

Zemědělské půdoznalství a mikrobiologie

přednáška 3

Vítězslav Vlček, Ph.D.

ústav 221

Zasolení půdy

Přirozeně v suchých a teplých oblastech v ČR 6 200 ha

půdní reakce úzce souvisí s pedogenetickými procesy (aluviální náplavy, nebo sprašové uloženiny s výskytem silně mineralizovaných podzemních vod), podléhá změnám a mění se v průběhu roku

Jedná se o vodorozpustné soli

Při nezemědělském využití se na plochy váže halofytní vegetace

Příčiny zasolení

Zasolení reziduální u sedimentárních hornin s vyšším obsahem lehce rozpustných solí

Zasolení podzemní vodou s vysokým obsahem solí (kapilární zdvih)

Závlahy, odpadní vody

Druh a obsah minerálních solí

- Z aniontů nejčastěji sírany, chloridy a uhličitany
- Z kationtů hlavně Na^+ , popřípadě Mg^{2+} a Ca^{2+}
- Poměr škodlivosti: Na_2CO_3 : NaHCO_3 : NaCl : Na_2SO_4 = 10:3:3:1
- MgCl_2 , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaCl , CaCl_2 , MgSO_4
- Téměř neškodné... CaSO_4 a CaCO_3

Zasolení rozlišujeme:

Silně zasolené (nad 1% solí)

Mírně zasolené (0,2 – 1 %)

Pro působnost solí není až tak rozhodující koncentrace ale druh solí (chloridy sodíku a hořčíku poškozují rostliny již při obsahu 0,1 %; uhličitany a hydrogenuhličitany sodíku již při obsahu 0,05 %..)

Solončky vs. solonce (slance)

Méně sorbovaného Na obsahují **solončky**, které se vytváří v prostředí se silně mineralizovanou podzemní vodou (3-4000 mg/l), půdní reakce je alkalická (pH je nad 7,5), dle stupně lze rozlišit:

- Vlastní solončak (nad 1 % solí v povrchovém hor.)
- Solončakované půdy (0,2-1 % solí)
- Hluboce solončakovaná (zasolení v hloubce nad 50 cm)
- Obsah solí do 0,2 % je již nezasolená

Při extrémním nasycení SK (nad 20 % výměnných kat.) sodíkem vznikají **slance**. pH je silně alkalické (pH 8-9)

Na míře škodlivosti se podepisuje i půdní druh:

- V hlinité půdě ohrožují vegetaci již 0,3 % chloridů, 0,4 % dusičnanů; 0,5 % uhličitanů; a 1 % síranů
- V písčité půdě jsou tato množství poloviční
- Obsah sodíku nesmí být v půdě vyšší než 0,2 %; při obsahu na 0,6 % je již půda bez porostu

Odolnost plodin

Dobrá (cukrovka, řepa, kapusta, vojtěška, ječmen, žito, oves)

Střední (slunečnice, pšenice, vinná réva, brambory, jetel plazivý,)

Nízká (ovocné stromy)

Rostliny jsou tím odolnější, čím lepší jsou ostatní fyzikální vlastnosti půdy

Solončaky

U nižšího obsahu solí:

- omezení výparu (mulčování, povážení pískem, kompost, rašelina, sláma, listí tráva...)
- Zvyšování množství POH a podpora mikrobiální činnosti: chlévský hnůj 20 – 30 t/ha, zelené hnojení, kompost...

U vyššího obsahu solí:

- Promývání profilu do recipientu nebo drenáže (nejprve se vymývají chloridy, pak sírany a nakonec uhličitany)
- Vhodnou dobou na promývání je podzim nebo mírná zima (bývá v obou případech slabší výpar)
- Před promýváním se provede hluboká orba a urovnání povrchu
- Promývání nemá zbažínět půdu, dávka: 1500-4500 m³, max. jednorázová dávka 500-1000 m³/ha

Slance

Bývá značně problematictější

- Úprava vodního režimu: odvedení povrchových vod (které způsobují povrchové zamokření) + snížení HPV
- Zlepšení fyzikálního stavu (nahrazením Na na SK za Ca)

Sádrování (10–20 tun/ha) CaSO_4 ; vzniklý síran sodný se promývá

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , lignitový prach

Půdní koloidy

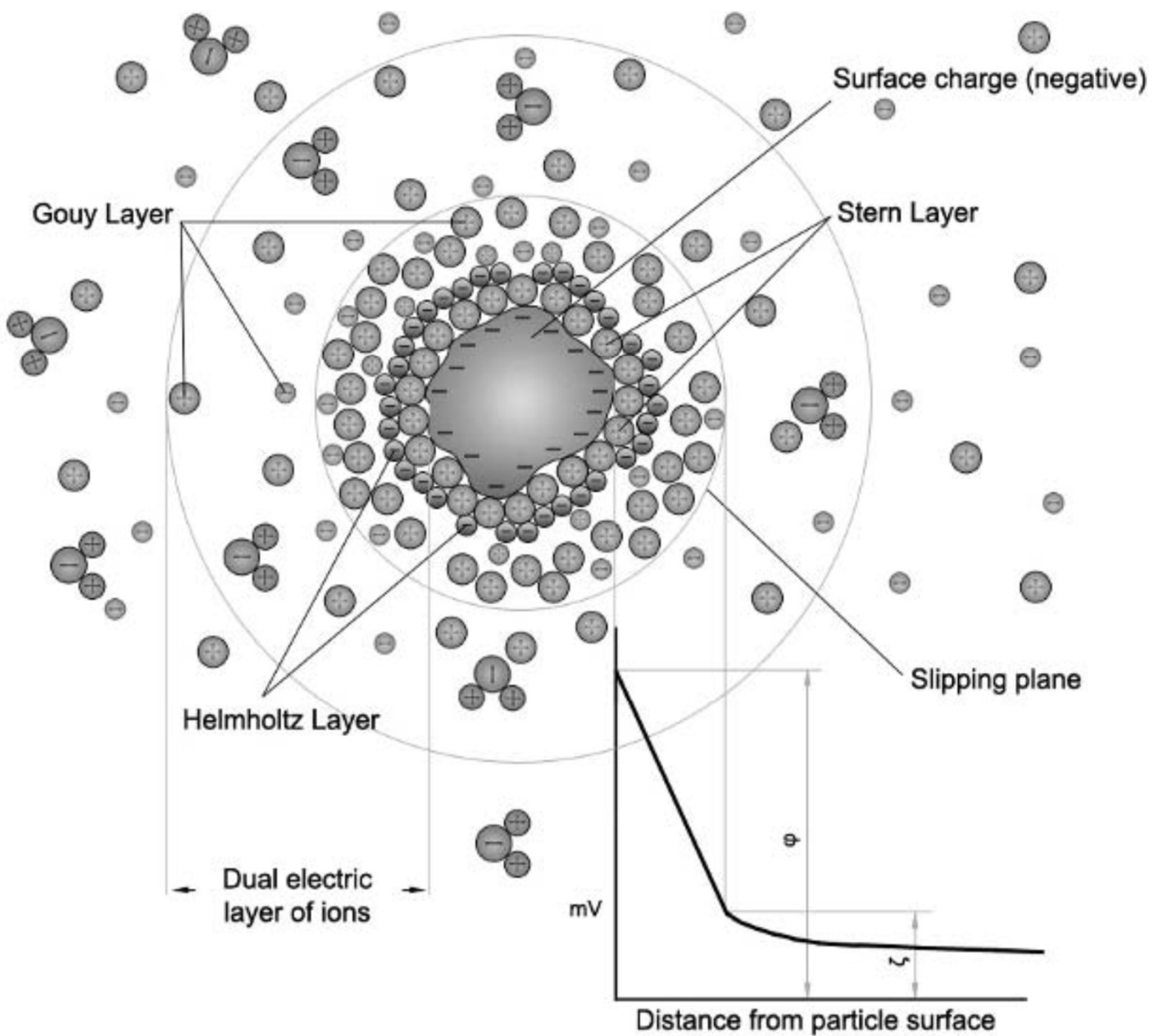


Podle původu dělíme půdní koloidy na **minerální** a **organické**.

V našich půdách zpravidla převládají **minerální**. Ty jsou zastoupeny především **sekundárními aluminosilikáty** (druhotnými jílovými minerály). V menší míře **nerozpustnými fosfáty hliníku a železa**, **hydratovanými polymerními oxidy hliníku, železa a manganu**, a **jemně disperzními primárními minerály** (muskovit a křemen).

Organické koloidy půdy jsou tvořeny především **humínovými kyselinami a jejich solemi**. V menší míře se vyskytují **bílkoviny** a **lignin**.

Spolu s minerálními koloidy vytvářejí **organo-minerální koloidní komplex**.

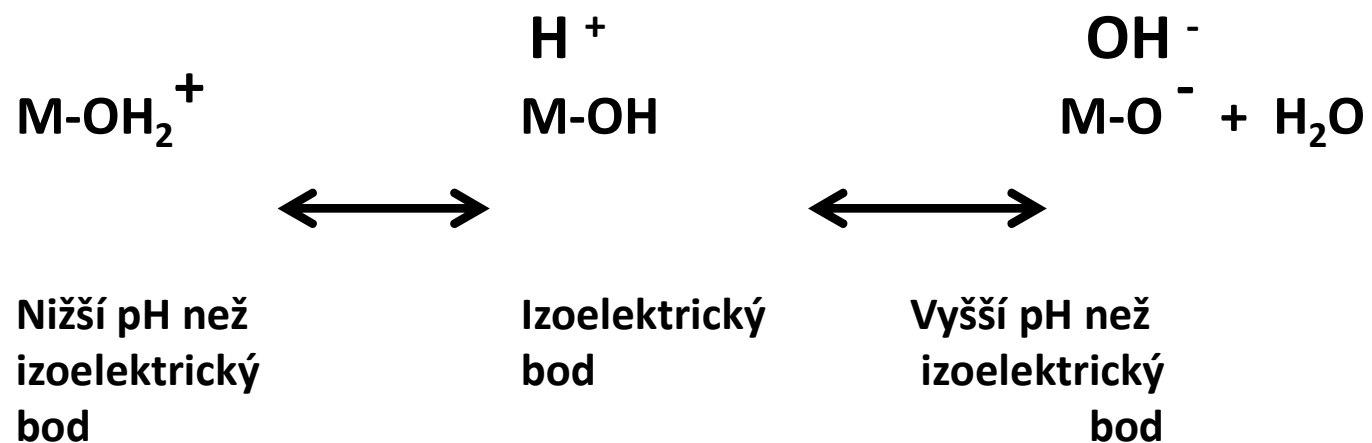


**Struktura koloidní částice
(micely)**

Vlastnosti půdních koloidů

1. Velký měrný povrch koloidních částic a vysoká povrchová energie. Tyto vlastnosti podmiňují vznik povrchových jevů: adsorpce dipólů vody, kapilární jevy, adsorpce kationtů.
2. Schopnost disociovat ionty v roztoku a adsorbovat je, je můžeme rozdělit na: **Acidoidy** jsou negativně nabitě; disociují a adsorbují kationty. **Bazoidy** mají kladný náboj; disociují a adsorbují anionty. **Amfolitoidy** mění náboj v závislosti a reakci disperzního prostředí (půdního roztoku).

