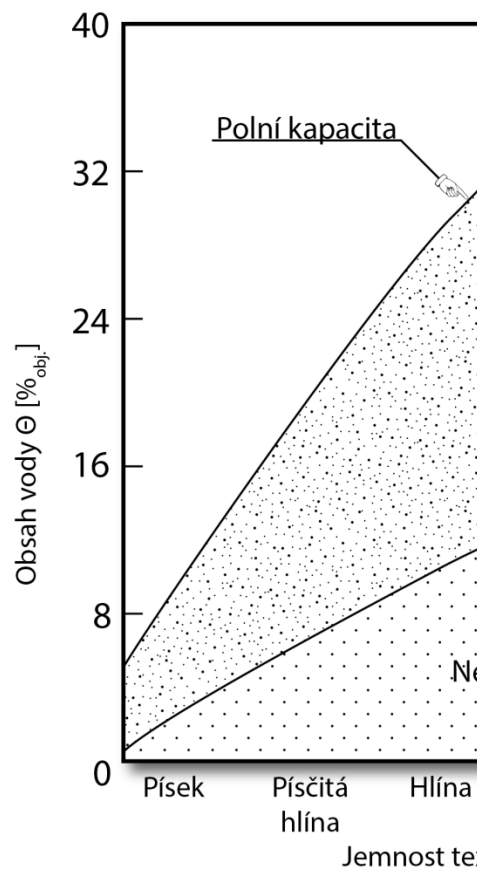
Permeabilita = propustnost (rychlost pohybu vody půdou)



půdní druh	rychlost infiltrace
hrubý písek	> 1440 mm · h ⁻¹
písek	> 200 mm · h ⁻¹ (i 360 mm · h ⁻¹)
písčitá hlína	100–150 mm · h ⁻¹
hlína	50–100 mm · h ⁻¹
jílovitá hlína	10–50 mm · h ⁻¹
jíl	1–5 mm · h ⁻¹ (i méně než 0,004 mm · h ⁻¹)







Pohyb vody v půdě, vodní režim

Vodní režim

= vodní bilance

= uspořádání vody z prostorového a časového hlediska

- Zaujímá vstupy vody do půdy, zadržení vody v půdě a unikání vody z půdy.
- **vstupy na počátku měřicího období** (srážky, závlahy, povrchová voda, sníh, vzlínání, laterální voda atd.)

versus

výstupy na konci měřicího období ztráty vody (výpar, transpirace vegetací, povrchový a podzemní odtok, zadržení vody v půdě)

- podmíněn klimatem, vegetací, půdotvorným substrátem, polohou podzemní vody, reliéfem terénu a historií krajiny
- vyjádřen vztahem teploty, potenciální evapotranspirace, srážek, aktuální evapotranspirace





Pohyb vody v půdě, vodní režim

• • Teplota

— Potenciální evapotranspirace

▲—▲ Srážky

— Aktuální evapotranspirace

 Vodní deficit
 Nadbytek vody
 Využívaná voda
 Doplnění vody

aridní (> polovinu roku suché;

< 90 po sobě jdoucích dnů vlhké)

udický (>90 po sobě jdoucích dnů vlhké;

< 45 po sobě jdoucích dnů suché)

perudický (srážky > výpar)

ustický (přechod mezi aridním a udickým)

xerický (> 45 po sobě jdoucích dnů vlhké (zima);

> 45 po sobě jdoucích dnů suché (léto)

akvický (redukční podmínky, nepřítomnost O₂)

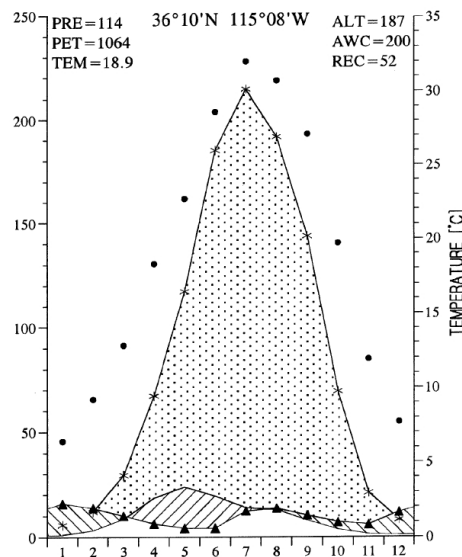


Diagram 5.—Aridic, thermic; Las Vegas, Nevada, United States.

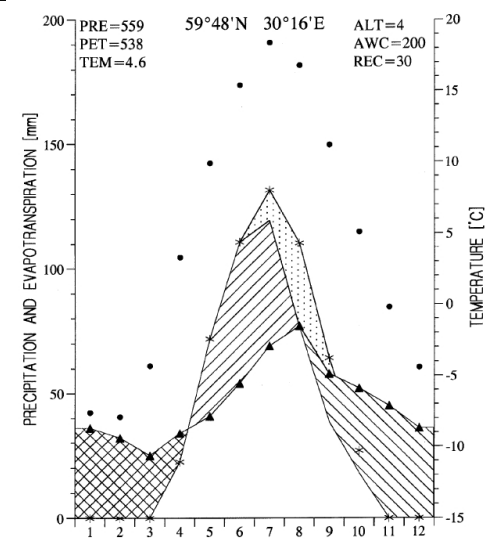


Diagram 3.—Udic, frigid; St. Petersburg, Russia (formerly Leningrad, U.S.S.R.).

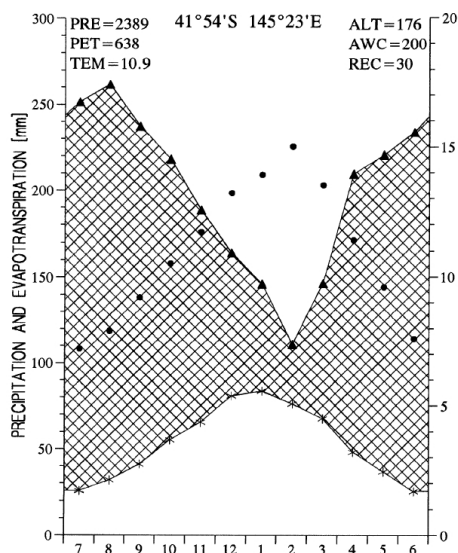


Diagram 12.—Perudic, mesic; Zeehan, Australia (Tasmania).

