



**Agronomická  
fakulta**

**Vítězslav Vlček**

# Hydropedologie

Mendelova  
univerzita  
v Brně



Ústav Agrochemie, půdoznalství,  
mikrobiologie a výživy rostlin



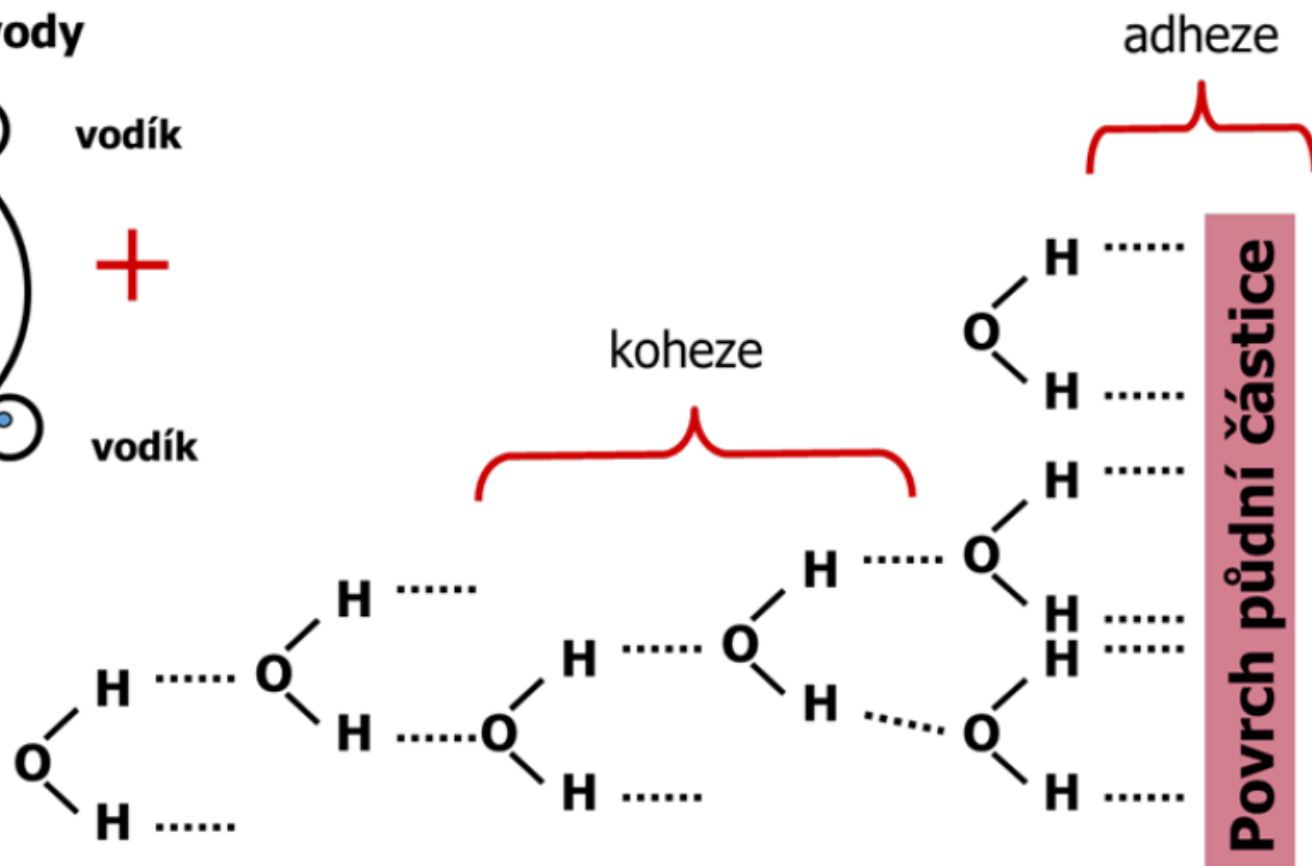
# Voda v půdě, měření vlhkosti

# Vlastnosti vody ovlivňující její chování

## 1. Polarita molekuly vody



## 2. Koheze a adheze



## 3. Povrchové napětí



Asymetrické uspořádání  $H^+$  iontů v molekule vody způsobuje polaritu molekuly. To znamená, že jedna strana molekuly (s dvěma atomy H se vzájemným úhlem  $105^\circ$ ) je elektropozitivní a druhá elektronegativní. **Polarita** způsobuje:

- že molekuly vody jsou navzájem spojeny. Pozitivní část jedné molekuly je přitahována k negativní části druhé molekuly vody - dochází k řetězovitému spojení molekul (koheze).
- že molekuly vody jsou přitahovány elektrostaticky nabitými ionty a ke koloidním povrchům (adheze). Kationty budou hydratovány tím, že jsou přitahovány k negativní části molekuly vody.
- že na povrchu vody vzniká povrchové napětí, které je výsledkem toho, že molekuly vody jsou vzájemně přitahovány silněji, než jsou přitahovány vzduchem. Povrchové molekuly vody jsou stahovány dovnitř a povrch vody se chová jako by byl pokryt jemnou blankou.



Edgar Buckingham



# Pohyb vody

- Probíhá ve směru záporného gradientu potenciálu (tj. z místa s vyšším potenciálem do místa s nižším potenciálem)
- komplikovaný proces, neboť:
- půda je heterogenní porézní prostředí
- pohyb je ovlivněn teplotou
- dochází ke ztrátám (rostliny, výpar...)
- nepohybuje se čistá voda, ale roztok

## Sací tlak půdní vody

Na vodu v půdě působí různé **síly** v souhrnu označované jako **matriční**. Jsou podmíněny zvláštnostmi pórovitého prostředí půdy, tj. v podstatě přitažlivými silami mezi vodou a pevnými půdními částicemi (van der Waalsovy síly, vodíkové můstky, elektrostatické síly nabitého povrchu koloidů, kapilární meniskové síly aj.). Patří k nim i síly podmíněné volnými ionty v půdní vodě, hydrostatickým tlakem a tlakem vzduchu atmosférického a uzavřeného v půdních pórech. Na vodu působí také síla tíže, její pohyb je omezován vnitřním třením půdního roztoku.

**Vodní potenciál ( $\psi$ )** je měřítkem množství volné vody v systému. Je definován jako rozdíl mezi volnou energií vody v půdě a volnou energií vody v nádrži (*volná energie vody v nádrži = 0*). Jinými slovy: voda adsorbovaná v půdě má méně volné energie než voda v nádrži, tzn. že musí být vykonána práce, aby voda z půdy byla „odstraněna“. Vodní potenciál v půdě má zápornou hodnotu (čím pevněji je voda v půdě vázána, tím negativnější hodnoty nabývá vodní potenciál).



Pokud naprší a půda je nasycena vodou, voda se pohybuje velmi rychle díky gravitačním silám. Pokud půda není vodou nasycena, voda se pohybuje různými směry, díky jiným silám, než jsou gravitační

***Celkový vodní potenciál  $\psi$  je definován jako:***

$$\psi = \psi_p + \psi_s + \psi_m \quad [\text{kJ kg}^{-1} = \text{MPa}]$$

$\psi_p$  = tlakový potenciál

$\psi_s$  = osmotický potenciál

$\psi_m$  = matriční potenciál, dán interakcemi na rozhraní  
voda/půdní částice a voda/půdní vzduch