Amfoterní vlastnosti oxidů, hydratovaných oxidů a hydroxidů



Amfoterní vlastnosti oxidů, hydratovaných oxidů a hydroxidů



Oxidy	Izoelektrický bod (pH)
SiO ₂	cca 2
MnO ₂	cca 4
Al ₂ O ₃	7,5 – 9,5
Fe ₂ O ₃	6,5 - 8

3. Podle vztahu k vodě: **hydrofilní koloidy** vytvářejí hrubý hydratační obal (např. humínové kyseliny a bílkoviny). Tyto koloidy jsou stabilní, nachází se v rozptýleném stavu. **Hydrofobní koloidy** jsou hydratované velmi slabě. Jsou to především hydratované polymerní oxidy železa, hliníku a manganu. Tyto koloidy jsou nestabilní, snadno se srážejí. **Sekundární alumosilikáty (=jíly)** se chovají jako slabě hydrofilní koloidy.
4. Koloidní soustava se nachází ve stavu koloidního solu, pokud jsou koloidní částice v prostředí rozptýlené, nebo ve stavu koloidního gelu, kdy jsou koloidní částice vzájemně pospojovány a vytvářejí agregáty.

Proces přechodu koloidní soustavy ze stavu gelu do stavu solu se nazývá peptizací, opačný proces se nazývá koagulací.

Schopnost půdních koloidů setrvávat ve stavu sólu je z hlediska půdní úrodnosti vlastnost nežádoucí.

Koagulací koloidů v půdě se tvoří a zlepšuje půdní struktura.



Sorpční schopnost půd

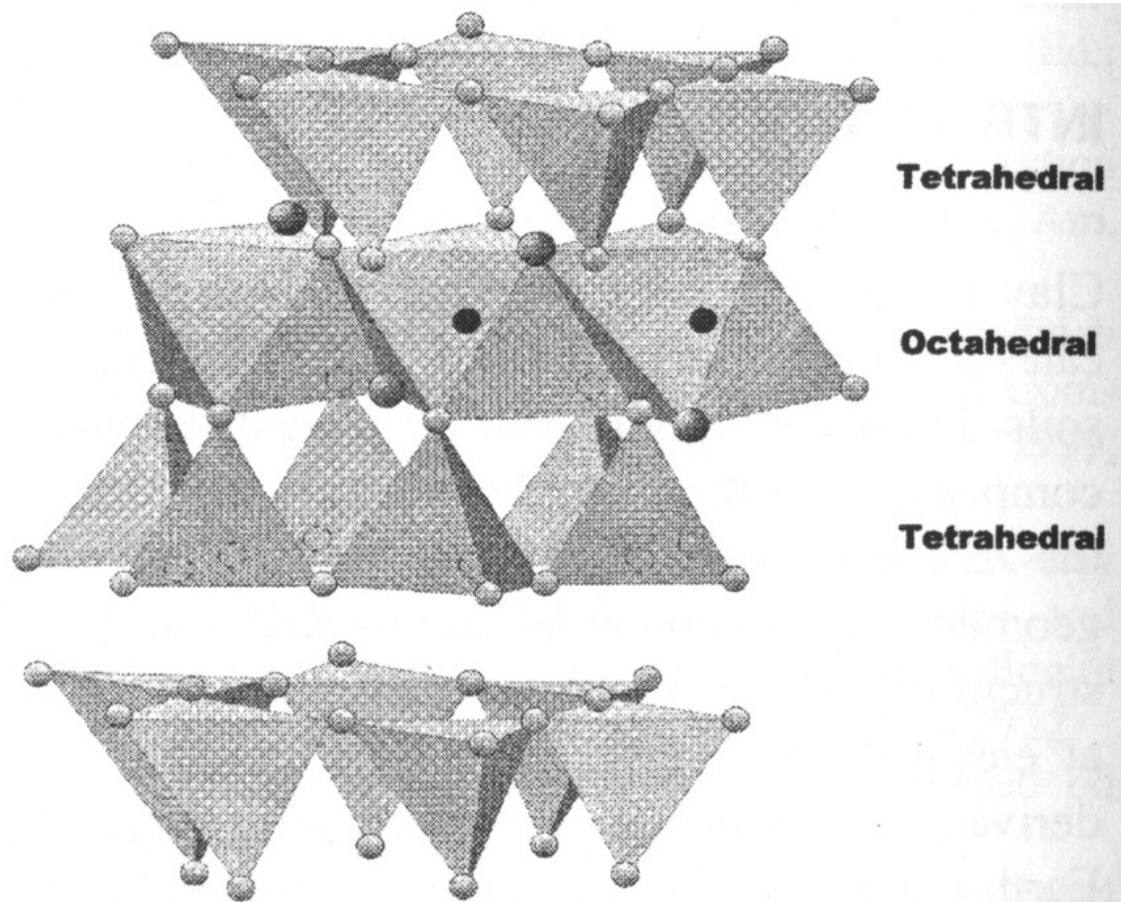
Mechanismy sorpce

Podle způsobu poutání látek v půdě je možno vyčlenit tyto sorpční mechanismy:

- **mechanická sorpce** se uskutečňuje mechanickým zadržováním částic v jemných, zúžených či slepě končících pórech.
- **fyzikální sorpce** souvisí s povrchovými jevy na fázovém rozhraní. Projevuje se zvětšením koncentrace molekul na povrchu tuhé fáze a jejím poklesem v půdním roztoku při snížení volné povrchové energie.
- **fyzikálně chemická (výměnná) sorpce** se projevuje výměnou adsorbovaných kationtů za kationty z půdního roztoku v ekvivalentním poměru. Energie výměny kationtů je přímo úměrná jejich valenci a při stejné valenci jejich atomové hmotnosti.
- **chemická sorpce** váže ionty vytvářející za daných podmínek málo rozpustné sloučeniny zadržované v adsorpčních pórech tím více, čím nižší je produkt jejich rozpustnosti.

- **biologická sorpce** probíhá v důsledku životní činnosti edafonu a vegetace. Je selektivní (výběrová), protože jsou adsorbovány ty prvky které organismy potřebují k životu, dále je dynamická a pevná, tj. minerální látky a dusík jsou syntetizovány do organických sloučenin jejich těl a tak dokonale chráněny před rozpuštěním a migrací. Přístupné jsou až po mineralizaci odumřelých organismů.

Fixace iontů



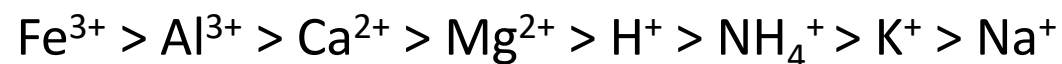
Výměnná sorpce kationtů

Adsorpce kationtů má **selektivní povahu**, závisí na:

- relativní koncentraci kationtů v půdním roztoku (přímá úměra)
- náboji (valenci) kationtů (přímá úměra)
- na aktivitě kationtů v souvislosti s rychlostí pohybu iontů.



Lyotropní řada



Ukazatelé (parametry) sorpčních vlastností půd

1. **Obsah výměnných bází** je množství bází, které je právě sorpčním komplexem poutáno. Označuje se znakem "S" a jeho hodnoty jsou udávány milimolech chemického ekvivalentu (mmol) na 0.1kg zeminy. **Hodnoty** tohoto ukazatele **se mění během roku se změnami vlhkosti půdy a hnojením**. Pro určitý půdní typ má ustálenou hodnotu poměru mezi jednotlivými kationty.
2. **Výměnná sorpční kapacita** je označována znakem "T" nebo "KVK" - **kationtová výměnná kapacita**) a je udávána také v mmol/0.1kg zeminy. Je to celkové množství kationtů, které je sorpční komplex půdy schopen poutat na svém povrchu. Písčité půdy mají sorpční kapacitu 2 - 10, hlinité 20 - 30, jílovité 40 - 50 a organické půdy až 150 mmol na 0.1 kg půdy. Hodnota T se obvykle zvětšuje s vyšším podílem humusových koloidů v jádru sorpčního komplexu. (Všechny údaje jsou uváděny v milimolech chemického ekvivalentu na 0.1 kg půdy na vzduchu suché).

Hodnocení půd podle výměnné sorpční kapacity

Výměnná sorpční kapacita	T (KVK) (mmol / 0,1 kg)
Velmi vysoká	nad 30
Vysoká	25 – 30
Vyšší střední	18 – 25
Nižší střední	13 – 18
Nízká	8 – 13
Velmi nízká	pod 8

3. Stupeň sorpční nasycenosti (bazickými kationty) půdy je poměr okamžitého obsahu výměnných bází (S) k maximální výměnné sorpční kapacitě (maximálně možnému obsahu výměnných kationtů) (T). Tato hodnota je označována znakem "V" a je vyjadřována v procentech maximální výměnné sorpční kapacity:

$$V = \frac{S \cdot 100}{T} (\%)$$

Hodnoty V jsou určitým charakteristickým údajem pro jednotlivé půdní typy.

Hodnocení půd podle stupně sorpčního nasycení

Stupeň sorpčního nasycení	V (%)
Plně nasycená	90 – 100
Nasycená	75 – 90
Slabě nasycená	50 – 75
Nenasycená	30 – 50
Extrémně nenasycená	pod 30

Druhy sorpčního komplexu

1. Komplex sorpčně nenasycený
2. Komplex nasycený dvojmocnými kationty
3. Komplex s vysokým zastoupením jednomocných kationtů

Komplex sorpčně nenasycený

je charakterizován převahou sorbovaných vodíkových iontů. Půdy s tímto sorpčním komplexem označujeme jako **půdy sorpčně nenasycené**.

Reakce je v různém stupni kyselá, humus (půdní organická hmota) převážně ve formě pohyblivých sloučenin kyselého charakteru, fulvokyselin.

Nedostatek dvojmocných kationtů podmiňuje vznik nestabilní struktury, která je velmi snadno rozrušována.

Humidní klima a nedostatek Ca v půdotvorném substrátu a následně v půdě jsou předpokladem vzniku nenasyceného sorpčního komplexu.

Komplex nasycený dvojmocnými kationty

Půdy s tímto sorpčním komplexem označujeme jako **půdy sorpčně nasycené**. Vyznačují se převahou výměně poutaných iontů Ca^{2+} a Mg^{2+}

Reakce těchto půd se pohybuje kolem neutrální hodnoty, mají značnou pufrací schopnost, dobrou agregační schopnost a vodotěsnou strukturu.

Humus (půdní organická hmota) je tvořen převážně vysoce kondenzovanými humínovými kyselinami a jejich vápenatými solemi, v půdě nepohyblivými.

Fyzikální stav těchto půd je velmi příznivý. Půdy se sorpčním komplexem nasyceným se tvoří v sušším až mírně vlhkém klimatu na půdotvorných substrátech zásobených dvojmocnými kationty a poskytují velmi dobré podmínky pro růst a vývoj kulturních rostlin.

Komplex s vysokým zastoupením jednomocných kationtů

Je charakterizován vysokým zastoupením jednomocných kationtů, zejména sodíku (nad 15 % T) v sorpčním komplexu.

Vznik tohoto druhu sorpčního komplexu je podmíněn výrazně alkalickým prostředím a velkou zásobou alkalických solí (rozpustných) v půdotvorném substrátu, suchým klimatem, kde výpar převládá nad srážkami.