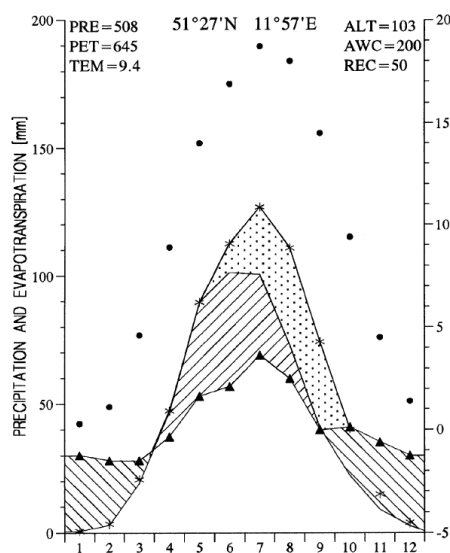


Diagram 14.—Ustic, mesic; Halle, Germany.

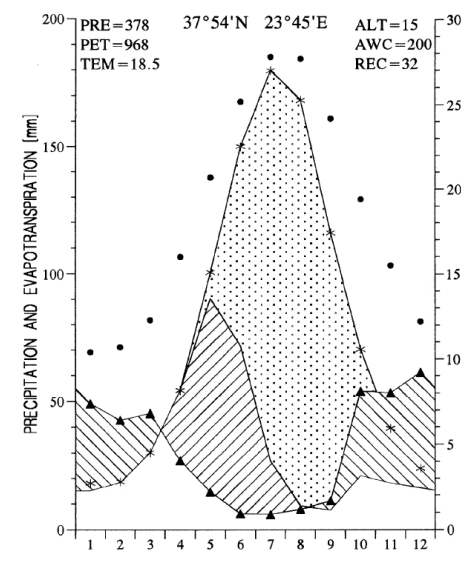


Diagram 15.—Xeric, thermic; Athens, Greece.

Půdní vododržnost, půdní hydrolimity

Půdní vododržnost = schopnost půdy poutat vodu

Závisí na mineralogii jemnozemě, obsahu organické hmoty, hloubce půdy aj.

Kolik zadrží vody (v mm vodního sloupce) půda při různém obsahu skeletu?

při 5 % zadrží cca 400 mm

při 40–50 % zadrží cca 230 mm

při 80 % zadrží cca 50 mm



Půdní vododržnost, půdní hydrolimity

Půdní hydrolimity vyjadřují:

- sílu, jakou je voda v půdě poutána resp. kolik je v půdě obsaženo vody, je-li poutána určitou silou
- vztah vody a půdy podle pohyblivosti vody v půdě a přístupnosti pro rostliny

Krystalická voda

Adsorpční voda

Hygroskopická voda

Obalová voda

Bod vadnutí

Lentokapilární bod

Bod snížené dostupnosti

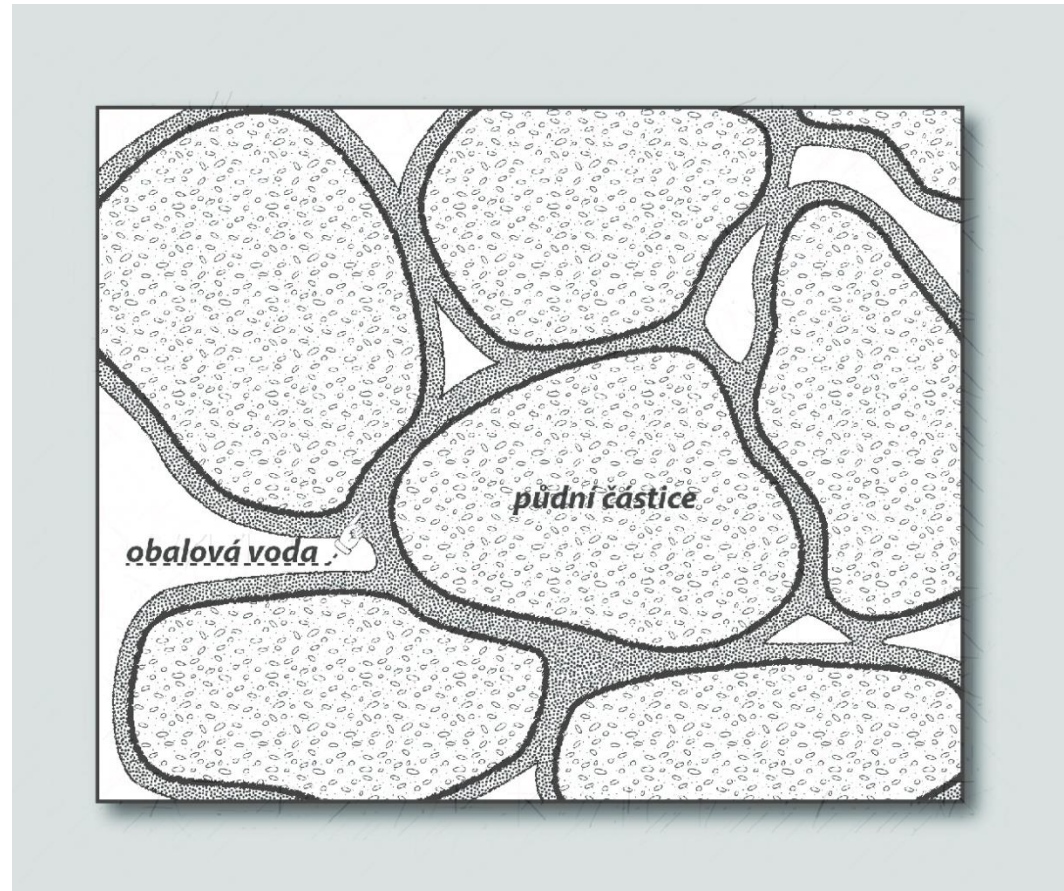
Retenční vodní kapacita

Maximální kapilární kapacita

Polní vodní kapacita

Gravitační voda

Plná vodní kapacita



Půdní vododržnost, půdní hydrolimity

Půdní hydrolimity vyjadřují:

- sílu, jakou je voda v půdě poutána resp. kolik je v půdě obsaženo vody, je-li poutána určitou silou
- vztah vody a půdy podle pohyblivosti vody v půdě a přístupnosti pro rostliny

Krystalická voda

Adsorpční voda

Hygroskopická voda

Obalová voda

Bod vadnutí

Lentokapilární bod

Bod snížené dostupnosti

Retenční vodní kapacita

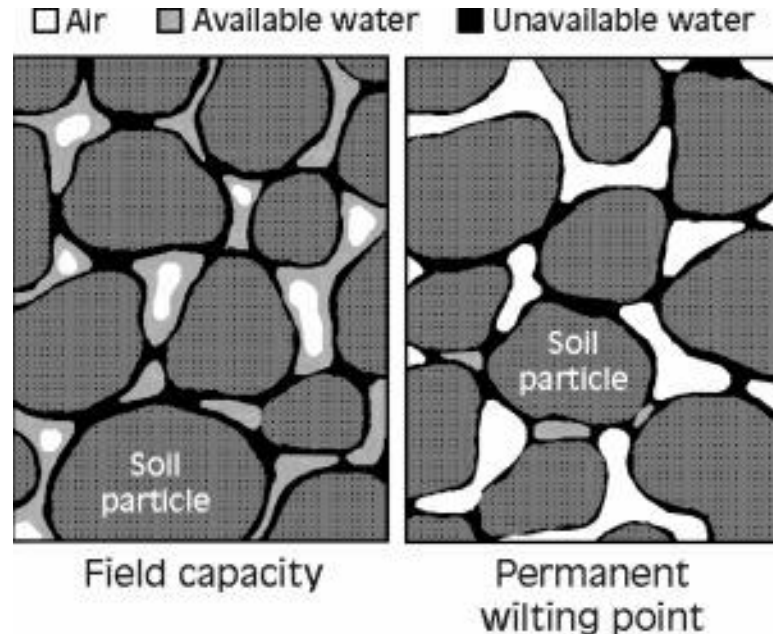
Maximální kapilární kapacita

Polní vodní kapacita

Gravitační voda

Plná vodní kapacita

Rostliny již nejsou schopny překonat síly, jimiž je voda v půdě vázána.



B.V. začíná při $pF = 4,18$ (-2 až -1 MPa, -20 až -10 atm; tlaková výška vodního sloupce 10 000 až 20 000 mm), mezinárodně přijatý úzus je -1,5 MPa (-15 bar, 15 300 cm vodního sloupce).

Půdní vododržnost, půdní hydrolimity

Půdní hydrolimity vyjadřují:

- sílu, jakou je voda v půdě poutána resp. kolik je v půdě obsaženo vody, je-li poutána určitou silou
- vztah vody a půdy podle pohyblivosti vody v půdě a přístupnosti pro rostliny

Krystalická voda

Adsorpční voda

Hygroskopická voda

Obalová voda

Bod vadnutí

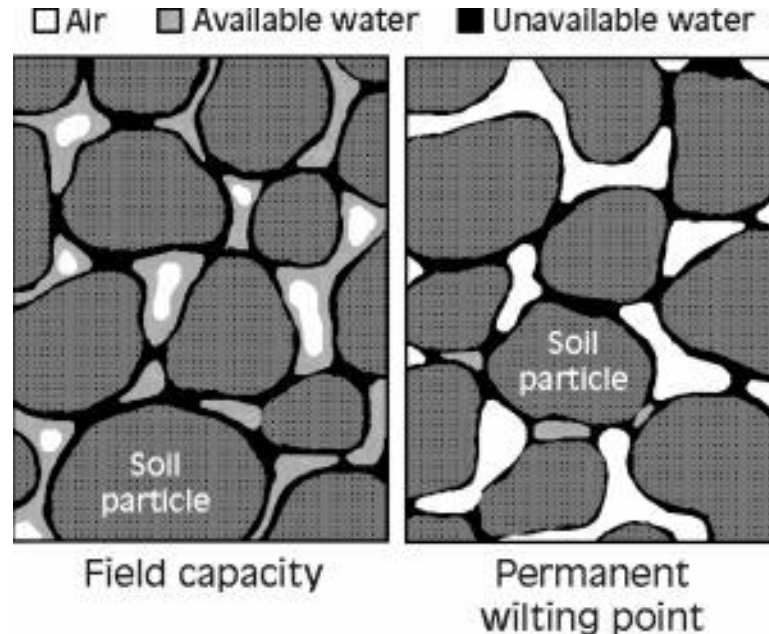
Lentokapilární bod

Bod snížené dostupnosti

Maximální sací tlaky některých dřevin:

smrk	-3,0 až -2,8 MPa
buk	-4,0 MPa
dub	-4,1 MPa
jasan	-3,7 MPa
byliny doubrav	-5,3 až -2,7 MPa
byliny v luhu	-2,1 až -0,6 MPa
obilí	cca -1MPa

Rostliny již nejsou schopny překonat síly, jimiž je voda v půdě vázána.



B.V. začíná při $pF = 4,18$ (-2 až -1 MPa, -20 až -10 atm; tlaková výška vodního sloupce 10 000 až 20 000 mm), mezinárodně přijatý úzus je -1,5 MPa (-15 bar, 15 300 cm vodního sloupce).

