

REŽIMY PŮD

Půda – otevřený systém, do kterého vstupují látky i energie, jež neustále působí na změnu vlastností půdy. Nezvratné dlouhodobé (až tisíce let) změny půdních vlastností - **půdotvorné procesy**.

Režimy půd – změny některých půdních vlastností, v časovém úseku řádově kratším, než je období vývoje pedotopu. Změny mají často vliv na úrodnost půdy, opakují se v různých časových cyklech (dnech, vegetačních obdobích, rocích), přičemž z hlediska pedogeneze k nejvýznamnějším patří hydrické a termické režimy půd. Příčiny změn mají fyzikální, fyzikálně-chemický a biologický charakter. Průběh změn lze měřit a kvantifikovat a lze je alespoň částečně regulovat.

Základní půdní režimy:

1. Vodní režim půdy.
2. Vzdušný režim půdy.
3. Tepelný režim půdy.
4. Režim solí v půdě (vč. živinného režimu).
5. Biologický režim půdy.

Hydrické režimy půdy

Hydrické režimy půdy – tvoří se kombinací jednotlivých základních toků v půdě:

- a) **infiltrací**
- b) **redistribucí vody po zvlhčení** – odvodnění zvlhčené vrchní části profilu a zvlhčení spodní, sušší části profilu (tj. určitá modifikace infiltrace)
- c) **odtokem k hladině podzemní vody**
- d) **přítokem a odtokem podzemní vody** – projevuje se změnou hladiny podzemní vody, tj. změnou okrajové podmínky pro řešení vertikálních toků
- e) **výparem spolu s transpirací** – obvykle se hodnotí souhrnně jako evapotranspirace

Analytickou cestou (numerickými metodami a simulačními modely) – možnost řešení pouze jednoduchých poměrů.

Klasifikace hydrického režimu půd – podle následujících kritérií:

1. Hydrologická klasifikace vodního režimu půd - sleduje se směr a intenzita pohybu půdní vody a hodnotí se fyzikální stav vody v ekosystému půda - hornina.
2. Ekologická klasifikace vodního režimu půd - hodnotí stupeň nasycení půdy vodou, dobu nasycení a rozšíření vlhkosti v půdním profilu.
3. Hydrodynamická klasifikace vodního režimu půd - založena na identifikaci procesů pohybu vody v systému atmosféra - nenasyčená zóna půdního profilu - podzemní voda.

Hydrologické vlastnosti půd, které ovlivňují vodní režim:

- infiltrační schopnost půd,
- propustnost půdy.

Infiltrační schopnost půdy

Nejdůležitějším zdrojem půdní vody - ovzdušní srážky. Srážky částečně infiltrují do půdy, kde jsou zadržovány ve svrchní provzdušněné vrstvě a jejich přebytek případně perkoluje do hloubky, kde může vytvořit zásobu podzemních vod. Na povrchu půdy se srážková voda hromadí v mikrodepresích. Po jejich naplnění proudí směrem po svahu jako povrchový odtok.

Infiltrační schopnost půdy je ovlivňována:

- fyzikálními vlastnostmi půdy
- strukturou půdy
- vegetačním krytem povrchu půdy
- výchozí vlhkostí půdy
- obsahem chemických látek v půdě i v infiltrující vodě

Pohyb vody a plynů v půdě je možný jen tehdy, jestliže půda obsahuje vzájemně spojitě póry.

Hydraulickou vodivostí půdy - schopnost půdy vést vodu. Jestliže se sleduje pohyb kapaliny v půdě, ve které jsou všechny póry naplněné vodou, jedná se o nasycenou hydraulickou vodivost půdy. Jestliže část pórů je vyplněná půdním vzduchem, sleduje se nenasycená hydraulická vodivost půdy.

Statika a dynamika půdní vody

Na půdní vodu působí síly různého původu, směru a různé velikosti. Výsledek působení těchto sil:

- rovnovážný stav půdní vody - půdní voda se nepohybuje
- nerovnovážný stav půdní vody - voda má dynamický charakter, je v pohybu

Dynamika půdní vody - určována jejím energetickým stavem, tj. **potenciálem Φ** , jenž vyjadřuje souhrnné působení všech sil. Energie, jakou půda poutá vodu se vztahuje na jednotku vody. Základním způsobem je potenciál definován energií působící na jednotkovou hmotnost ($J \cdot kg^{-1}$). Pokud nahradíme v této definici hmotnost objemem (lze, neboť voda je prakticky nestlačitelná kapalina), pak lze potenciál vyjádřit sacím tlakem ($Pa = N \cdot m^{-2}$, dříve bar). V praktických výpočtech se tlaková jednotka převádí na hydraulickou výšku H - tlaková výška (m). Platí:

$$\Phi = H + z$$

H - vlhkostní potenciál (tlaková výška) - odpovídá odvodňovací větvi retenční čáry. jednotkou je tlaková výška H [nejčastěji v cm nebo m].