Půdy s tímto druhem sorpčního komplexu označujeme jako **solonce**.

Převaha sodíkového iontu a vysoká alkalita prostředí způsobují výraznou peptizaci koloidů, jejich pohyblivost v půdním profilu, vytváření fyzikálně velmi nepříznivých vrstev a silné rozrušování půdní struktury.

Půdy se sorpčním komplexem alkalickým jsou pro kulturní plodiny prostředím nepříznivým.

Změny sorpčního komplexu

- 1.Narušení stability sorpčního komplexu (degradace):** snížení množství výměnných dvojmocných bází
- 2.Stabilizace sorpčního komplexu (regradace):** zvýšení obsahu výměnných dvojmocných bází (Ca^{2+} , Mg^{2+})
- 3.Destrukce sorpčního komplexu:** v důsledku vnějších vlivů dochází až k rozpadu jádra koloidní micely

Narušení stability sorpčního komplexu (degradace)

Degradace sorpčního komplexu je proces počínajícího zhoršování fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy. V půdotvorném procesu označujeme za degradaci vytěsňování Ca^{2+} a Mg^{2+} iontů ze sorpčního komplexu ionty H^+ nebo (v aridních oblastech) Na^+ .

Po úplném odvápnění půdního substrátu dochází k hydrolytickému štěpení některých složek jádra koloidní micely, tedy k postupné **destrukci sorpčního komplexu**.

Destrukce sorpčního komplexu

Představuje v konečné fázi rozklad koloidní micely na její jednotlivé složky. Vlivem dehydratace se jednotlivé koloidní složky po předchozí translokaci půdním profilem stabilizují ve formě půdních novotvarů.

Tyto látky (novotvary) jsou již chemicky neaktivní, takže konečné stadium destrukce sorpčního komplexu představuje dynamickou nehybnost, v krajním případě i vegetační sterilitu půdy.

K destrukci sorpčního procesu může dojít zejména:

- a) vlivem kyselého humusu
- b) vlivem kyseliny uhličité v nadbytku za vysokých teplot (tropické oblasti)

Ze složek kyselého humusu podporují destrukci sorpčního komplexu zejména molekulárně rozpustné, výrazně kyselé fulvokyseliny, které dispergují (rozptylují) a rozpouštějí minerální složky koloidního jílu a translokují je do spodiny půdy. Destrukce vede v našich podmínkách k extrémnímu vyhranění **podzolizačního procesu**.

Význam sorpčního komplexu

Půdotvorné procesy jsou funkcí sorpčního komplexu, který je do značné míry nositelem přirozené úrodnosti půdy a schopnosti úrodnost udržovat.

I když v chemismu půdy připadá **důležitá úloha mikroorganismům**, nelze vyloučit z dynamiky půdy **pochody fyzikálně-chemické, jejichž nositelem je sorpční komplex**.

Stav a vlastnosti sorpčního komplexu tedy ovlivňují přímo:

- sorpční kapacitu půdy (přímý vztah k hnojení a výživě rostlin)
- reakci půdy a charakter a dynamiku chemických procesů
- pufrovitost půdy

Nepřímo ovlivňují: strukturní stav půdy, obdělavitelnost půdy, vodní a vzdušný režim půdy, biologickou aktivitu půdy



Redukčně – oxidační poměry

Oxidace/ redukce

Oxidovaná látka elektrony ztrácí, redukovaná získává.

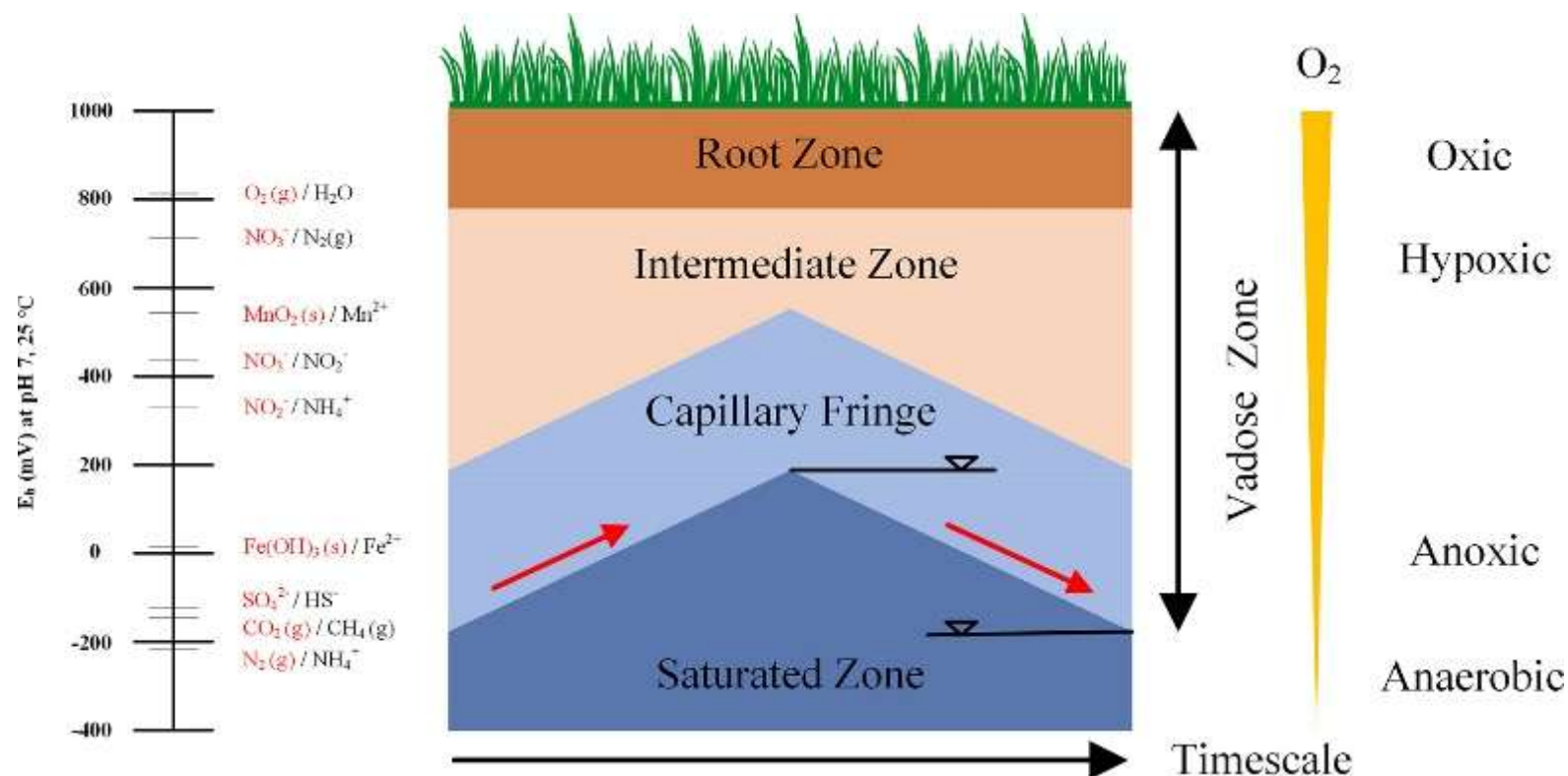
Každá oxidace je doprovázena současně probíhající redukcí.



Rovnováha se ustavuje podle toho, zda v systému převažuje redukce nebo oxidace.

Parametry redukčně-oxidačních poměrů:

1. Redukčně-oxidační potenciál (Eh)
2. Redukčně-oxidační potenciál při pH=7



https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0048969720365566-ga1_lrg.jpg

Redukčně-oxidační potenciál Eh (mV)

Redukčně-oxidační potenciál měříme v půdním prostředí platinovou elektrodou proti nasycené elektrodě kalomelové.

Hodnoty redukčně-oxidačního potenciálu se v půdě pohybují od -400 mV při silně redukčních podmínkách až do $+750$ mV při oxidačních podmínkách.

Závisí hlavně na provzdušněnosti půdy, vlhkosti půdy, zrnitostním složení a obsahu rozložitelných organických látek.

Zaplnění nekapilárních pórů vodou za vysoké vlhkosti půdy vede k rychlému poklesu difuze kyslíku pod kritickou hodnotu. Difuze kyslíku ve vodě je oproti difuzi půdním vzduchem 10 000krát zpomalena. V půdě za těchto okolností probíhají redukční procesy.

Při redukci dochází k

FERMENTACI: využití organických akceptorů elektronů a

ANAEROBNÍ RESPIRACI: využití anorganických akceptorů elektronů.

Organické látky se přeměňují na metan, etylén, vodík, čpavek, oxid dusný, sirovodík a jiné plyny. V organických i minerálních sloučeninách dochází k redukci Fe^{3+} , Mn^{4+} a později i Mn^{3+} , S^{6+} i S^{4+} .

Při postupném poklesu r.-o. potenciálu rozlišujeme následující anaerobní stádia:

Stádia	Významné přeměny v půdním systému	Eh7 (mV)	Činnost mikro-organismů
1.	snížení koncentrace O_2	+600 až +400	aerobní
2.	mizí O_2 , NO_3^- tvorba Mn^{2+} tvorba Fe^{2+}	+550 až +300 +400 až +200 +300 až +100	fakultativně anaerobní
3.	tvorba S^{2-} tvorba H_2 tvorba CH_4	0 až -250 -150 až -250 -150 až -220	obligátně anaerobní



Pufrovitost = ústojnost = tlumivost

Ústojné systémy v půdě:

půdní sorpční komplex adsorbující bazické kationty (sekundární aluminosilikáty a humínové kyseliny v PSK adsorbující kationty Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)

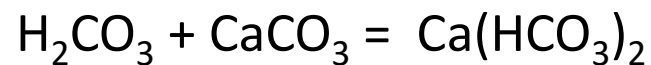
$-\text{H}_2\text{CO}_3$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3

Pufrovitost půd závisí na:

- zrnitostním složení (víc jílu = větší pufrovitost)
- obsahu a **kvalitě** půdní organické hmoty (víc a lepší org.hm. = větší pufrovitost)
- přítomnosti a obsahu CaCO_3 (víc uhličitany = větší pufrovitost)
- výměnné sorpční kapacitě a stupni sorpčního nasycení bazickými kationty
- mineralogickém složení jílové frakce (expandující/ne-expandující mřížka; zvětratelné minerály...)

Tlumivá pásma půd :

1. Uhličitanové pásmo – pH > 7,2



2. Silikátové pásmo – pH 7,2 až 5,0

H⁺ vázán bazickými kationty postupně uvolňovanými procesem zvětrávání primárních minerálů a rovněž bazickými kationty půdního sorpčního komplexu (na hnojených půdách je vázán také bazickými kationty aplikovaných hnojiv).