Půdní vododržnost, půdní hydrolimity

Půdní hydrolimity vyjadřují:

- sílu, jakou je voda v půdě poutána resp. kolik je v půdě obsaženo vody, je-li poutána určitou silou
- vztah vody a půdy podle pohyblivosti vody v půdě a přístupnosti pro rostliny

Krystalická voda

Adsorpční voda

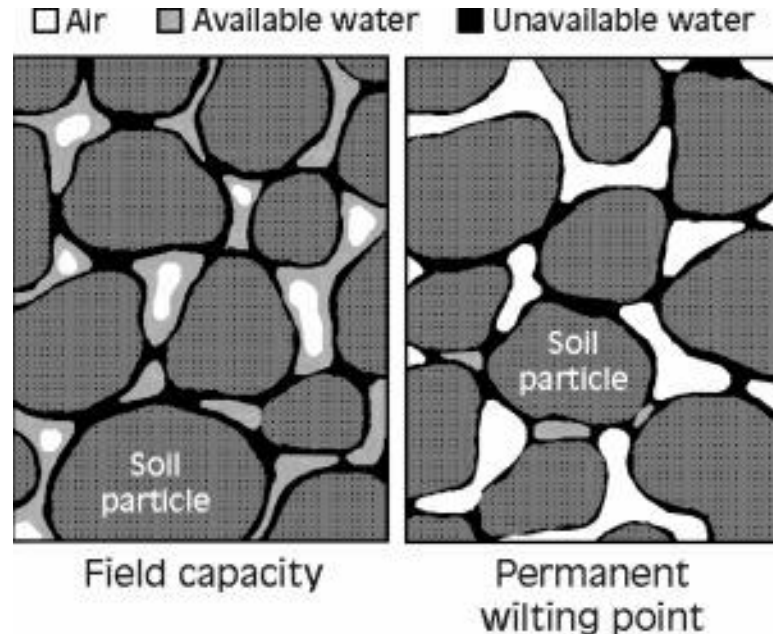
Hygroskopická voda

Obalová voda

Bod vadnutí

Lentokapilární bod

Rostliny již nejsou schopny překonat síly, jimiž je voda v půdě vázána.



B.V. začíná při $pF = 4,18$ (-2 až -1 MPa, -20 až -10 atm; tlaková výška vodního sloupce 10 000 až 20 000 mm), mezinárodně přijatý úzus je -1,5 MPa (-15 bar, 15 300 cm vodního sloupce).

Půdní vododržnost, půdní hydrolimity

Půdní hydrolimity vyjadřují:

- sílu, jakou je voda v půdě poutána resp. kolik je v půdě obsaženo vody, je-li poutána určitou silou
- vztah vody a půdy podle pohyblivosti vody v půdě a přístupnosti pro rostliny