z - svislá vzdálenost od srovnávací roviny

Vlhkostní potenciál - v polních podmínkách tenzometry, laboratorně se stanovuje v podtlakových nebo přitlakových přístrojích. Graficky zobrazený vztah mezi vlhkostí půdy a

vlhkostním potenciálem = retenční čára vlhkosti. Její průběh je závislý na zrnitostním a mineralogickém složení, obsahu humusu, výměnných kationtech, struktuře a objemové hmotnosti. Je proto nutné ji stanovovat pro každou půdu. Při zobrazení v semilogaritmickém papíru se potenciál vynáší v logaritmickém měřítku a výsledná čára se označuje jako pF křivka:

$$pF = \log |H|, \text{ kde } H \text{ je obvykle v cm}$$

Vlhkost půdy θ → uvádí se objemově, tj. $\theta = V_w/V_s$, kde V_w je objem vody, V_s je objem půdy. Vlhkost je tedy bezrozměrné číslo ($\theta < 1$).

Charakteristické vlhkostní stavy půdy

Vlhkost půdy, obsah vody v půdním prostředí, se plynule mění. Pro srovnatelné vyjádření vlhkostních stavů půdy se stanovují charakteristické hodnoty - **hydrolimity**.

Hydrolimity charakterizují:

- hranice mezi jednotlivými kategoriemi půdní vody,
- hranice různé pohyblivosti půdní vody,
- hranice různé přístupnosti vody pro rostliny.

Základní kategorie půdní vody:

- a) půdní voda adsorpční - vázaná adsorpčními silami na povrchu půdních částic
- b) půdní voda kapilární - pohyb vody je řízen převážně působením kapilárních sil
- c) půdní voda gravitační - pohyb vody ovlivněn působením zemské gravitace

Typy hydrolimitů v klasifikacích hydrických režimů:

θ_s – **plná vodní kapacita**, též maximální vodní kapacita: Hodnota vlhkosti půdy při úplném zaplnění pórů vodou. V praxi se rovná pórovitosti, uzavřený vzduch ve formě oddělených bublin snižuje hodnotu θ_s na rozdíl od pórovitosti i při déletrvajícím zamokření s tlakovou výškou $H > 0$. Objem uzavřeného vzduchu činí až 10 % pórovitosti, s časem klesá a až po několika měsících platí, že $\theta_s =$ pórovitost za stálého stavu $H > 0$.

θ_{PK} – **polní kapacita**: Vlhkost, kterou je půda při svém přirozeném uložení schopna po delší dobu zadržet po nasycení infiltrací, jestliže se zamezí jakémukoli proudění na topografickém povrchu. V praxi – v laboratoři se určuje absolutní vodní kapacita, nebo maximální kapilární kapacita pomocí neporušených půdních vzorků odebíraných do tvaru válečků. Hodnoty H kolísají v rozmezí od -100 cm u lehkých půd až do -500 cm u těžkých půd, tedy v mezích $pF = 2$ až $2,7$. Texturní diferenciací v profilu se hodnoty θ_{PK} zvyšují.

θ_{SD} – **bod snížené dostupnosti**: Vlhkost půdy, pod jejíž hodnotou se podstatně snižuje pohyblivost půdní vody, a tím se snižuje přítok vody do kořinek rostlin. Jestliže se vlhkost půdy udržuje delší dobu pod tímto hydrolimitem, dochází k omezení fyziologických funkcí rostlin a snižují se výnosy. Odpovídající hodnota $H = -1000$ až -2000 cm, neboli $pF = 3$ až $3,3$.

θ_V – **bod vadnutí**: Vlhkost půdy, kdy rostliny nejsou dostatečně zásobeny vodou, absorpce vody kořením je výrazně nižší než intenzita redukované transpirace → rostliny vadnou. Interval vlhkosti, při kterém dochází k trvalému vadnutí je široký, v závislosti na druhu vegetace a ekologických poměrech. Proto se u kulturních plodin pracuje s průměrnou hodnotou θ_V , jejíž hodnota odpovídá $H = -1,5 \cdot 10^4$ cm, neboli $pF = 4,18$.

θ_H – **číslo hygroskopicity**: Vlhkost půdy, která stanovuje hygroskopické vlastnosti půdy. Stanoví se při relativním tlaku vodních par $p/p_0 = 0,95$, odpovídající hodnota tlakové výšky $H = -6,84 \cdot 10^4$ cm, neboli $pF = 4,85$ (při $T = 20$ °C).