3. Výměnné pásmo – pH 5,0 až 4,2

H⁺ vázán komplexy aluminium-hydroxi-kationtů

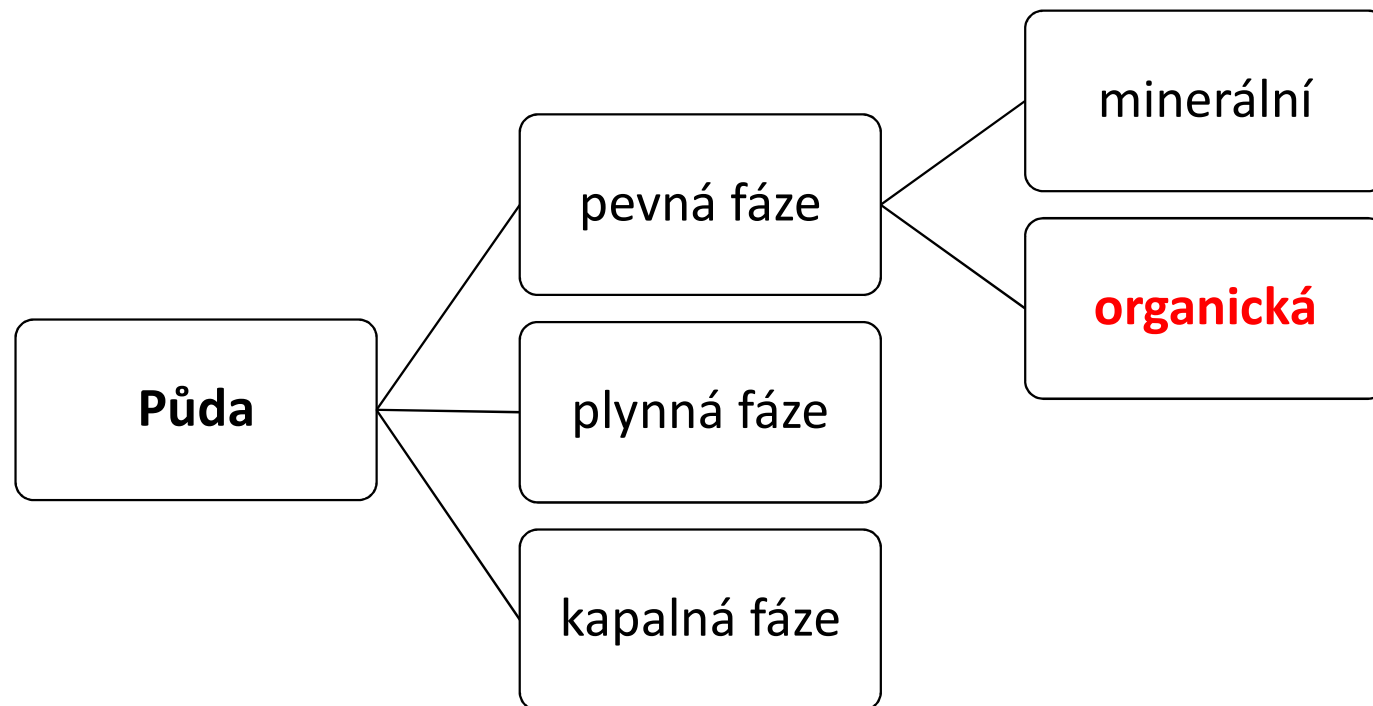
4. Pásmo hliníku – pH 4,2 až 3,8

H⁺ nízkomolekulárních organických kyselin reagují s Al³⁺ a Fe(OH)₃ za vzniku chelátů

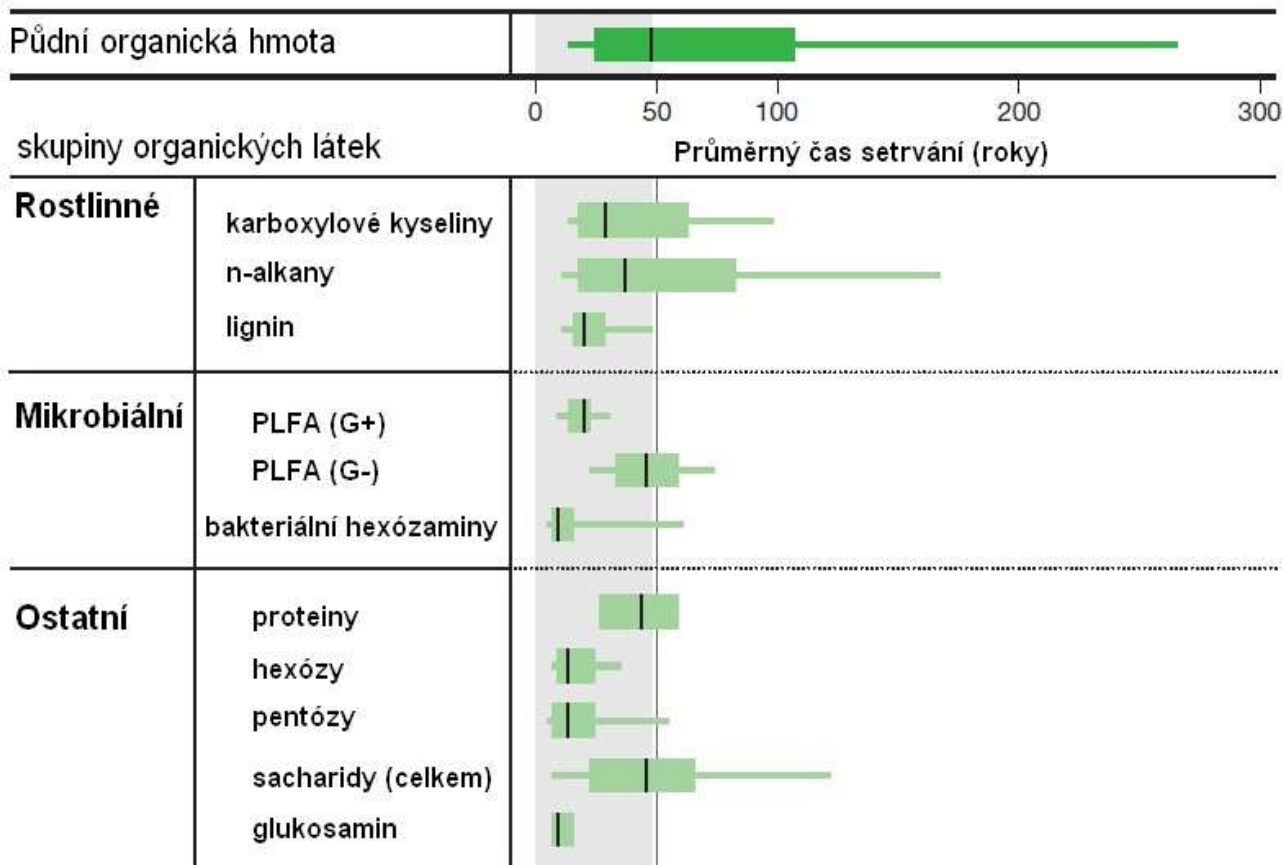
5. Pásmo železa – pH 3,8 až 3,0

působení H⁺ je tlumeno oxidy Fe

ORGANICKÝ PODÍL PŮDY



Zdroje organické hmoty a jejich perzistence



Průměrná persistence organických látek vstupujících do půdy (upraveno a zkráceno dle Schmidt a kol. 2011).

Půdní organická hmota (dále POH) co to je

je tvořena jednak:

zbytky rostlinných a živočišných organizmů, které jsou v různém stupni rozkladu, nacházejících se na půdě nebo v půdě, jednak **půdními organismy** ale i **kořeny živých rostlin,** jednak **humusem vlastním,** tj. souborem tmavě zbarvených organických dusíkatých polyfunkčních látek kyselinové povahy, převážně koloidního charakteru, vysoké molekulové hmotnosti, relativně odolných vůči mikrobiálnímu rozkladu.

Do humusotvorného materiálu **v orné půdě** patří i chlévský hnůj, aplikovaný zpravidla jednou za osevní postup v dávce cca 30 t/ha.

V travních porostech jsou hlavním zdrojem humusotvorného materiálu podzemní části rostlin, v menší míře opadané zbytky nadzemní části rostlin, které se činností mezo- a mikroedafonu dostávají postupně do půdy. Roční množství činí 1 až 12 t/ha.

V lesních půdách, zvláště pod monokulturami bez bylinného patra, je **kořenové hmoty**, která tvoří humusotvorný materiál relativně **málo**. **Rozhodující množství je z opadu, který se hromadí na povrchu půdy** a pozvolna se mísí hlavně biologickou cestou s nejsvrchnější částí půdy. Roční množství humusotvorného materiálu činí 3 až 25 t/ha.

Nezávisle na stanovišti, tj. ve všech půdách, zanechává značná kvanta humusotvorného materiálu edafon.

Plodina	Hmota (t/ha)	Plodina	Hmota (t/ha)
Vojtěška	8,20	Pšenice ozimá	3,49
Jetel luční	5,23	Ječmen jarní	2,48
Jetel plazivý	3,29	Oves	2,86
Jílek malokvětý	3,65	Žito	3,22
Hořčice	1,42	Řepka ozimá	1,48
Svazenka	1,57	Brambory	0,91
Bob	3,14	Cukrovka	1,08

Variabilita ve složení jak výchozích látek tak „konečných“ produktů

*	C	H	O	N	P
Sacharidy	1	1,7	0,8	-	-
Bílkoviny	1	1,5	0,36	0,24	-
Tuky	1	1,8	0,11	-	-
Organické kyseliny	1	1,4	1,2	-	-
ATP	1	1,6	0,5	1,3	0,3
Lignin	1	1,1	0,4	0,001	-
Půdní org.hm.	1	0,08	0,9	0,01	0,002
CO ₂	1	-	2	-	-

* Molární poměry (Dle Šantrůčková et al. 2018)

Pochody přeměn humusotvorného materiálu

Rychlost přeměn závisí na zastoupení jednotlivých skupin látek v humusotvorném materiálu. Přeměnám snáze podléhají bílkoviny a celulóza, proto jsou rychleji rozkládána těla bakterií, posklizňové zbytky luštěnin a obilovin, nežli lišejníků, mechů nebo jehličí. Pomalý rozklad dřeva je způsobován hlavně nízkým obsahem bílkovin.

- **Mineralizace**
- **Humifikace**
- **Rašelinění**

Mineralizace

probíhá především díky činnosti **aerobních bakterií**, které rozkládají organickou hmotu na jednoduché složky oxidy, amoniak a vodu. K nezbytným podmínkám patří především dostatečné provzdušení půdy.

Mineralizace probíhá vždy současně s humifikací.

Humifikace

je procesem **částečně aerobním, ale převážně anaerobním.**

V aerobní fázi dochází k rozkladu humusotvorného materiálu na jednodušší organické sloučeniny.