Krystalická voda

Adsorpční voda

Hygroskopická voda

Obalová voda

Bod vadnutí

Lentokapilární bod

Bod snížené dostupnosti

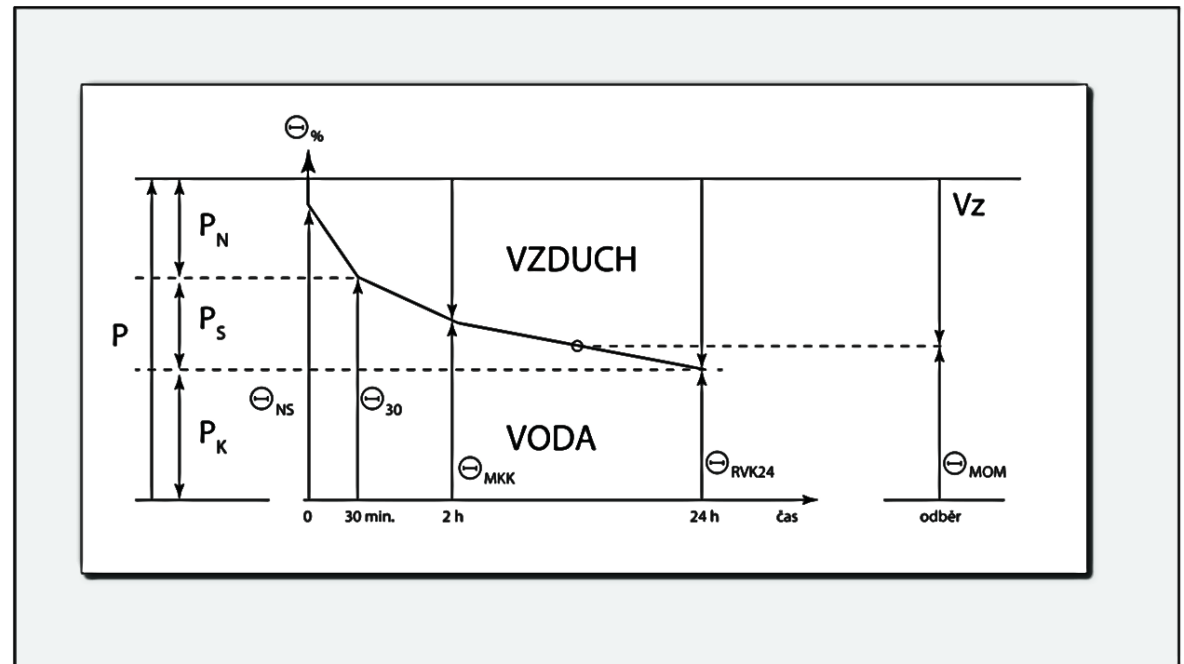
Retenční vodní kapacita

Maximální kapilární kapacita

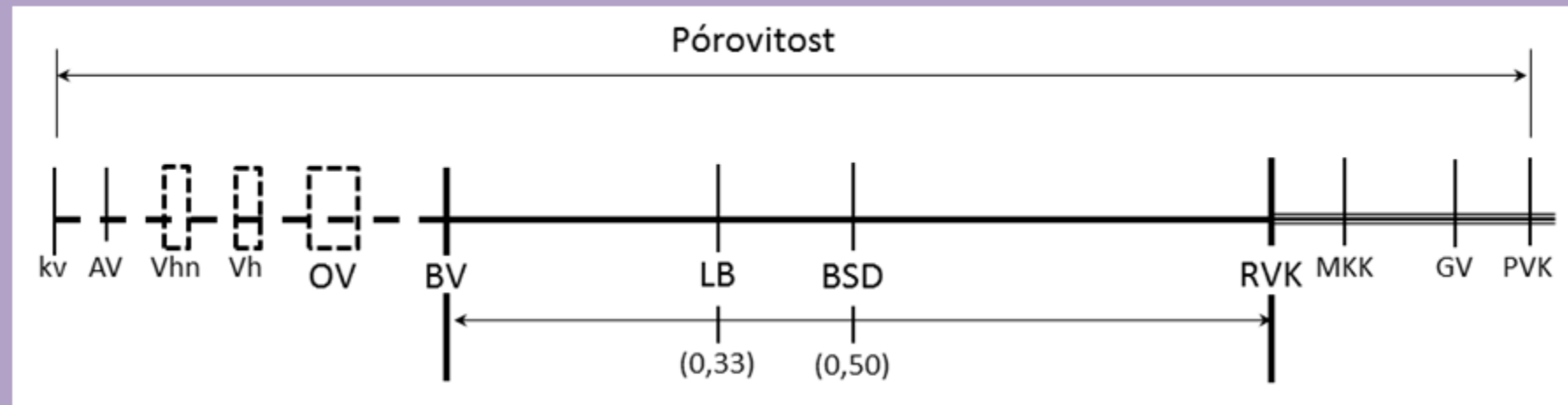
Polní vodní kapacita

Gravitační voda

Plná vodní kapacita



P = pórovitost; P_N = nekapilární pórovitost; P_S = semikapilární pórovitost; P_K = kapilární pórovitost; Θ_{NS} = objem vody v plně nasátém fyzikálním válečku; Θ_{30} = objem vody ve válečku po 30 min odsávání; Θ_{MKK} = objem vody ve válečku po 120 min odsávání (maximální kapilární kapacita); Θ_{RVK} = objem vody ve válečku po 24 h odsávání (retenční vodní kapacita); Θ_{MOM} = momentální (aktuální) objemová vlhkost; V_z = využitelné „zásobní“ póry (= $A - \text{provzdušňenost}$).



kv – krystalická voda
 AV – adsorpční vlhkost
 Vhn – normální hygroskopicita
 Vh – číslo hygroskopicity

OV – obalová voda
 BV – bod vadnutí
 LB – lentokapilární bod
 BSD – bod snížené dostupnosti

RVK – retenční vodní kapacita
 MKK – maximální kapilární kapacita
 GV – gravitační voda
 PVK – plná vodní kapacita

Obsah a formy vody v půdě, vlhkostní charakteristiky

- **okamžitá vlhkost** (obsah vody v půdě v daném okamžiku)
- **hmotnostní vlhkost** (hmotnostní podíl vody v půdě [%hm])
- **objemová vlhkost** (objemový podíl vody v půdě [%obj])
- **relativní vlhkost** (vyplnění půdních pórů vodou [%obj])
- **zásobní vlhkost** (vyjádřená výškou vodního sloupce [mm])
- **využitelná voda** (vyjádřená výškou vodního sloupce [mm])



Je-li objem fyzikálního válečku 100 cm³, potom...:

- ... při ztrátě 1 g hmotnosti se z válečku ztratí 1 g vody = 1 ml vody
- ... při ztrátě 1 g hmotnosti se objemová hmotnost sníží o 1 %
- ... při vyjádření ve výšce vodního sloupce dojde ke ztrátě 1 mm vody ze 100 mm sloupce půdy

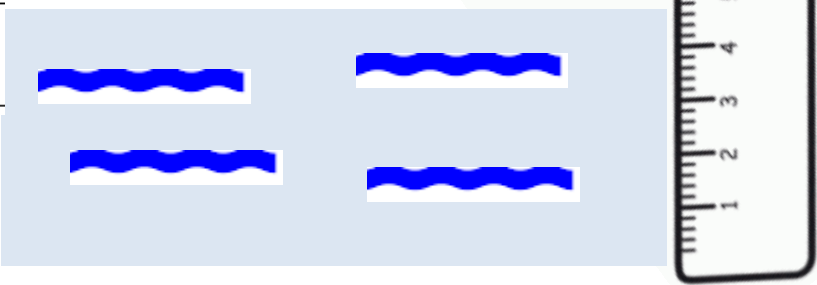
Klasifikace VVK pro 20 cm půdy.

dobrá	> 40 mm
dostatečná	20–40 mm
nedostatečná	< 20 mm

VYUŽITELNÁ VODNÍ KAPACITA [mm]
VVK = Θ_{RVK24} – BV [mm]

100 mm = 100 %obj

např. při 50%obj. vlhkosti je ve 100 mm půdy 50 mm souvislého vodního sloupce



Obsah a formy vody v půdě, vlhkostní charakteristiky

- **okamžitá vlhkost** (obsah vody v půdě v daném okamžiku)
- **hmotnostní vlhkost** (hmotnostní podíl vody v půdě [%hm])
- **objemová vlhkost** (objemový podíl vody v půdě [%obj])
- **relativní vlhkost** (vyplnění půdních pórů vodou [%obj])
- **zásobní vlhkost** (vyjádřená výškou vodního sloupce [mm])
- **využitelná voda** (vyjádřená výškou vodního sloupce [mm])



Je-li objem fyzikálního válečku 100 cm³, potom...:

- ... při ztrátě 1 g hmotnosti se z válečku ztratí 1 g vody = 1 ml vody
- ... při ztrátě 1 g hmotnosti se objemová hmotnost sníží o 1 %
- ... při vyjádření ve výšce vodního sloupce dojde ke ztrátě 1 mm vody ze 100 mm sloupce půdy

Klasifikace VVK pro 20 cm půdy.