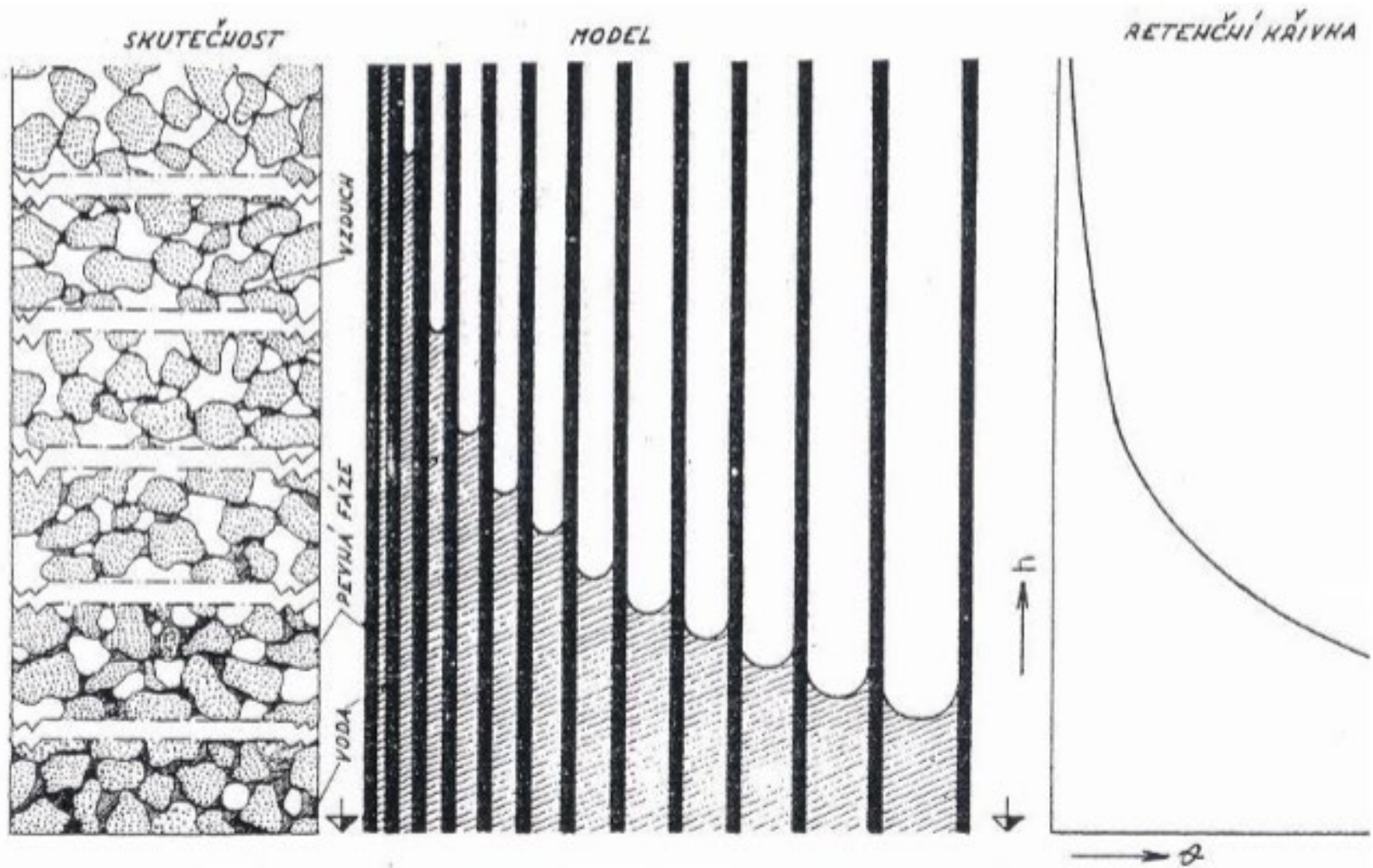
Ve většině půd, které nemají vysokou hladinu spodní vody a nejsou zasolené platí:

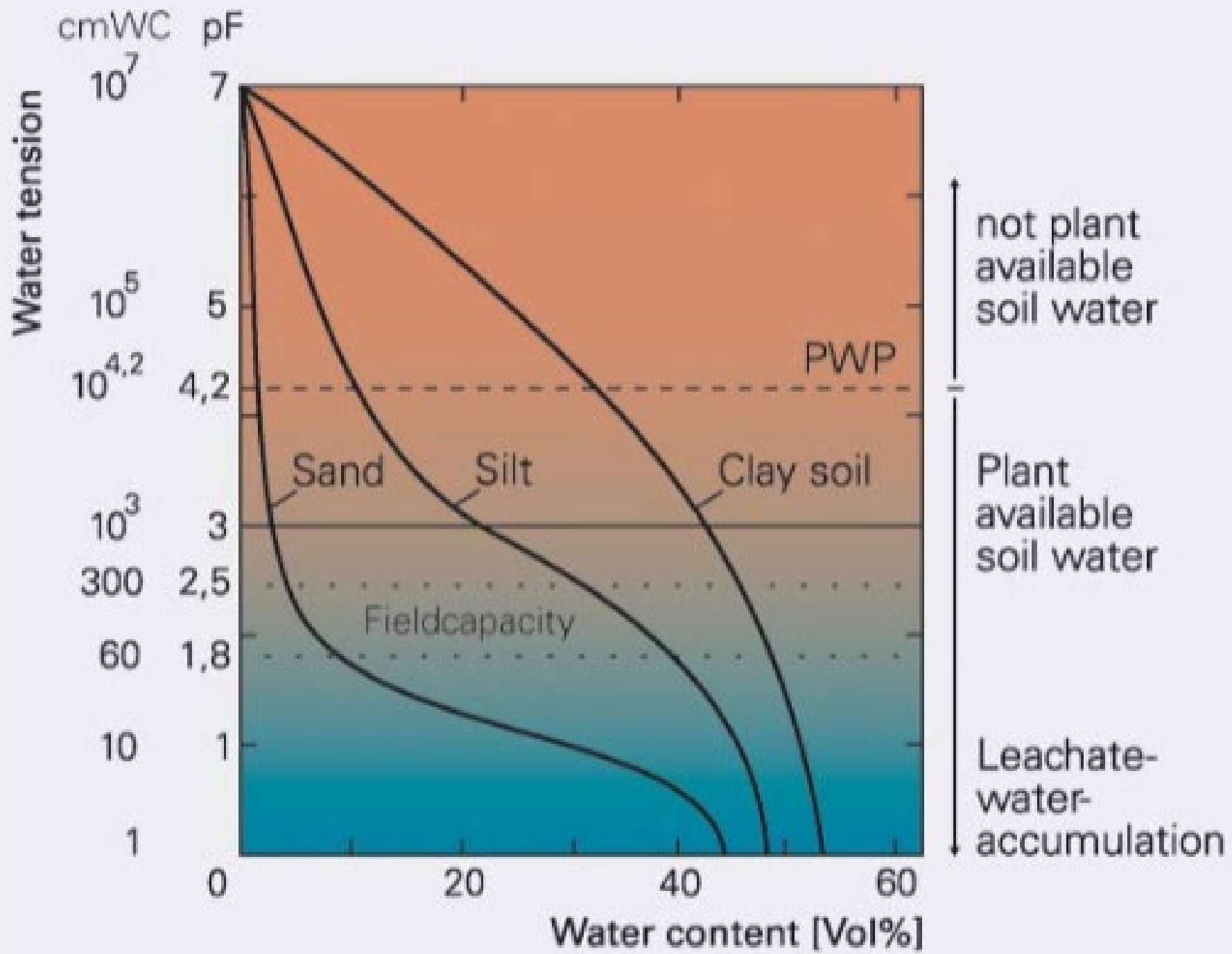
$$\psi \cong \psi_m$$

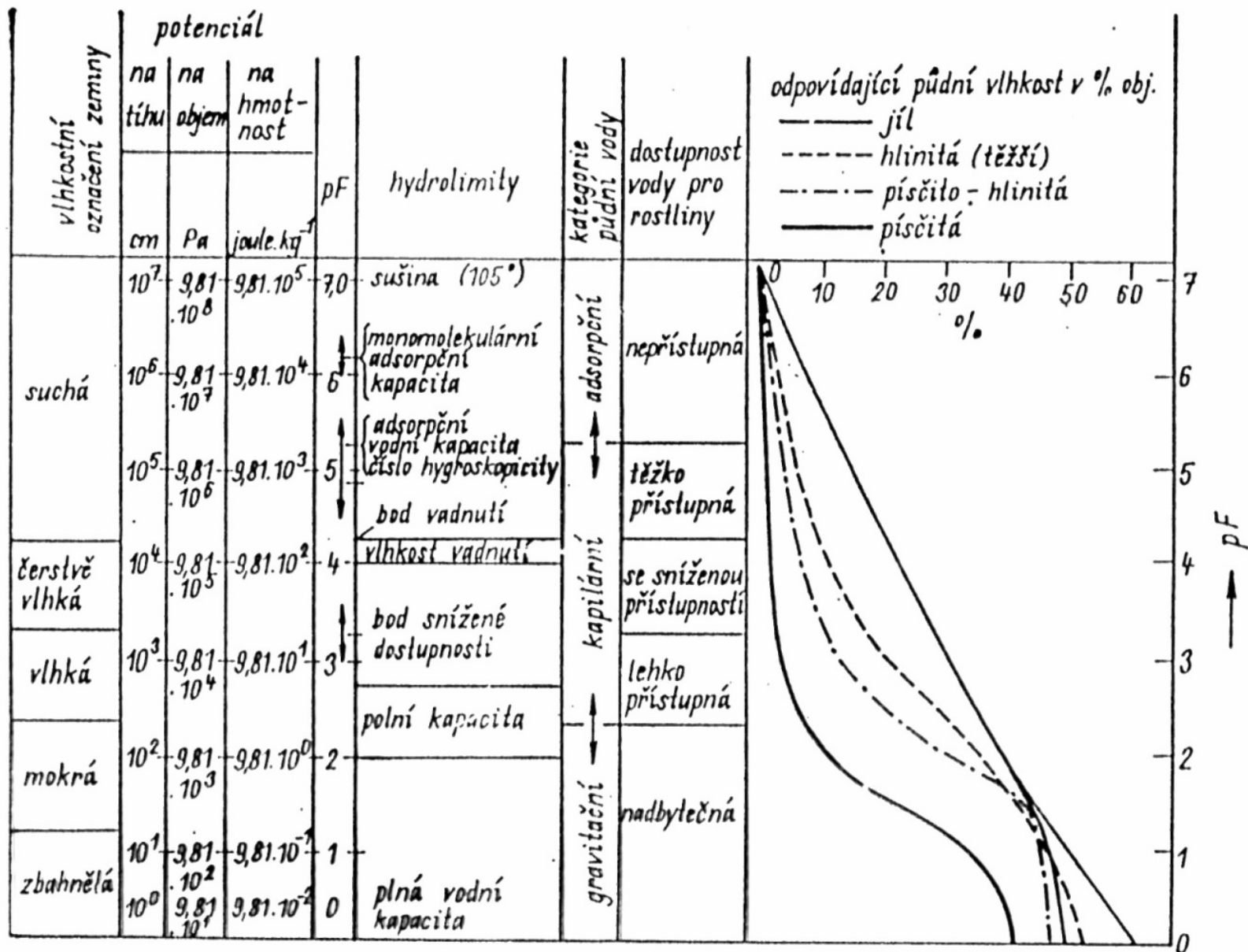
Celkový potenciál půdy je ovlivněn především matričním potenciálem, který udává, jakou silou je voda držena na površích v kapilárních pórech. Soli rozpuštěné v půdním roztoku ovlivňují osmotický potenciál, jehož význam stoupá v zasolených půdách. Pokud se ve vodě rozpouštějí soli, hydratují se a množství volné vody se snižuje. Chtějí-li mikroorganismy přijmout vodu, musí překonat síly, které vodu v půdě poutají.

- Rozměr **sacího tlaku** se udává v pascálech a jejich násobcích. Pro praktické účely je výhodné vyjadřovat sací tlak jako sací tlakovou výšku vodního sloupce v metrech nebo centimetrech.
- Pro praktické účely lze přibližně uvažovat, že  $1 \text{ hPa} = 1 \text{ cm}$
- Rozměr sací tlakové výšky v centimetrech je významný, poněvadž jeho prostřednictvím se tradičně vyjadřují tzv. pF hodnoty, pro něž platí:
- $pF = \log_{10} \text{ sací tlak [cm]}$
- Logaritmického vyjadřování sacích tlakových výšek se používá pro jejich značné řádové rozdíly mezi maximálními a minimálními hodnotami

# Grafickým vyjádřením vztahu vlhkosti půdy a sacím tlakem půdy je retenční čára vlhkosti







Obr. 64. Vztahy mezi různými jednotkami potenciálu, hydrolimity a vlhkostí půdy

## ENERGETICKÉ KATEGORIE PŮDNÍ VODY:

- Adsorpční
- Hygroskopická
- kapilární

**Adsorpční voda** zahrnuje molekuly vody poutané k povrchu pevných částic adsorpčními a osmotickými silami. Kolem půdních částic tak vzniká orientovaná polymolekulární vrstva dipólů adsorpční vody s odlišnou hustotou, s nižší rozpouštěcí schopností, pohybující se ve skupenství páry. Adsorpce může probíhat buď hygroskopicky (poutání molekul vodní páry) nebo hydrokopicky (poutání kapalné vody).