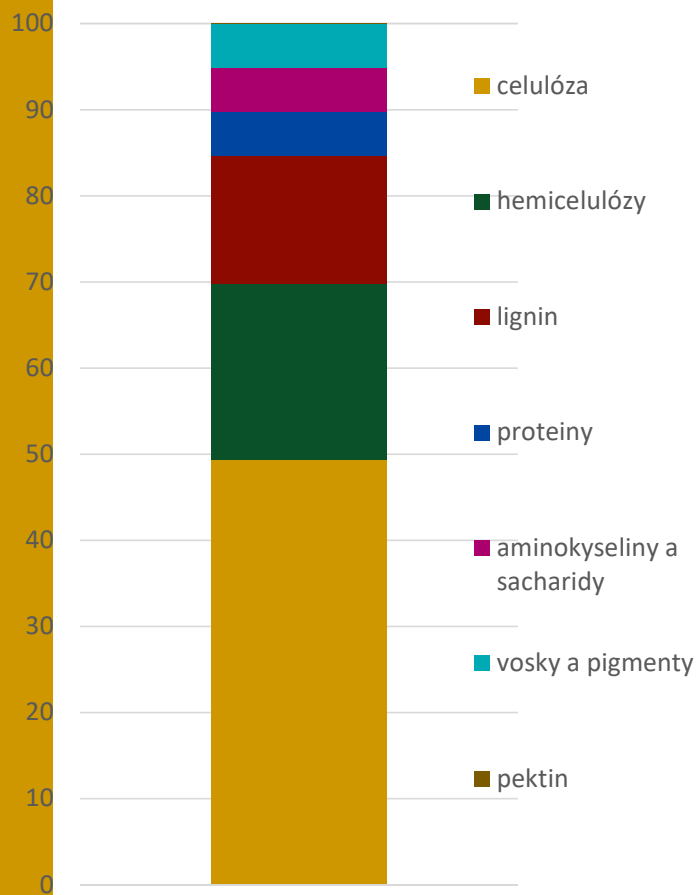
V anaerobní fázi dochází k syntéze makromolekul organických látek a následně polykondenzaci, jejím produktem jsou **humusové látky.**

Rašelinění

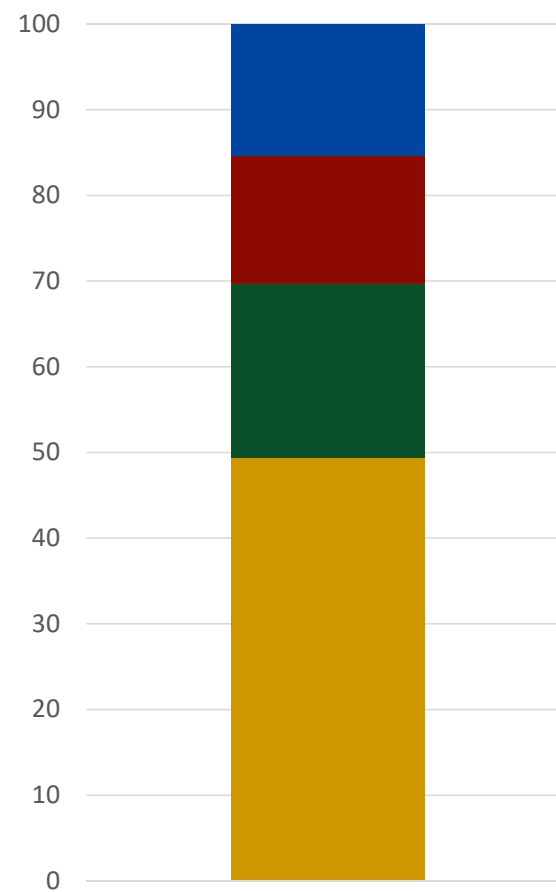
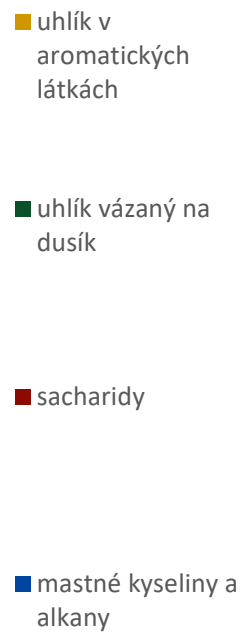
probíhá **za anaerobních podmínek**. Je to převážně enzymatický a biochemický proces.

Dochází k velmi nedokonalému rozkladu organických zbytků, produkt rašelina má při srovnání s humusotvorným materiálem výrazně vyšší obsah uhlíku.





roślinný opad



půdní organická hmota

% suché hmotnosti (dle Šantrůčková et al. 2018)	bílkoviny	Polysacharidy (bez celulózy)	celulóza	lignin	Lipidy
Vojtěška (stonek)	15-18	8-11	13-33	6-16	Stopy
Pšenice (sláma)	3	21-26	27-33	18-21	Stopy
Borovice	0,5-1	24-30	42-49	25-30	Stopy
houby	20-25	45*	až 36	-	17

* Z toho chitin 3-26 %



	C	N	P
Půdní organická hmota	1	0,16-0,04	0,16-0,005
Listy	1	0,04	0,03-0,001
Kořeny	1	0,02	0,001-0,0001
Dřevo	1	0,007-0,004	0,0005-0,00007
Půdní mikrobiální biomasa	1	0,12	0,002
Bakterie	1	0,16	0,011
houby	1	0,12	0,009

	C	N	P	C:N
Půdní organická hmota	1	0,16-0,04	0,16-0,005	6-25
Listy	1	0,04	0,03-0,001	25
Kořeny	1	0,02	0,001-0,0001	50
Dřevo	1	0,007-0,004	0,0005-0,00007	143-250
Půdní mikrobiální biomasa	1	0,12	0,002	8
Bakterie	1	0,16	0,011	6
houby	1	0,12	0,009	8

Využitelnost uhlíku u půdních mikroorganismů je 0,2 – 0,6 (=20-60 %), tzn. 20-60 % přijatého uhlíku mohou použít na tvorbu biomasy zbytek pokrývá energetické nároky...

Pokud je poměr C:N organismu > C:N zdrojového materiálu znamená to, že je N v přebytku a je vyloučen do prostředí...

Třídění edafonu podle velikosti

1. **Makroedafon** (krtci, hraboši, křečci, aj.)
2. **Mezoedafon** (červi, měkkýši, členovci, aj.)
3. **Mikroedafon** (bakterie, prvoci, sinice, řasy, aj.)

Funkční třídění edafonu podle stupně rozkladu zpracovávaných látek

1. **Fytofágové** (zpracovávají živá rostlinná těla – býložravci)
2. **Zoofágové** (zpracovávají živá živočišná těla – masožravci)
3. **Nekrofágové** (zpracovávají odumřelá těla živočichů – mrchožrouti)
4. **Saprofágové** (zpracovávají rozkládající se ústrojné látky)



Funkce půdních organismů - funkce rozkladná

Organická hmota je působením edafonu rozkládána a přeměňována postupně na jednodušší složky.

Rozkladným pochodům podléhá nejen **výchozí humusotvorný materiál** (odumřelá rostlinná a živočišná těla či jejich součásti), ale i **meziprodukty rozkladu a syntézy** a v malé míře i vlastní humusové látky.

Makroedafon a mesoedafon

působí tím, že odumřelé zbytky **rozmělnuje**, což **zvětšuje jejich povrch** a usnadňuje tak zpracování dalšími organizmy.

mimoto je **zatahuje do půdy a s ní je mísí**, což opět podporuje atakovatelnost jinými složkami edafonu.

v zažívacím traktu těchto živočichů probíhají **další rozkladné pochody** a zbytky přijatého materiálu jsou vráceny ve formě exkrementů do půdy.

mezoedafon	Počet v 1 dm ³	Hmotnost (kg/ha)
háďátka	50 000	50
členovci	390	92
měkkýši	5	40
žížaly	2	4000

Mikroedafon

se vyznačuje daleko větší rozkladnou schopností nežli ostatní skupiny edafonu. Je to dáno jednak daleko **vyšší schopností rozmnožování** a dále neobyčejně **rozmanitými způsoby výživy**.

To na rozdíl od živočichů znamená, že mikroorganismy dovedou rozkládat prakticky jakékoliv organické látky.

Složitější struktury se takto narušují a vytváří se nepřeborné množství sloučenin, které buď:

1. mohou spolu reagovat za vzniku sloučenin složitějších, nebo
2. být využity jako živná půda pro jiné skupiny mikroorganismů, nebo
3. být dále rozkládány až na minerální složky.

Současně je tím **získávána energie**, nezbytná k plnění životních funkcí půdních organismů i k dalším syntézám.

mikroedafon	Počet v 1 g půdy	Hmotnost (kg/ha)
bakterie	600 000 000	10 000
plísně a aktinomycety	400 000	10 000
řasy	100 000	140
prvoci	1 000 000	370

Funkce syntetická

Spočívá jednak v syntéze sloučenin, potřebných **pro výstavbu vlastního těla mikroorganismu**, jednak v tvorbě látek, které organismus z těla odstraňuje coby **produkty metabolismu**

Autotrofní organismy syntetizují organické látky ze sloučenin minerálních, **heterotrofní** využívají uhlík jen z hotových organických látek. Jedná se o procesy endergonické, ke kterým je potřebný zdroj energie.

U **autotrofních** organismů je zdrojem energie buď **sluneční energie** nebo **chemická energie** získávaná oxidací minerálních látek.

U **heterotrofních** organismů je zdrojem **chemická energie**, vázaná ve zpracovávaných organických látkách.

Význam půdních organismů

Půdní fauna:

Transport organických zbytků v půdním profilu

Fragmentace rostlinných zbytků a promíchání s půdou

Zlepšování (aerace) půdy a vytváření biopórů

Zlepšování půdní struktury

Trávení složitých organických látek pomocí střevních symbiontů

Tvorba prostředí vhodného pro rozvoj mikroflóry

Požírání mikroorganismů- stimulace růstu a aktivity

Půdní mikroflóra:

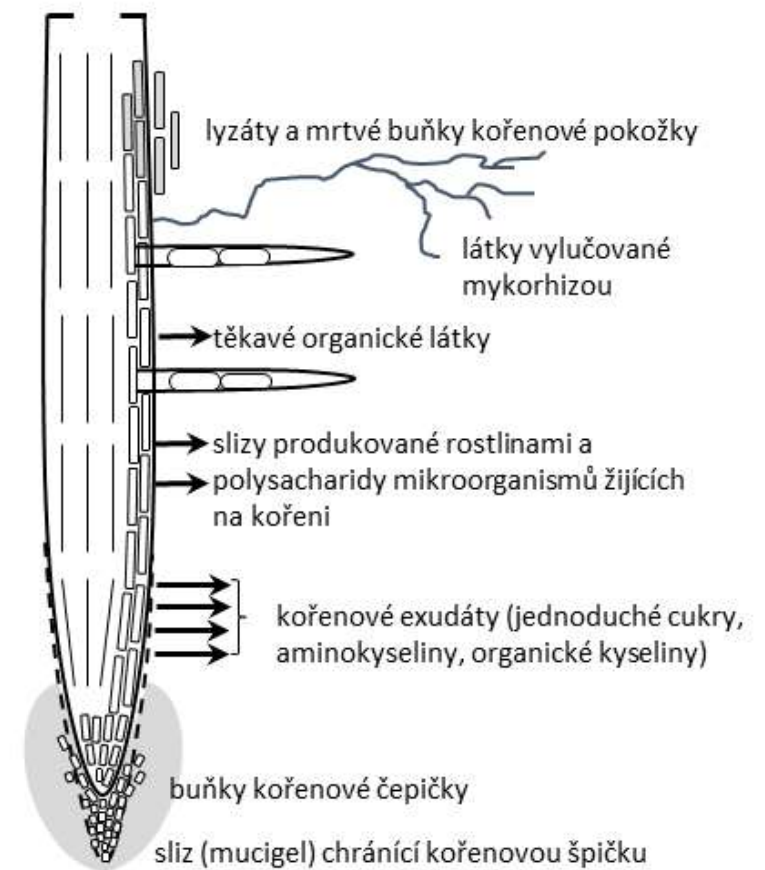
Mineralizace a transformace organického materiálu

Recyklace živin, jejich zpřístupňování rostlinám

Imobilizace živin v půdě

Zlepšování půdní struktury (hyfy, extracel. Metabolity)

Fixace vzdušného dusíku



Houby

Vláknité eukaryotní organismy. Jedno i mnohobuněčné. Základní stavební jednotkou jsou hyfy (průměr zpravidla jednotky mikrometrů).