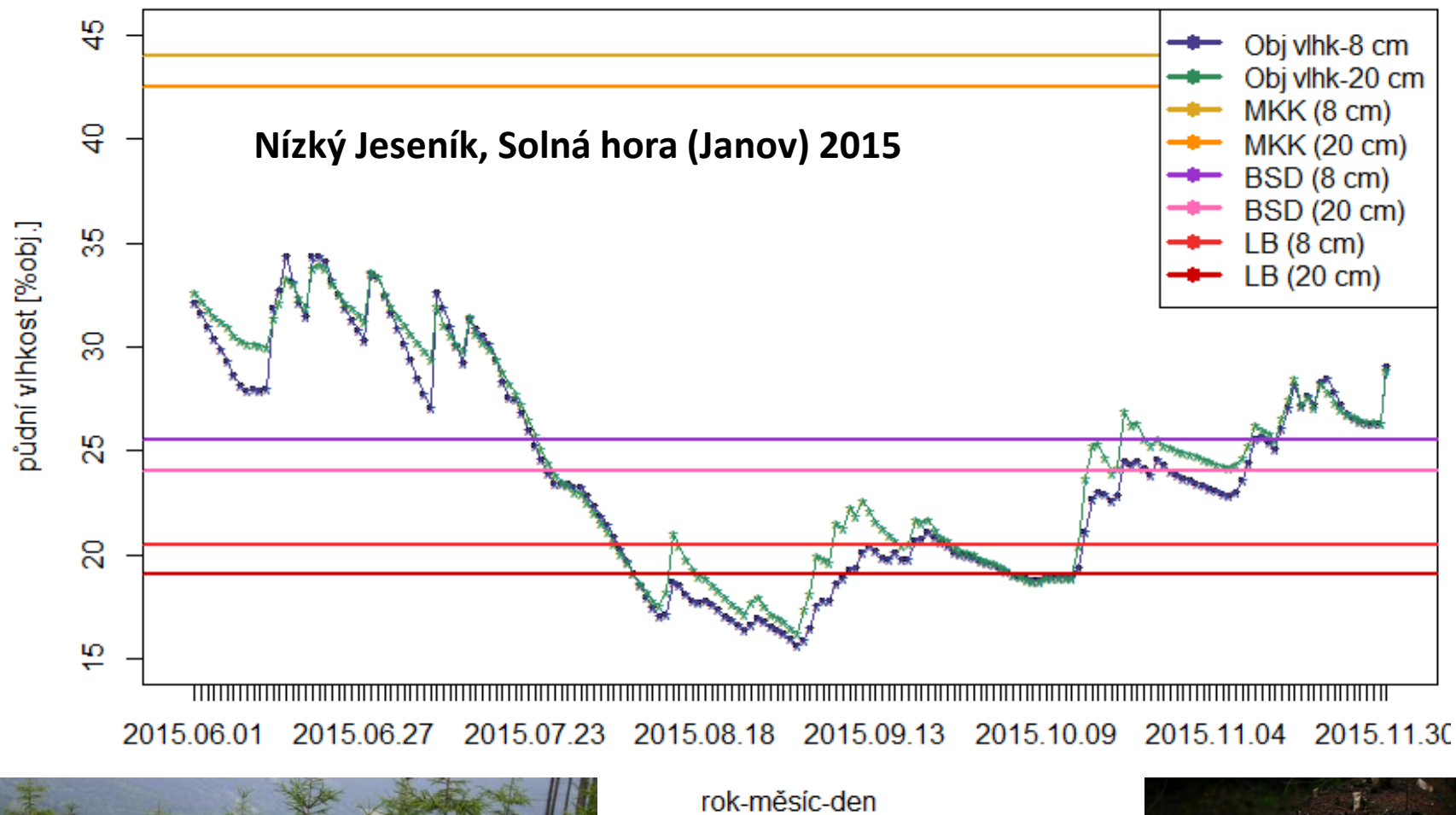
dobrá		> 40 mm
dostatečná		20–40 mm
nedostatečná		< 20 mm
kategorie půdní vlhkosti OZVV	zjištěné hodnoty OZVV [mm]	
velmi nízká	< 20	
nízká	20–40	
dostatečná	40–60	
dobrá	60–80	
vysoká	> 80	

VYUŽITELNÁ VODNÍ KAPACITA [mm]
 $VVK = \Theta_{RVK24} - BV \text{ [mm]}$
 $OZVV = \Theta - BV \text{ [mm]}$

100 mm = 100 %obj

např. dojde-li k poklesu vlhkosti o 10 %obj, dojde k poklesu vodního sloupce o 10 mm









Riziko vysychání u písčitéch půd je vysoké Podzol arenický

Vysychající a výrazně propustná Regozem arenická na hrudách vátych písků Lanžhot – okol.

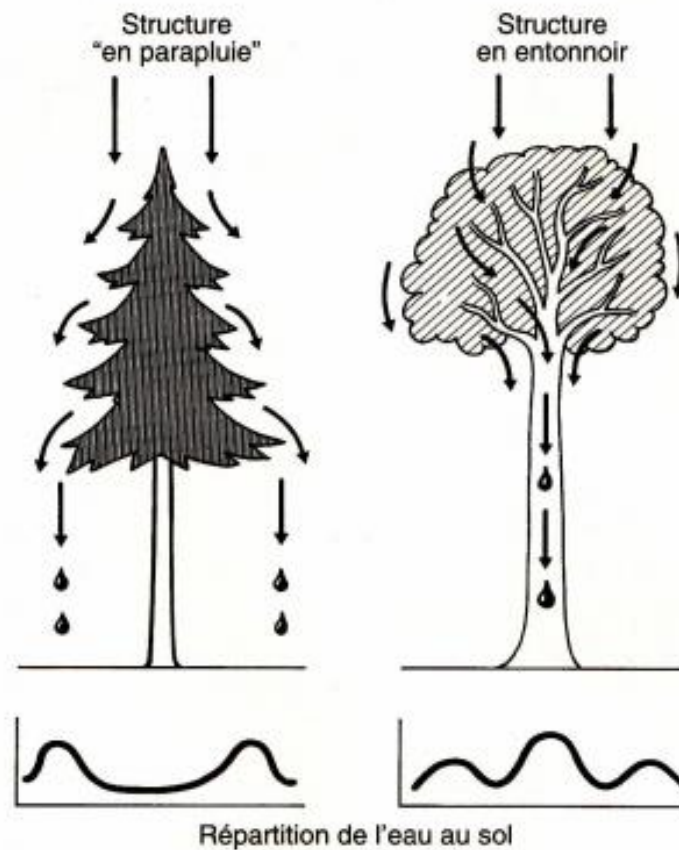
Nárazník povrchového humusu a hlinitá zrnitost (textura) jsou největší překážkou infiltrace v době sucha (Moravičany)