Hydrologická klasifikace hydrických režimů

Vodní (hydrický) režim je závislý na těchto faktorech:

- a) umístění půdy v reliéfu – ovlivňuje povrchové rozdělení vody povrchovým odtokem, povrchovým prouděním, hromaděním vody v depresích, přiblížením hladiny podzemní vody...
- b) klimatické podmínky – zvláště důležitý je poměr mezi ročním průměrným srážkovým úhrnem S a průměrnou hodnotou výparu, resp. Evapotranspirace E . Poměr S/E se značí jako koeficient ovlhčení
- c) hydrologické vlastnosti půdy – důležité jsou hodnoty hydrolimitů a hydraulické vodivosti, dále pak zvrstvení profilu nebo podloží
- d) podíl účasti podzemních vod – ovlivňuje hloubku hladiny podzemní vody a dosah horní hranice kapilárního pásma
- e) rostlinstvo – ovlivňuje míru rovnoměrnosti odběru půdní vody z větších hloubek
- f) člověk – ovlivňuje půdní vlhkost technickými zásahy nebo obděláváním půdy

Základní typy vodního (hydrického) režimu:

- I. Režim půd s věčným ledem (permafrostní) – permafrost zasahuje do půdního profilu
- II. Režim promyvný (perkolační) – každoroční intenzivní provlhčení a prosakování půdy srážkovou vodou, $S/E > 1$. Část z půdy odtéká jako podzemní nebo vnitropůdní boční voda
- III. Režim periodicky promyvný (periodicky perkolační) – provlhčení a prosakování půdy a podloží nenastává každoročně. $S/E \approx 1$. Převaha vertikálního pohybu vody, evapotranspirace je v suchých letech větší než infiltrace
- IV. Režim nepromyvný (imperkolační) – voda atmosférických srážek zasahuje pouze mělce do půdy, $S/E < 1$. Převlhčování půdy s podložím je vyloučeno, ve spodní části profilu nebo pod ním je horizont s trvale nízkou vlhkostí. Výparem a transpirací se voda z půdy rychle ztrácí
- V. Režim výparný (respirační) – typický vzestupný pohyb vody nad sestupným, výpar převládá nad zásakem, zdrojem jsou podzemní vody. $S/E < 1$
- VI. Režim nivní – atmosférické srážky humidních oblastí zasahují periodicky nebo trvale do půdy, jejich plynulý odtok brzdí a znemožňuje trvale vzvednutá hladina podzemní vody
- VII. Režim bažinný (stagnantní) – voda sezónně nebo trvale pokrývá a zamokřuje povrch půdy, typický je zásah hladiny podzemní vody do půdního profilu, případně až k povrchu půdy

VIII. Režim závlahový (irigační) – vodní režim uměle vytvářený člověkem

Ekologická klasifikace hydrických režimů

Hlavními kritérii ekologické klasifikace jsou:

- stupeň provlhčení půdního profilu
- délka trvání provlhčení
- stratifikace vlhkosti

Posuzujeme-li množství vody v určitých vrstvách, je nutné z vlhkosti půdy spočítat zásobu půdní vody W [mm] podle vztahu

$$W = \int_{z_1}^{z_2} \theta \, dz,$$

a tuto hodnotu vynést v závislosti na čase, tedy $W(t)$. Meze integrálu lze volit u polních kultur 0-30 cm pro vrchní vrstvu a 30-100 cm pro spodní vrstvu (podloží) s ohledem na hloubku zakořenění. U lesu se hranice vrchní vrstvy posouvá na 0-50 cm.

Celé rozmezí vlhkosti se rozdělí do intervalů mezi hydrolimity, zjistí se tedy zásoby vody mezi jednotlivými hydrolimity. Klasifikace je následující:

- akvatický stav**; vlhkost při plné vodní kapacitě θ_S
- uvidický interval**; plná vodní kapacita θ_S – polní kapacita θ_{PK}
- semiuvidický interval**; polní kapacita θ_{PK} – bod snížení dostupnosti θ_{SD}
- semiaridní interval**; bod snížení dostupnosti θ_{SD} – bod vadnutí θ_V
- aridní interval**; bod vadnutí θ_V – číslo hygroskopicity θ_H
- hyperaridní interval vlhkosti**; méně než číslo hygroskopicity θ_H

Akvatický stav – ve vrchní vrstvě velmi zřídka, pokud není způsoben silným zvrstvením, vysokou úrovní hladiny podzemní vody a nedostatečnou drenáží půdy.