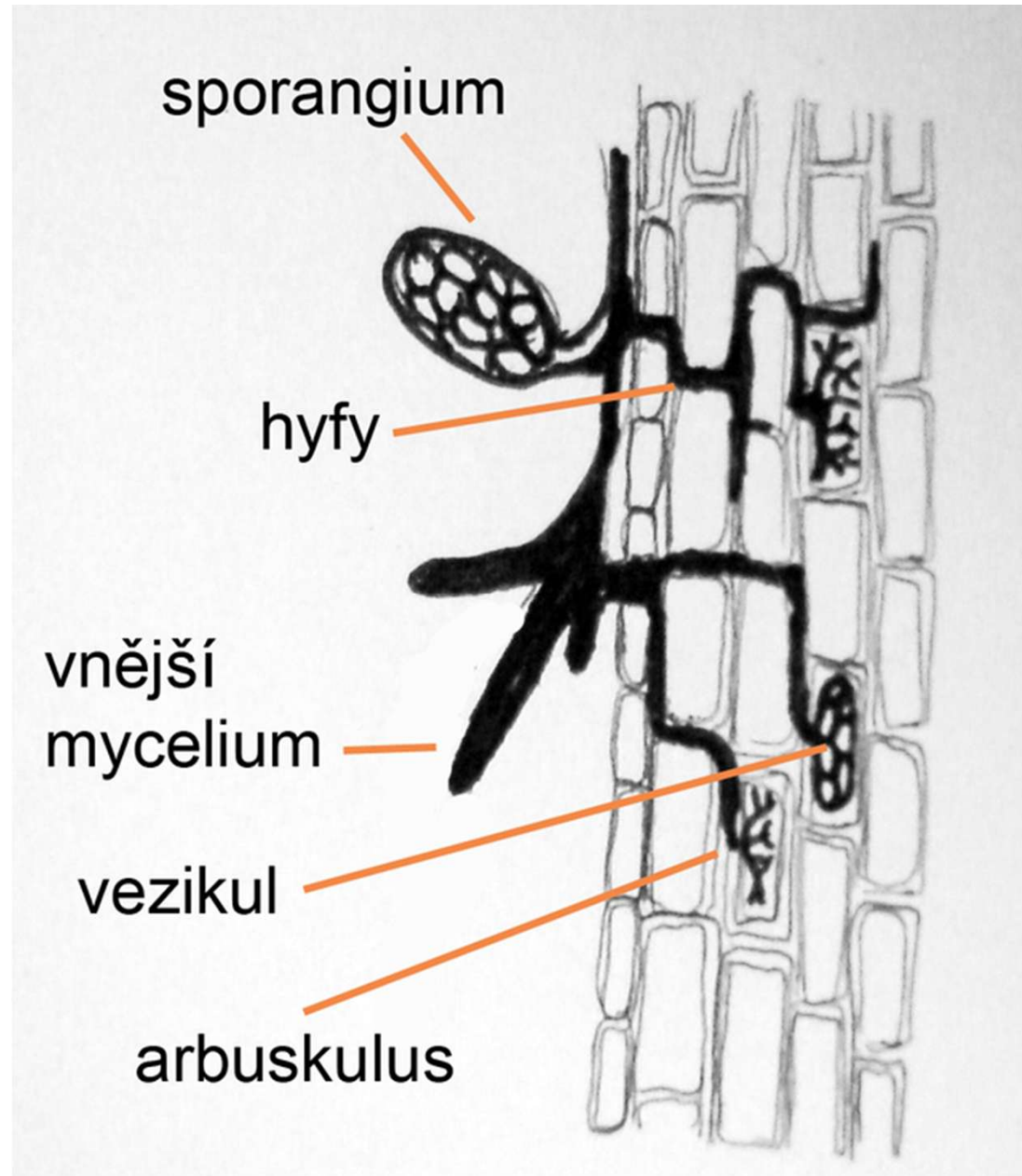
Mykorhiza

Mykorhiza (dříve mykorrhiza) je symbiotické soužití hub s kořeny vyšších rostlin. Může docházet buď k pronikání houbových vláken do kořenových buněk primární kůry - **endomykorhiza**, v druhém případě zůstávají vlákna jen v mezibuněčném prostoru - **ektomykorhiza**.

Endomykorhiza: patří sem například AM, erykoidní a orchideoidní mykorhíza

Arbuskulární mykorhiza (AM): v buňkách se hyfy větví do stroměčkovitého útvaru - arbuskulu. Je to nejčastější druhy endomykorhizy (u více než 80 % druhů rostlin).

Nejčastější houboví symbionti jsou z oddělení **Glomeromycota**. Endomykorhiza zahrnuje výhradně specializované symbiotické houby, které jsou na svých hostitelích natolik závislé, že bez jejich podpory už nejsou schopny přežívat (a to většinou ani v umělých kulturách).



Z ekologického hlediska se jedná o jednoznačně oboustranně výhodný, tzv. **mutualistický svazek**.

Houba dodává rostlině **minerální látky z půdy** (např. fosfor, stopové prvky), **rostlina** **vyživuje houbu organickými sloučeninami**, které sama vyrábí fotosyntézou.

Další druhy endomykorhizy

- Erikoidní mykorhiza (vřesovcotvaré)
- Orchideoidní mykorhiza (orchideje).

Ektomykorhiza (také ectotrofní mykorhiza)

je méně častá, uvádí se asi 2 000 rostlinných druhů. Většina ektomykorhizních hub jsou vřeckaté či stopkaté houby, tedy skupiny, k nimž patří také hřib, a také zygomycety (oddělení plísňí). Mezi rostliny, které jsou v ektomykorhizním svazku, patří např. dub, borovice, bříza, oliva.

Ektomykorhizní houby vytváří kolem kořene tzv. **hyfový plášť**, díky němuž se zvyšuje savá plocha soustavy.

Vlákná také vstupují mezi buňky primární kůry (nikoliv však dovnitř buněk, nejdále k endodermis). Hyfy v intercelulárním prostoru tvoří soustavu vláken, které se říká **Hartigova síť**. Mnoho dalších hyf se větví v půdě, čímž dále zvyšuje savou plochu.

Ektomykorhizní houby nejsou na svých hostitelích tak významně závislé, jak tomu je u endomykorhizy. Mohou totiž žít částečně saprofytně.

Mykorhiza zvyšuje příjem živin a vody, zejména v málo úrodných půdách dochází ke zvětšení povrchové plochy kořenů až 10x.

Významné je zlepšení příjmu fosforu v půdách s jeho nízkým obsahem nebo z forem hůře přijatelných (pro rostliny).

Mykorhiza chrání rostliny proti patogenům.

Její vývoj je potlačován v půdách **s vysokým obsahem dusíku a fosforu, při silně kyselé reakci a v zamokřených půdách.**



PŮDNÍ ORGANICKÁ HMOTA (PŮDNÍ HUMUS)

Složení a třídění půdní organické hmoty

Podle funkcí v půdě

- humusotvorný materiál
- meziprodukty rozkladu a syntéz POH
- vlastní humus

Podle chemického složení

- nespecifické humusové látky (nehumínové)
- specifické humusové látky (humínové)

Nespecifické humusové látky (nehumínové)

látky rozložitelné mikroorganismy (organické kyseliny, glycidy, pektiny, bílkoviny, třísloviny, tuky, vosky, pryskyřice apod.). Tvoří energetickou a živinnou zásobu půdy, jsou podmínkou biologické aktivity půdy.

Specifické humusové látky (humínové)

jsou zpravidla tmavě zbarveny, značně odolávají rozkladu mikroorganismy. Jsou tvořeny vysokomolekulárními organickými sloučeninami. Tvoří 85 až 90 % POH. Jsou tvořeny především **humínovými kyselinami a fulvokyselinami**.

Humínové kyseliny

jsou tmavé barvy, s molekulovou hmotností 50 000 až 300 000, jsou velmi slabě rozpustné až nerozpustné ve vodě a vodných roztocích, proto se zpravidla hromadí v místě svého vzniku.

Elementární složení je závislé na podmínkách humifikace, kolísá v následujícím rozmezí: C: 52 až 62 %, H: 2,8 až 5,8 %, O: 31 až 39 %, N: 1,7 až 4,9 %.

Kyselinový charakter je daný přítomností karboxylových a fenol-hydroxylových skupin. Sorpční schopnost činí 400 až 600 mmol/0,1 kg.

Fulvokyseliny

jsou žluté až hnědé barvy, s molekulovou hmotností 200 až 50 000, jsou rozpustné ve vodě a vodných roztocích, v půdním profilu jsou pohyblivé.

Elementární složení: C: 40 až 52 %, H: 4 až 6 %, O: 40 až 48 %, N: 2 až 6 %.

Kyselinový charakter je daný především přítomností karboxylových skupin. Jsou silně kyselé pH 2,6 až 2,8. Zrychlují zvětrávání minerálů.