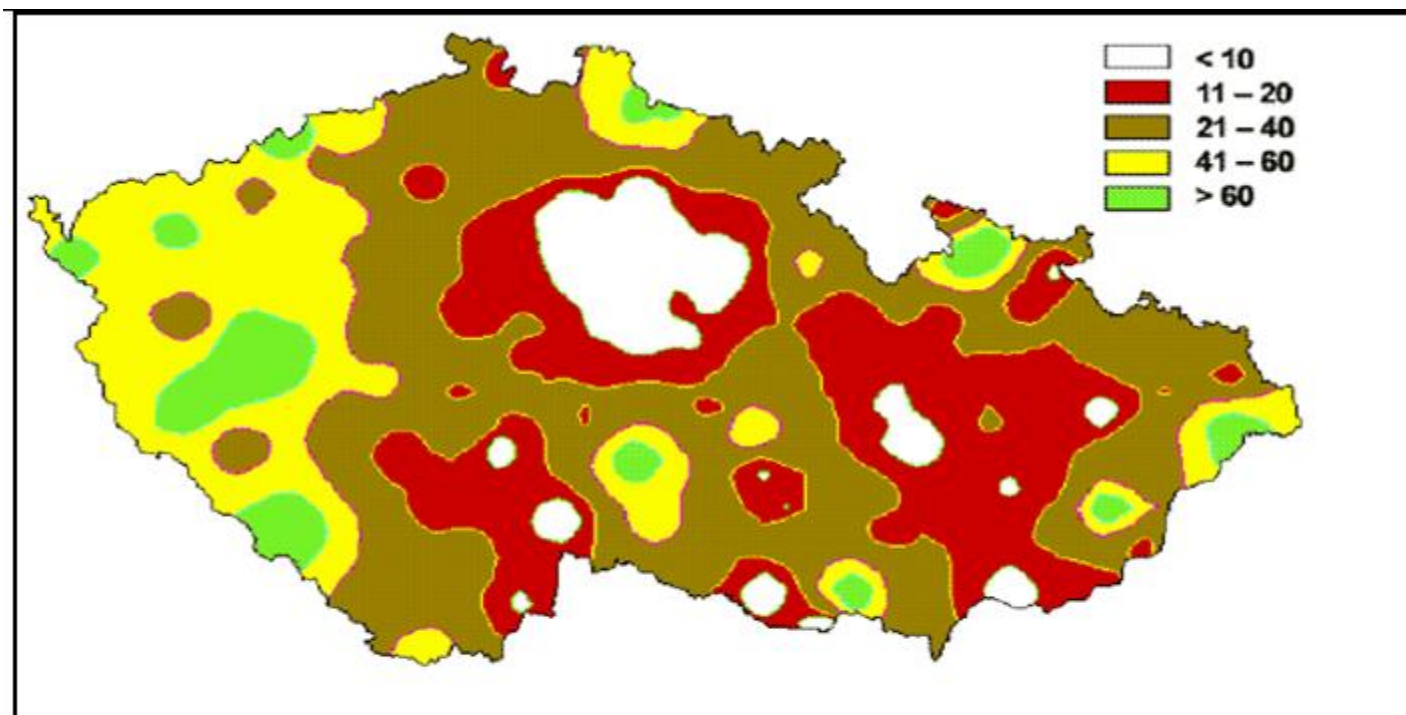
Odtok vody je v kvalitních porostech s neporušeným půdním prostředím dobře regulován Lhotka nad Myslůvkou - Slavonice

◀ Fig. 2.21 : formes schématiques des couronnes des arbres forestiers.

Fig. 2.22 : écoulement de la pluie selon la structure du houppier.



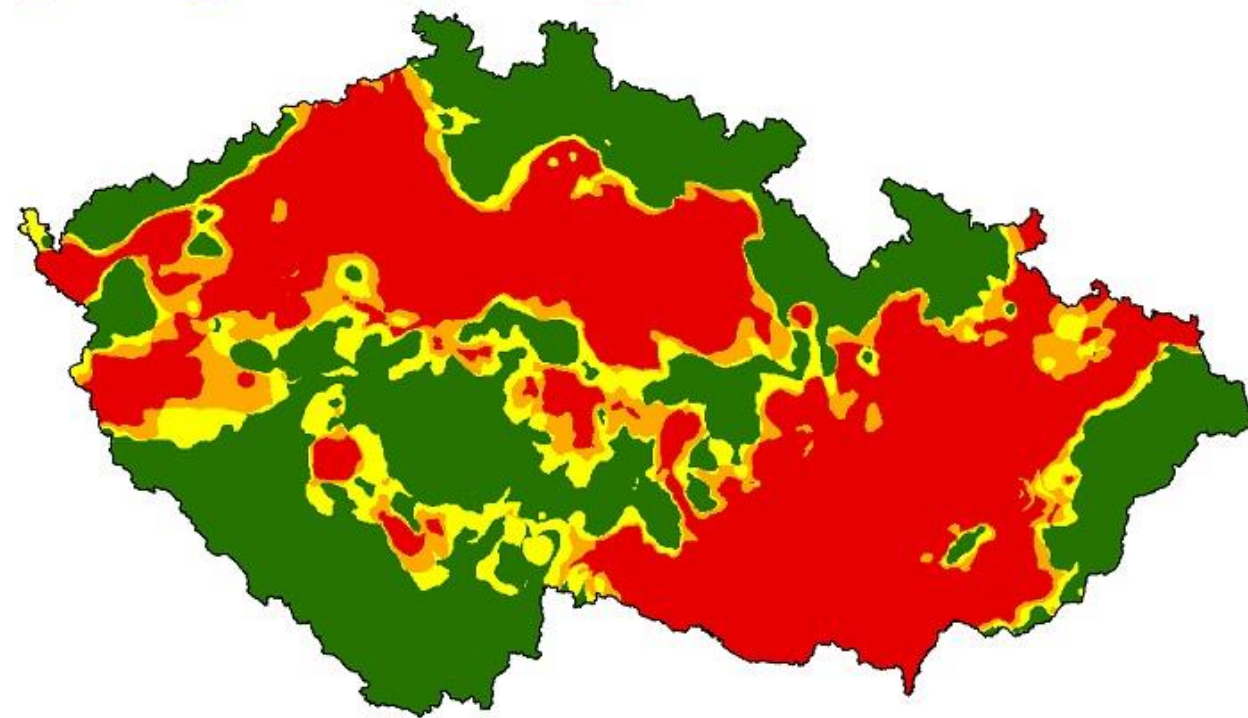
Průměrné hodnoty využitelné vodní kapacity půdy v ČR



Hodnoty v jednom dni na území ČR – pod rizikovou hodnotu < 10 % klesá **VVK** – využitelná vodní kapacita v několika oblastech ČR