**Hygroskopická voda** zahrnující vodu adsorpční a kapilárně kondenzovanou představuje přechod k vodě kapilární.



**Kapilární voda** je dána intervalem vlhkosti podmíněným výrazně převládajícími kapilárními silami.

Jsou to síly vznikající při vytváření menisků spojeného s adhezními silami mezi vodou a povrchem pevných částic (smáčení) a kohezních sil mezi molekulami vody.

Rozeznáváme **kapilární vodu vzlínající**, tzv. **podepřenou** (pohyb vzhůru proti gravitaci) a **kapilární vodu zavěšenou** (např. půdní voda ve svrchní půdní vrstvě po dešti nebo závlaze).

Na **gravitační vodu** působí převážně síla zemské tíže a její pohyb gravitačními póry je půdním prostředím ovlivněn většinou nepatrně.

## **PŮDNÍ HYDROLIMITY:**

- **základní**
- **aplikované**

**K základním** řadíme ty, které tvoří rozhraní mezi třemi základními silami ovládajícími pohyb vody v půdě a to silami gravitačními, kapilárními a adsorpčními.

# Základní hydrolimity

Gravitační – kapilární – adsorpční



**Retenční vodní kapacita (cca -0,033Mpa, tj. -33kPa, pF 2-2,8)  $\Theta_{RVK}$**

Leží na rozhraní energetické kategorie vody kapilární a gravitační. Je to maximální množství vody, které je půda schopna trvaleji zadržet vlastními silami v téměř rovnovážném stavu po nadměrném zavlažení.

## Gravitační – kapilární – adsorpční



### **Lentokapilární bod (cca 3,1-3,5 Mpa) $\Theta_{LB}$**

Vyjadřuje stav půdní vlhkosti ležící na rozhraní energetických kategorií těžce pohyblivé a lehce pohyblivé kapilární vody. Dochází k přerušení souvislosti kapilární vody, vznikají prstence na styku půdních částic a voda zůstává v nejjemnějších kapilárách.

Snižuje se podstatně pohyblivost půdní vody a tím i přítok vody ke kořínkům rostlin.

**Voda se šíří pak jen difuzí.**

**Gravitační – kapilární – adsorpční**



**Adsorpční vodní kapacita  $\Theta_{AV}$**

Je množství vody poutané adsorpčními silami. Je to hydrolimit ležící na rozhraní kategorie sil adsorpčních a kapilárních (adsorpční voda a těžce pohyblivá kapilární voda)

# Aplikované hydrolimity

## Plná vodní kapacita $\Theta_s$

Je to hodnota půdní vlhkosti při úplném nasycení všech půdních pórů vodou. Prakticky ji můžeme považovat za rovnou půdní pórovitosti.



## **Polní (vodní) kapacita $\Theta_{PK}$**

Je půdní vlhkost, kterou je půda v přirozeném strukturním uložení schopna udržet po delší dobu po úplném umělém nasycení vodou infiltrací, při čemž je po tuto dobu eliminována evapotranspirace. Z půdního profilu odtéká pouze voda gravitační.

Tento půdní hydrolimit je nutné stanovit metodikou daným postupem v polních podmínkách. Hydrolimit  $\Theta_{PK}$  se prakticky shoduje s hydrolimitem  $\Theta_{RVK}$ , liší se metodou svého stanovení.

## **Maximální kapilární (vodní) kapacita $\Theta_{MKK}$**

Její stanovení je dáno laboratorní metodou dle Nováka. Jedná se o vlhkost půdy po dvou hodinách odsávání (na filtračním papíře) původně plně nasyceného půdního vzorku.

## **Bod vadnutí $\Theta_v$ (smluvně, cca -1,5MPa)**

Je vlhkost půdy, kdy jsou rostliny trvale nedostatečně zásobeny půdní vodou a vadnou.  $pF = 4,18$ .

Závislost vláhových charakteristik na zrnitosti (dle Váši J., 1960)  
 ( analyzováno 180 půdních horizontů )