Tvorba nadložního humusu

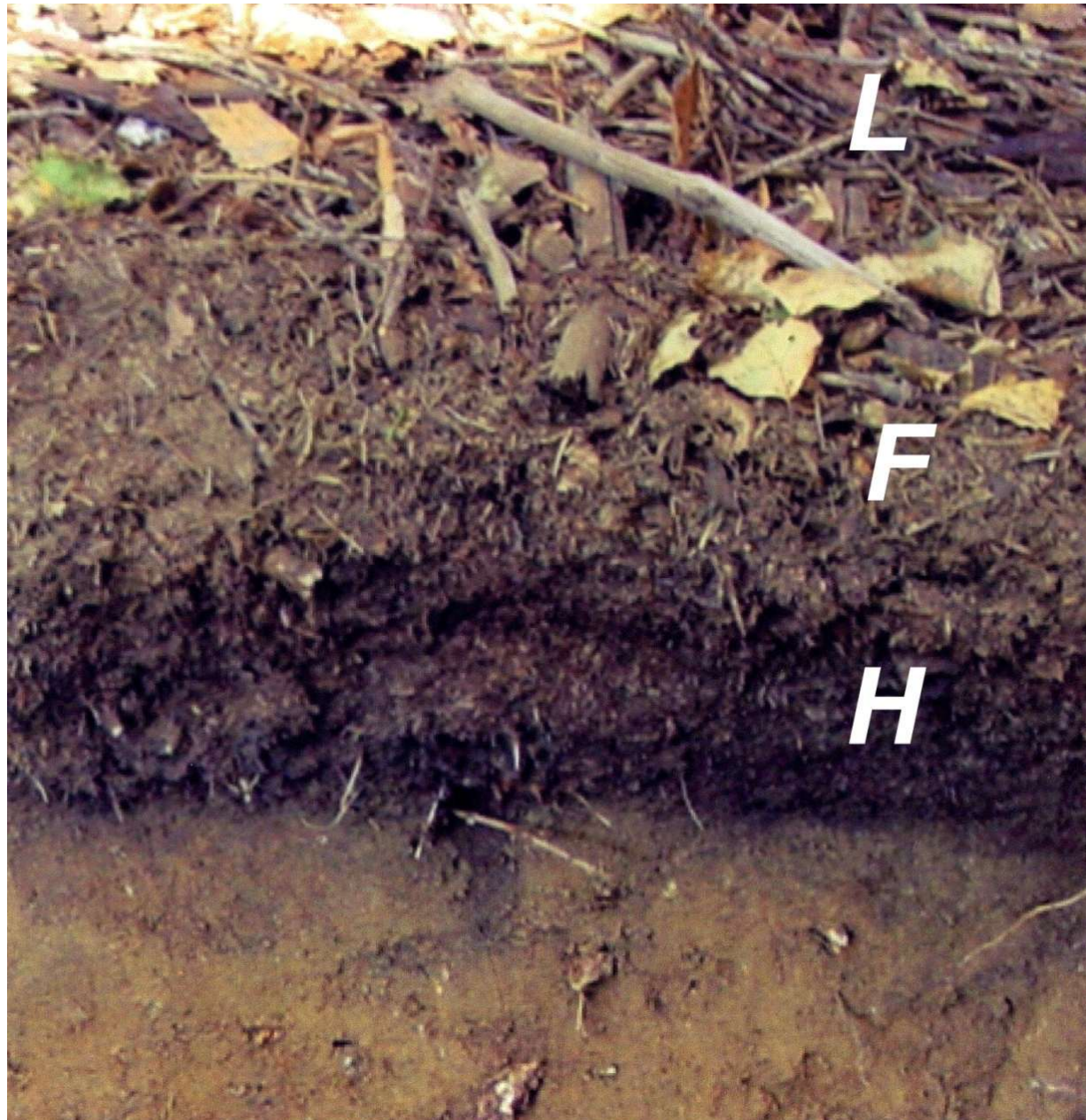
Nadložní humus vzniká hromaděním polo-rozložených a nerozložených zbytků rostlin a z části exkrementů drobných živočichů na povrchu minerální půdy za aerobních podmínek.

Horizonty nadložního humusu.

Horizont opadanky L: nerozložený opad, méně 10 % amorfních organických látek

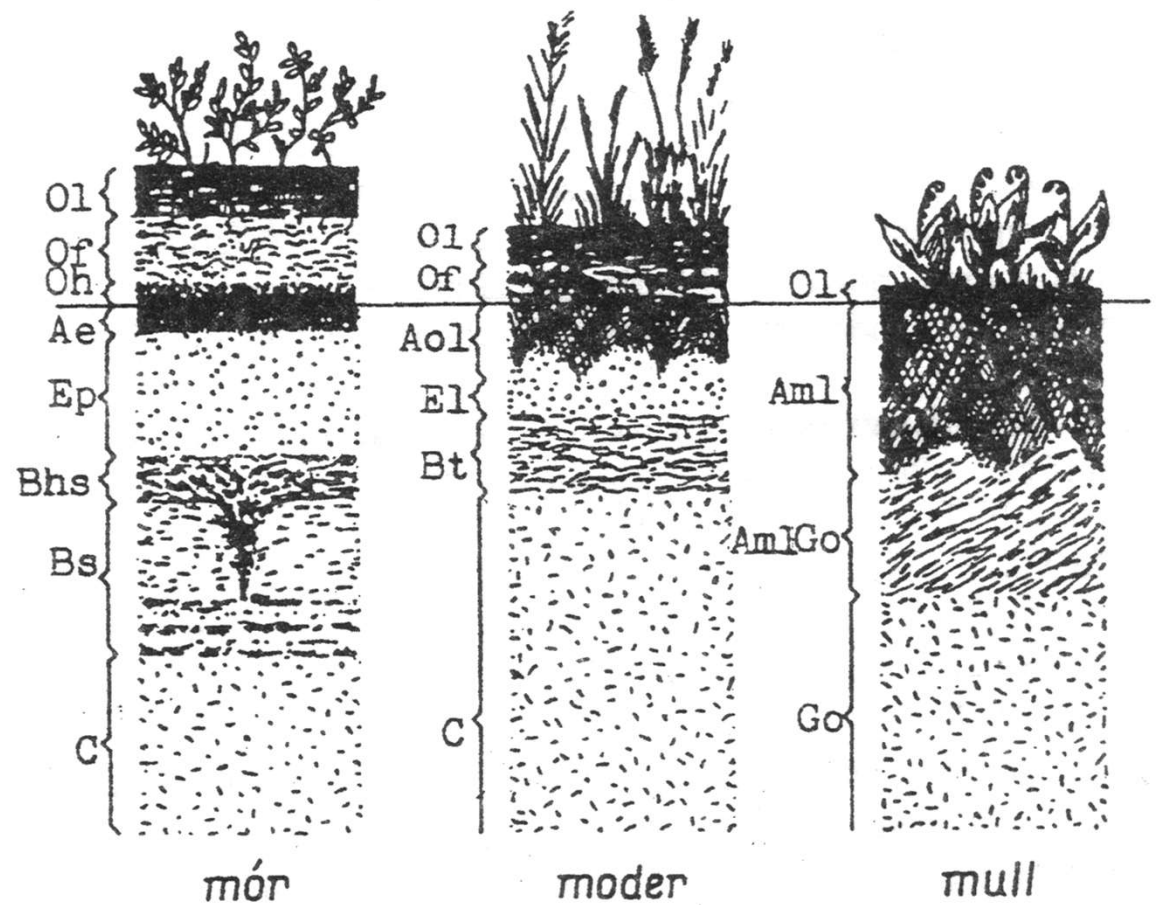
Horizont fermentační (drť) F: částečný rozklad, 10–70 % amorfních organických látek

Horizont měli (humifikační) H: výrazný rozklad, více než 70 % amorfních organických látek



Hlavní formy nadložního humusu:

- mor (jinak také „surový humus“)
- moder
- mul (jinak také „měl“)



Tvorba povrchových humózních (humusových) horizontů

vznikají hromaděním koloidně disperzních humusových látek, dokonale smíšených s minerálním substrátem.

Obsah nerozložených organických látek činí maximálně **10 - 15 %** celkového množství organických látek v půdě **u orných půd** a **25 % u ostatních minerálních půd**.

Tento proces probíhá **optimálně** pod **stepní vegetací** na **hlinitých** půdotvorných substrátech **plně nasycených bázemi** (resp. s obsahem CaCO_3), v podmínkách **nepromyvného až periodicky promyvného vodního režimu**.

Silně polymerizované humínové kyseliny se hromadí za podmínek **střídání optimální vlhkosti a prosýchání** půdy za přítomnosti **jílových minerálů skupiny montmorillonitu** (smektitů).

Kvantita a kvalita POH

Obsah POH se stanovuje podle obsahu oxidovatelného uhlíku:

$$\text{POH} = \text{Cox} \cdot 1,724 (\%)$$

POH obsahuje 58 % Cox.

Obsah POH v ornicích zemědělských půd činí 1 až 7 %, nejčastěji 2 až 3 %. Zásoba POH v profilu činí 100 až 800 t/ha, nejčastěji 100 až 200 t/ha.

Obsah POH je v daném půdním systému v rovnováze.

Tento stav lze zvýšeným přísunem organických hnojiv upravit (za 50 let se zvýší obsah o 0,2 až 0,5 %), ale po přerušení jejich přísunu se v relativně krátké době vrátí obsah POH na původní množství.

Půdy	Lehké půdy	Středně těžké a těžké půdy
Bezhumózní	0 %	0 %
Slabě humózní	méně 1%	méně 2 %
Středně humózní	1 až 2 %	2 až 5 %
Silně humózní	více než 2 %	více než 5 %

Kvalita POH se posuzuje nejčastěji podle poměru obsahu humínových kyselin k obsahu fulvokyselin (HK:FK). S růstem podílu humínových kyselin roste kvalita POH.

Kvalita POH na nehnojených plochách může být posuzována podle **poměru oxidovatelného uhlíku k celkovému dusíku půdy (C:N)**. Poměr užší než 10:1 je výrazem vyšší kvality POH.

Funkce organických látek v půdě

1. Organické látky uvolňují při své mineralizaci nepřetržitě do půdy značná kvanta asimilovatelných rostlinných živin (např. při dávce 20 t chlévského hnoje na 1ha dodáváme do půdy až 100 kg N, 120 kg K₂O a až 40 kg P₂O₅). Organická hmota v půdě tedy působí jako zásobárna rostlinných živin, které jsou **plynule uvolňovány** pro potřebu rostlin.

2. Humus se svými složkami, **humínovými kyselinami**, aktivně spoluúčastní na **stavbě půdního sorpčního komplexu**. Zvýšení sorpční schopnosti půd se příznivě projevuje jednak v možnosti vytváření větší zásoby živin v půdě, jednak v omezení jejich ztrát, které mohou vzniknout vyplavením slabě poutaných živin do spodních vrstev půdy, mimo dosah kořenového systému rostlin.