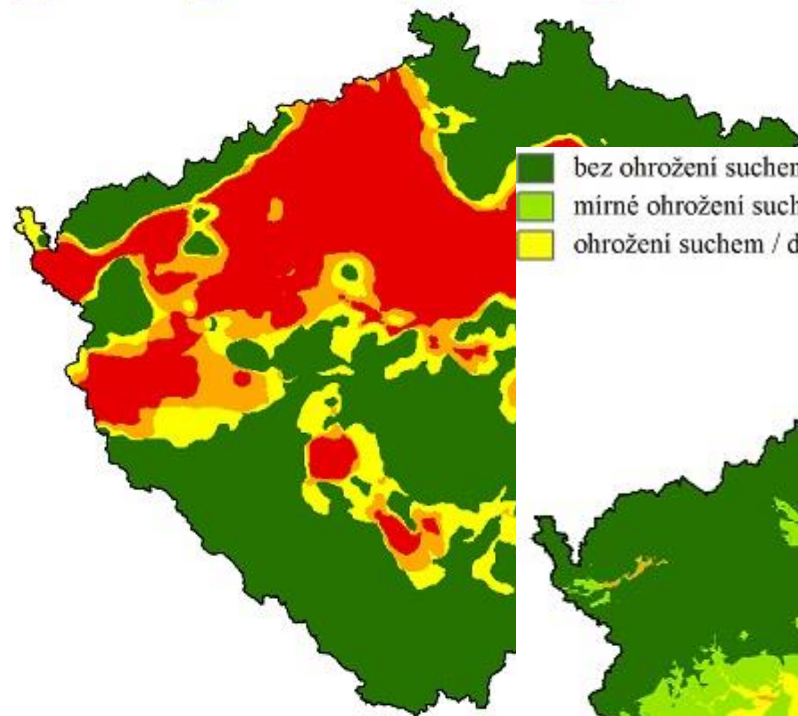
Mapa dlouhodobého stresu suchem

■ > 100 mm ■ 50.1 - 100 mm ■ 0 - 50 mm ■ < 0 mm



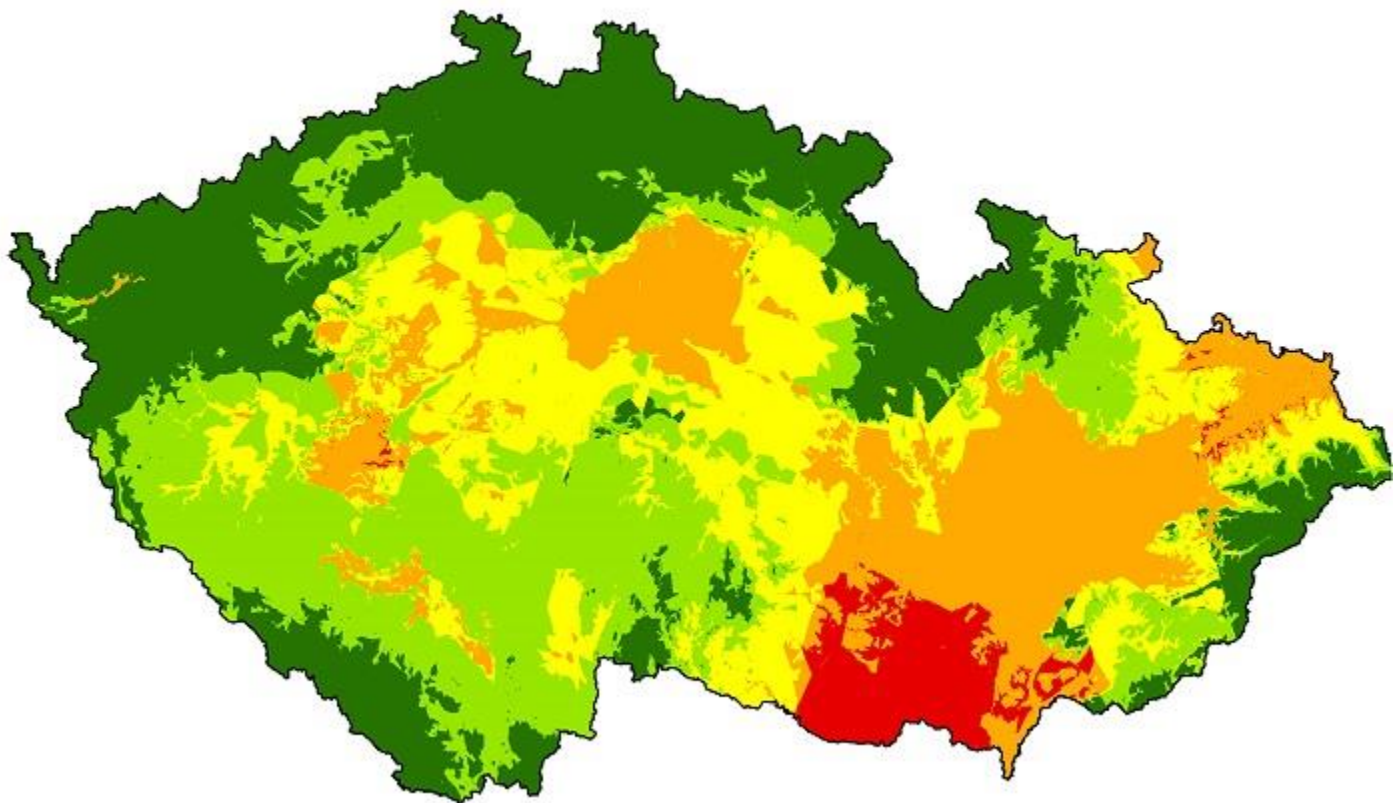
Mapa dlouhodobého stresu suchem

■ > 100 mm ■ 50.1 - 100 mm ■ 0 - 50 mm ■ < 0 mm



Mapa stresu lesních porostů suchem v roce 2015:

■ bez ohrožení suchem / without drought danger ■ výrazné ohrožení suchem / strong drought danger
■ mírně ohrožení suchem / slight drought danger ■ extrémní ohrožení suchem / extreme drought danger
■ ohrožení suchem / drought danger



Kombinovaná mapa ohrožení smrkových porostů suchem