Půdní druh	písčítá	hlinito-písčítá	písčito-hlinitá	hlinitá	jílovito-hlinitá	jílovitá	jíl
Obsah jílnatých částic (%)	3,08	14,69	24,35	37,00	54,04	68,01	82,40
	0,80	10,50	20,23	30,20	50,75	62,80	78,45
	až 7,25	až 19,10	až 29,85	až 30,85	až 59,00	až 74,20	až 85,60
Bod vadnutí (% obj.)	2,11	7,07	12,69	17,36	19,25	24,58	27,12
	0,57	1,98	5,83	10,42	14,81	23,20	21,60
	až 6,95	až 9,54	až 20,56	až 25,52	až 26,26	až 25,98	až 31,97
Polní vodní kapacita (% obj.)	9,31	20,94	28,81	34,52	34,75	40,27	38,45
	4,75	13,43	21,76	27,55	33,15	37,40	30,08
	až 20,02	až 32,26	až 39,34	až 40,06	až 36,92	až 42,11	až 43,39
Využitelná v. k. $\Theta_{PK} - \Theta_v$ (% obj.)	7,20	13,87	16,12	17,16	15,50	15,69	11,33

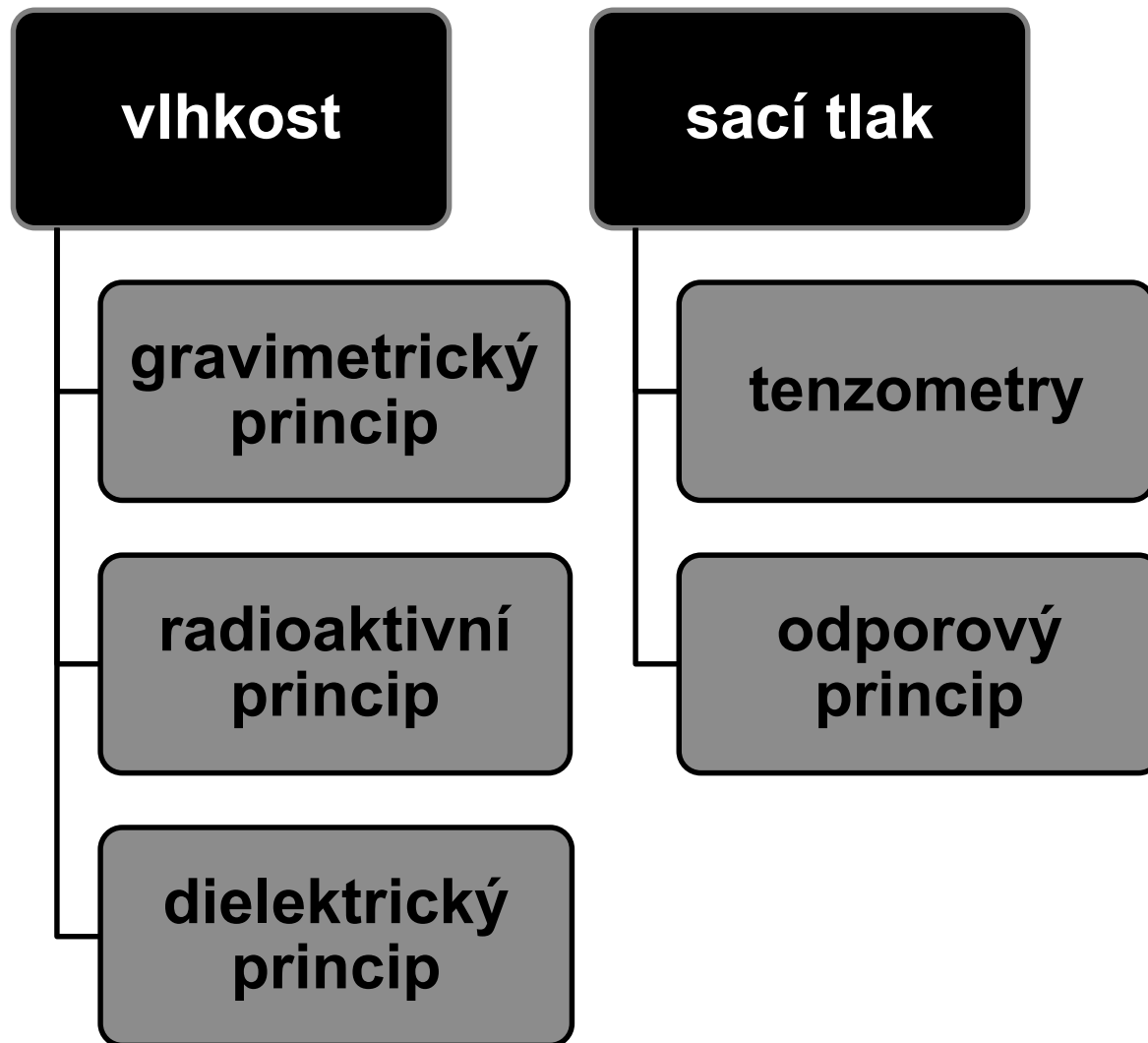


<b>P</b>	<b>HP</b>	<b>PH</b>	<b>H</b>	<b>JH</b>	<b>JV</b>
----------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------