Uvidický interval – ve vrchní vrstvě obvykle krátkodobě, pokud nejde o půdy se špatnou vnitřní drenáží nebo o půdy, kde se akvatický interval střídá s intervalem uvidickým.

Semiuvidický a semiaridní interval – velmi častý výskyt, a to jak ve svrchní, tak i v podložní vrstvě.

Aridní interval – častější ve svrchní než ve spodní vrstvě

Hyperaridní interval – omezen pouze na extrémní klimatické zóny.

Klasifikace ekologické vlhkosti:

Třída – stanovena podle vlhkostního intervalu celého profilu (zásoby vody v mm) po dobu rovnou a delší než 6 měsíců nebo podle dominantního intervalu. Rozlišujeme 6 tříd vlhkosti se stejným označením jako intervaly.

Řád – stanovený podle vlhkostního intervalu v kratších časových periodách:

- A – permanentní řád s trváním dominantního intervalu přes 10 měsíců a nedominantního intervalu méně než 2 měsíce

- B – dočasný řád s trváním dominantního intervalu přes 6 měsíců a jednoho z nedominantních intervalů po dobu 2-6 měsíců
- C – indiferentní řád, jehož ani jeden interval nemá trvání rovné nebo přes 6 měsíců a bez zřetelně podružných intervalů

Podřád – určený podle sezóny

Typ – určený podle klasifikace vlhkosti ve vrchní a spodní vrstvě:

- trvale sestupný
- dočasně sestupný
- kolísající
- monotónní
- dočasně vzestupný
- trvale vzestupný

Hydrodynamická klasifikace vodního režimu půd

- založena na identifikaci procesů pohybu vody v systému atmosféra - nenasycená zóna půdního profilu - podzemní voda.

Při dostatečné mocnosti systému půda - hornina a při větší hloubce hladiny podzemní vody se v půdně horninové vrstvě můžou vytvořit tyto oblasti (zóny) :

a) zóna aerační, tj.

- zóna kapilárně zavěšené vody
- přechodná zóna
- nenasycená část zóny kapilárně podepřené vody

b) zóna saturace, tj.

- nasycená část zóny kapilárně podepřené vody
- zóna podzemní vody

Mocnost uvedených zón závisí na množství vody, která infiltrovala do půdního profilu, na jímací (retenční) kapacitě půdního profilu, na její mocnosti a na hloubce hladiny podzemní vody.

Tepelné (termické) režimy půd

Vedení tepla v půdě

Tepelný režim půdy je projevem **pohlcování, akumulace, přenosu a vyzařování tepla** půdou. Zdrojem tepelné energie – sluneční záření, to je zemským povrchem zčásti absorbováno, zčásti odraženo. Největší absorpce - u tmavého drsného povrchu a u terénu s jižní expozicí svahů. Čím je intenzivnější absorpce záření a ohřátí povrchu půdy, tím výraznější je také tepelné vyzařování. Vegetační kryt vyrovnává teplotní extrémy, omezuje dopad záření na půdu, snižuje tepelné ztráty při vyzařování. Míra zahřátí povrchu půdy závisí na:

- a) tepelné kapacitě půdy
- b) ztrátách energie při vyzařování a při výparu z půdy
- c) na přenosu energie do hlubších vrstev

Hustota tepelného toku se označuje q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] a udává přenos energie:

$$q = \frac{\partial}{\partial A} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right),$$

kde Q je množství přenášené energie [J], A je průřezová plocha kolmá na směr přenosu [m^2], t je čas. Stacionární proudění tepla je popsáno rovnicí

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z},$$

kde λ je měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], T je teplota [K]. Tepelná vodivost půdy – ovlivněna několika faktory:

- a) **mineralogické složení** – největší hodnotu tepelné vodivosti má křemen, méně než poloviční křemičitany
- b) **obsah humusu** – řádově nižší tepelná vodivost než křemen
- c) **vlhkost** – voda má λ_w více než o řád větší než vzduch
- d) **textura a struktura půdy** – přenos tepla na bodových kontaktech vodivých elementů (křemičitanové a křemičité částice) za sucha, při vzniku vodních filmů → prudký nárůst dotkových ploch a λ rychle vzrůstá s vlhkostí

Nestacionární proudění tepla – rovnice pro stacionární proudění tepla je doplněna o rovnici zachování energie (= rovnice continuity), podle které je zmenšení výtoku tepla z elementu provázeno jeho ohřátím.