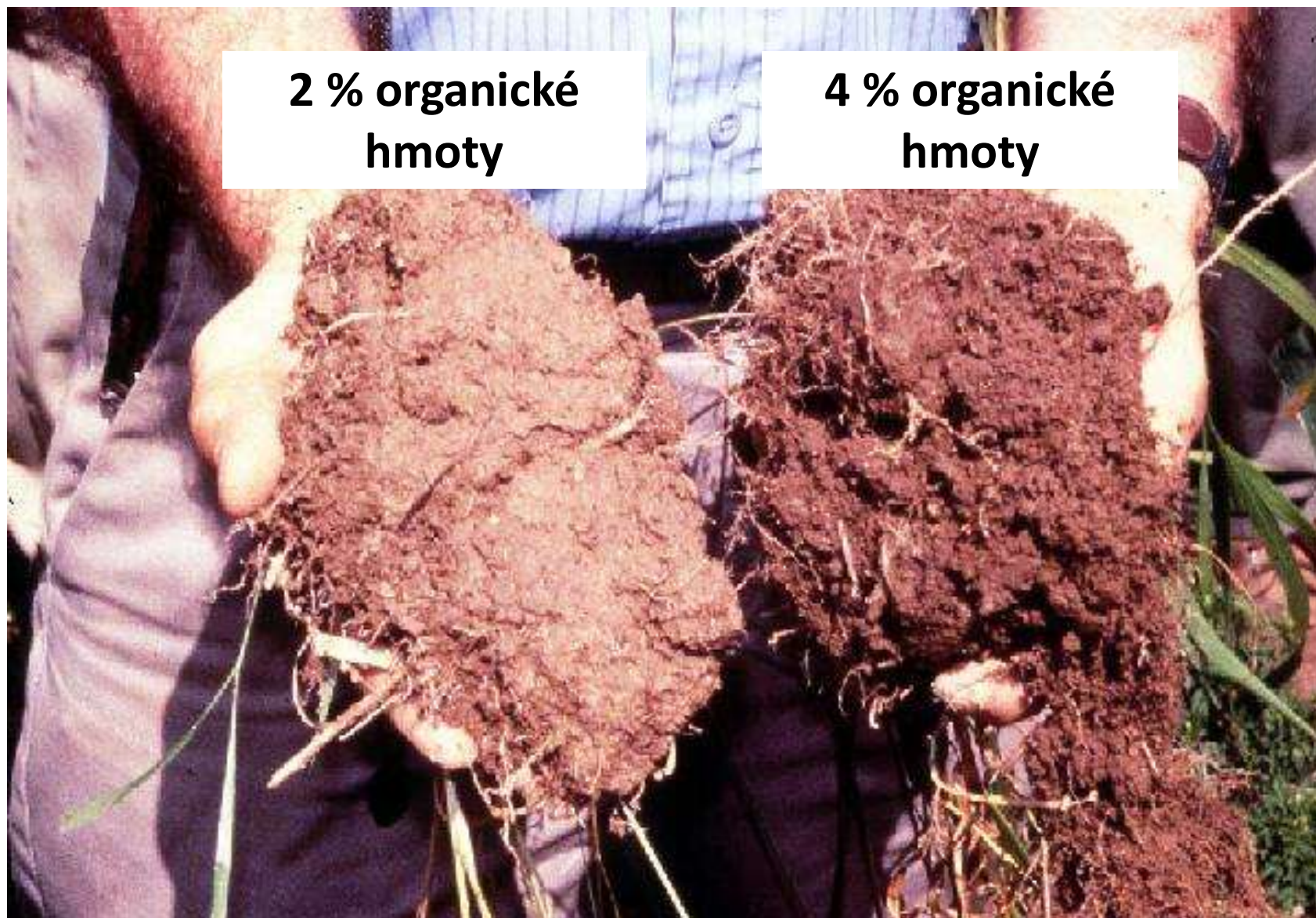
3. **Humínové kyseliny** podstatně ovlivňují **agregační schopnost půd**, čímž přímo ovlivňují jejich **strukturní stav**. To se projevuje v příznivějším vzdušném a vodním režimu, zvýšením vododržnosti u lehkých a zlepšením provětrávání a vedením vody u těžkých půd. Vytvořením drobtové struktury se zmenší neproduktivní výpar a tím zvýší zásoba vody v půdním profilu.

4. U extrémních druhů půd (písčitých a jílovitých) se působením humusu značně **zlepšují jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti**: snižuje se soudržnost těžkých půd a zvyšuje se naopak u půd lehkých.

5. Při rozkladu půdní organické hmoty se do půdního prostředí **uvolňuje značné množství CO_2** , organických kyselin a jiných látek, které **urychlují a zintenzivňují zvětrávání** minerální složky půdy a půda je tak obohacována o zásobu asimilovatelných živin.

6. Některé látkové skupiny POH, **nespecifické humusové látky**, slouží jako **energetický zdroj půdním mikroorganismům**. Množstvím a kvalitou těchto látek je značně ovlivňováno složení půdní mikroflóry, rozvoj a působení biochemických procesů, zejména translokace a transformace živin, které jsou velmi důležité pro úrodnost půdy.

7. Některé humínové látky mají **stimulační vliv na rozvoj kořenového systému rostlin** i na růst celé rostliny.



Efekt 20-letého rozdílného obdělávání půdy

Půdní vzorky z osevních postupů pokusů Eda Stricklinga.

**25 let konvenčního
pěstování kukuřice**

**20 let pěstována lipnice
a následně 5 let
konvenčně kukuřice**

**LOW
O.M.**

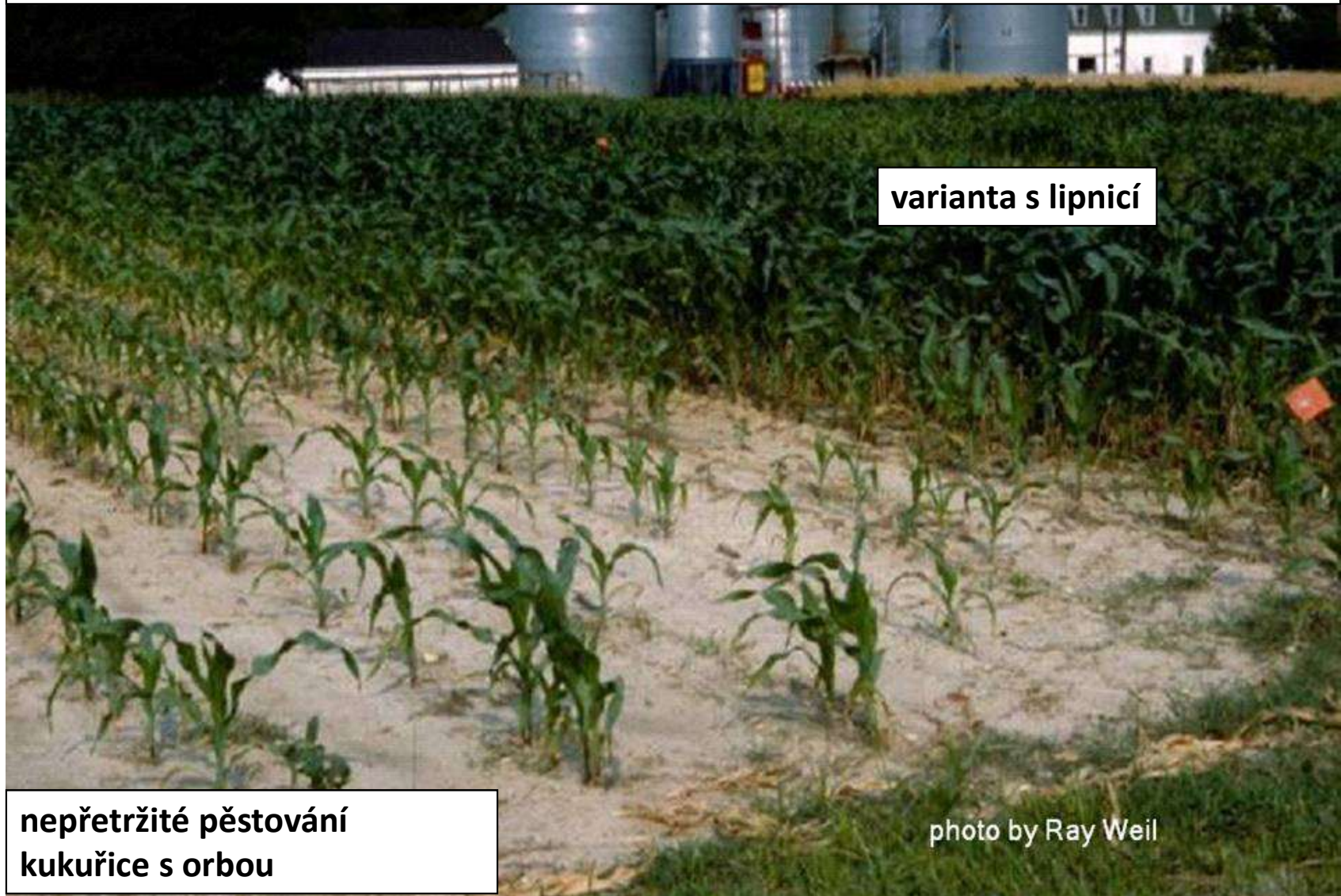
**HIGH
O.M.**

photo by Ray Weil

Ale když přidáme vodu.....



Efekt 20letého osevního postupu na SOM při pěstování kukuřice v Beltsville (silt loam)



varianta s lipnicí

nepřetržité pěstování
kukuřice s orbou

photo by Ray Weil



Co bylo úkolem?

sledování toků uhlíku

stanovení uhlíkové bilance

návrh managementu hospodaření

Zdroje dat

dlouhodobé výnosové řady u hlavních plodin:

Mendelu Brno (pšenice ozimá, ječmen jarní, řepa cukrová, luční porost),

odrůdové pokusy ÚKZÚZ (řepka ozimá, vojtěška setá, jetel luční),

VÚB Havlíčkův Brod (brambory)

ČSÚ (kukuřice).

metody

24 osevních postupů
tradiční (na bázi norfolkského OP)
tržní
ekologické
s vyšším podílem řepky

V druhé polovině 18. století se v Anglii, se začal v hrabství Norfolk používat **první průkopnický osevní postup střídavého hospodaření – norfolkský osevní postup:**

jetel – ozim – okopanina – jařina s podsevem jetele

Norfolkský osevní postup představoval v zemědělské výrobě obrovský revoluční zvrat...

Koloběh uhlíku pšenice

Koloběh uhlíku v OP

<i>Varianta</i>	<i>Bilance uhlíku</i>				
	<i>Krátkodobě uloženo (měsíce)</i>	<i>Střednědobě uloženo (max. roky)</i>		<i>Dlouhodobě uloženo (desítky, stovky let)</i>	
<i>Osevní postup a varianta hospodaření</i>	<i>průměrně kg C.ha⁻¹</i>	<i>kg C.ha⁻¹</i>		<i>kg C.ha⁻¹</i>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
5: ŘVO – tradiční OP	4400	2375	2600	238	260
1: KVO – tradiční OP	3600	1575	1800	158	180
13: OVO – tradiční OP	3300	1275	1500	128	150
17: BVO – tradiční OP	3300	1275	1500	128	150
21: BVO – tržní OP s odvozem slámy	3300	1275	1500	128	150
15: OVO – tržní OP	3200	1175	1400	118	140
6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy	3000	975	1200	98	120
7: ŘVO – tržní OP	3000	975	1200	98	120
11: ŘVO – ekologický systém	2800	775	1000	78	100
19: BVO – tržní OP	2800	775	1000	78	100
23: BVO – ekologický systém	2800	775	1000	78	100
2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy	2750	725	950	73	95
9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky	2700	675	900	68	90
12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy	2400	375	600	38	60
3: KVO – tržní OP	2300	275	500	28	50
24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy	2300	275	500	28	50
18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy	2100	75	300	8	30
14: OVO – tradiční OP s odvozem slámy	2000	-25	200	0	20
16: OVO – tržní OP s odvozem slámy	2000	-25	200	0	20
22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1800	-225	0	-225	0
20: BVO – tržní OP s odvozem slámy	1750	-275	-50	-275	-50
8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy	1700	-325	-100	-325	-100
10: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1400	-625	-400	-625	-400
4: KVO – tržní OP s odvozem slámy	1300	-725	-500	-725	-500

Co je třeba učinit pro zvýšení zásobenosti půd organickou hmotou?

snížit deficit organického hnojení.

preferovat kvalitu organických hnojiv před kvantitou.

zaměřit se zejména na

- méně úrodné půdy,
- půdy v suchých oblastech,
- půdy znečištěné a jinak poškozené.

Co brání vyššímu využívání organických hnojiv?

vysoká finanční náročnost operace hnojení

- náklady na hnojení průmyslovými hnojivy se dle použité technologie a výměry pohybují od cca 200 do 300 Kč/ha,
- náklady na hnojení statkovými hnojivy se při dávce 30 tun/ha pohybují cca od 2.500 do 6.500 Kč/ha (Kovaříček 2002).

nedokonalé ekonomické vyhodnocování přínosů organického hnojení.

neexistující metodika pro oceňování organické hmoty v hnojivu dle kvalitativních ukazatelů