# Metody měření půdní vlhkosti

- **polní x laboratorní**
- **destruktivní x nedestruktivní**
- **přímé x nepřímé**

# Měření půdní vlhkosti





**Momentní (okamžitá) vlhkost půdy, je její obsah v daném okamžiku, jedná se o základní kvantitativní charakteristikou vztahu půdy a vody.**

**Při určení vlhkosti v terénu se tato projevuje konzistencí, barvou horizontu a pocitem, který zeminy vyvolávají při dotyku. Na tomto podkladě je založeno označování vlhkosti zemin:**

**vyprahlá** – bez veškerých známek vlhkosti; těžší vzorky jsou v tomto stavu velmi tuhé, agregáty dále nedrobitelné, ztvrdlé; v plně rozdrobeném stavu práší; písčité vzorky jsou sypké a rozpadavé; při navlhčení vyprahlého horizontu silně tmavne barva,



**suchá** – nevyvolává pocit chladu; těžší vzorky, jsou netvárlivé, hroudy jsou pevné, agregáty se těžko drtí; u písčitých vzorků pozorujeme slabou soudržnost, lehce se rozsypají, tlakem mezi prsty se nespojují, nýbrž rozpadají; při navlhčení suchého horizontu tmavne barva,

**vlahá** – při zmáčknutí nepouští vodu, v ruce vyvolává pocit chladu, ale ruku neovlhčuje; těžší vzorky se tlakem drobí, nemažou se, ani nelepí; písčité vzorky jsou soudržné, avšak neplastické, při navlhčení vlahého horizontu se barva nemění,

**vlhká** – při zmáčknutí v ruce ovlhčuje dlaň nebo pouští vodu po kapkách, těžší vzorky se mažou, avšak nekašovatí; zrnitostně lehké vzorky jsou v ruce formovatelné, zmokří prsty, povrch se začíná lesknout od vody,

**mokrá** – vodou přesycená, při vyjmutí vzorku voda odkapává, horizont kašovatí, bředne.

# PŘÍMÉ METODY MĚŘENÍ

- Jako přímá metoda se používá metoda vážková (gravimetrická), spočívající na stanovení půdní vlhkosti vážením vlhkého a vysušeného půdního vzorku. Přesnost gravimetrické metody závisí na přesnosti vážení a definování pojmu vysušený stav půdy. Dosažení tohoto stavu není jednoduché zvláště u půd s vyšším obsahem organických látek.
- **Pro minerální půdy s malým obsahem humusu se vysušuje půdní vzorek při teplotě 105°C do konstantní hmotnosti.**

**Hmotnostní vlhkost půdy** se zpravidla zjišťuje u porušeného vzorku půdy a je dána vztahem

$$w = \frac{m_w}{m_z} \cdot 100 (\% \text{ hm.})$$

kde:  $m_w$  = hmotnost vody ve vzorku - zjistí se z rozdílu hmotnosti vlhkého a vysušeného vzorku (porušeného, tj. neznámého objemu)

$m_z$  = hmotnost vysušeného vzorku

**Objemová vlhkost půdy** se zjišťuje u neporušeného vzorku půdy a vypočítá se podle vztahu:

$$\Theta = \frac{V_w}{V_s} \cdot 100 (\% \text{ obj.})$$

kde:  $V_w$  = objem vody v půdním vzorku  
(za předpokladu, že hustota vody je  $1 \text{ g.cm}^{-3}$  se zjistí z rozdílu hmotnosti vlhkého a vysušeného vzorku známého objemu)

$V_s$  = objem neporušeného vzorku (zpravidla  $100 \text{ cm}^3$ )

**Mezi hodnotami vlhkosti hmotnostní a objemové platí vztah:**

$$\Theta = w \cdot \rho_d,$$

kde  $\rho_d$  = objemová hmotnost suché zeminy  
(objemová hmotnost redukována).