Tepelná vodivost půdy závislá i na zvlhčení. Při velmi nízké vlhkosti se přenáší teplo na bodových kontaktech vodivých elementů. Vzduch působí jako tepelný izolátor. Při vzniku vodních filmů (ovlhčení půdních částic) se objeví prudký vzrůst dotkových ploch a tepelná vodivost rychle vzrůstá s vlhkostí. Při dalším zvyšování vlhkosti se jen nepatrně zvětšují dotkové plochy a při vysoké vlhkosti je vzrůst tepelné vodivosti způsobován pouze snižováním obsahu vzduchu.

Klasifikační systémy

Klasifikační systémy – zahrnují také ekologické požadavky rostlin a půdních organismů. Půdní teplota pod $0\text{ }^\circ\text{C}$ inaktivuje biologickou činnost půdy, teplota $0\text{-}5\text{ }^\circ\text{C}$ zamezuje růst většiny rostlin (u tropických rostlin se vyžaduje často $20\text{-}24\text{ }^\circ\text{C}$ pro jejich vyklíčení ze semen). Kritéria pro hodnocení teplotního režimu půdy:

- a) rozbor denní a sezónní fluktuaace půdních teplot v různých hloubkách
- b) vliv sněhové pokrývky
- c) vliv hladiny podzemní vody a reliéfu
- d) vliv vegetace

Klasifikace tepelného režimu půd:

1. **Mrazový teplotní režim** – vyznačuje se permafrostem, tajícím do 100 cm, s teplotou nejteplejšího měsíce $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. **Dlouhodobě sezónně promrzající půdy** – ostrůvkovitě se ve větší hloubce vyskytuje permafrost. Půda promrzá do 100-300 cm po dobu alespoň 5-6 měsíců, teplota nejteplejšího měsíce $10-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. **Sezónně promrzající půdy** – permafrost zcela chybí, promrzání do hloubky 20-200 cm po dobu kratší než 5-6 měsíců, teplota nejteplejšího měsíce $20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. **Nepromrzávající půdy s periodickým ochlazením** - s kladnými teplotami (do $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$) nejchladnějšího měsíce, teplot nejteplejšího měsíce do $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. **Vlastní nepromrzající půdy** – s kladnými teplotami nejchladnějšího měsíce $5-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
6. **Nepromrzávající půdy, stále teplé** – půdní teploty v průběhu celého roku nad $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V našich zeměpisných podmínkách – existence pouze dvou základních typů tepelného režimu, a to:

- a) **režim č. 2** - může se uplatňovat ve vysokých pohořích naší republiky
- b) **režim č. 3** – delší dobu s kladnými hodnotami půdní teploty, půda promrzá 1-5 měsíců v roce

Typ vzdušného režimu

- a) **neprodyšný** – minimální vnitropůdní i mimopůdní cirkulace vzduchu
- b) **tlumený** – výměna vzduchu mezi půdou a atmosférou během roku je nepatrná a probíhá jen několik měsíců
- c) **sezónně tlumený** – během vegetačního období je výměna mezi půdou a atmosférou intenzivní, na dlouhou dobu se však zastavuje (vliv dlouhotrvající sněhové pokrývky)
- d) **krátkodobě sezónně tlumený** – výměna vzduchu mezi půdou a atmosférou je v průběhu roku přerušována jen na krátké období
- e) **prodyšný** – trvalé a intenzivní provzdušňování půdní masy

Typ biologického režimu

- a) **živořící** – u biologicky chudých půd s nízkým obsahem organických látek a celkově nepříznivými ekologickými podmínkami
- b) **pulzující** – u půd s občasným krátkodobým uplatněním biologické aktivity
- c) **sezónně intenzivní** – u půd s jediným dlouhým obdobím biologického klidu a dlouhým obdobím intenzivní biologické činnosti

Režim solí v půdě

Režim solí v půdě charakterizuje změny obsahu, složení a pohybu solí v půdě za určité časové období.

Hlavní typy režimu solí v půdě :

1. **Primitivní typ** - charakterizuje velmi nízký obsah solí v půdě, nevýrazné změny v jejich složení a zanedbatelný pohyb solí v půdě.
2. **Eluviální typ** - charakteristický intenzivním vyplavováním solí z půdního profilu.
3. **Migrační typ** - probíhá pohyb solí výhradně v půdním profilu.

4. **Akumulační typ** - dochází k zvyšování obsahu solí v půdním profilu.

5. **Antropogenní typ** - obsah i pohyb solí v půdě se uměle reguluje.

Propustnost (perkolace)

- a) **snížená** – vododržnost převládá nad vodopropustností (půdy se sklonem k povrchovému převlhčování)
- b) **normální** – vodopropustnost v přibližné rovnováze s vododržností
- c) **zvýšená** – vodopropustnost výrazně převládá nad vododržností (půdy se sklonem k vysoušení)