

E5040 Složky ŽP a jejich kontaminace

Pedosféra = půda – část 1

Jakub Hofman

Obsah - 1

Základy pedologie

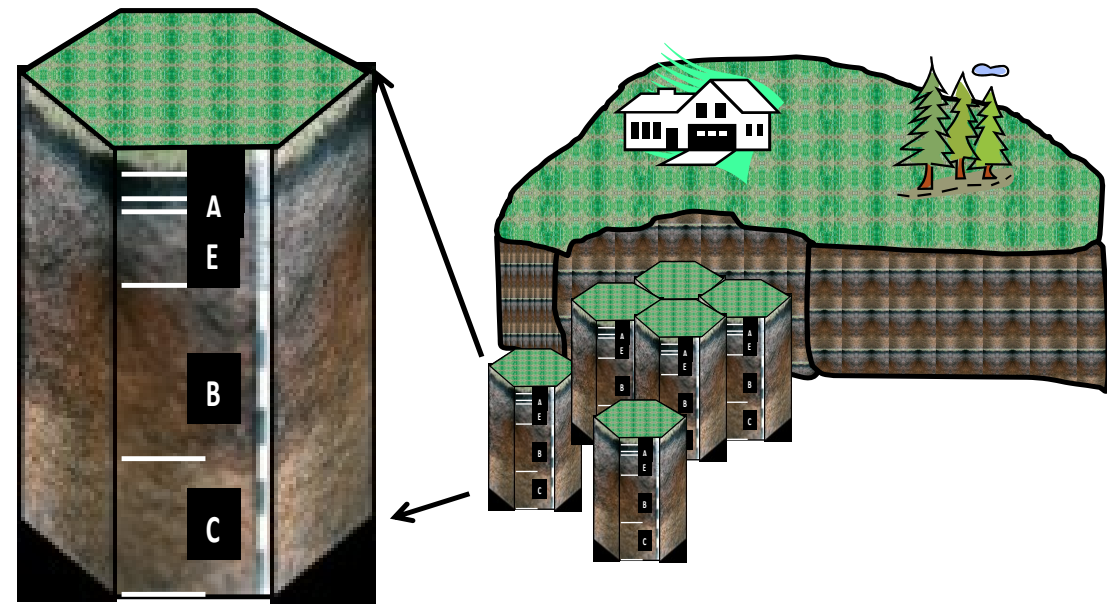
- Co je půda?
- Význam půdy, její role v ekosystémech, přínos pro člověka
- Vlastnosti a atributy půd, půdní kvalita a zdraví, úrodnost a produktivita půdy, indikátory kvality půdy
- Fyzikálně-chemické vlastnosti: půdní textura a struktura, půdní reakce a sorpční komplex, půdní organická hmota a další
- Oživení půd, typy organismů a jejich role v půdě
- Půdotvorný proces, půdní profil, horizonty, klasifikace půd
- Průzkumy a monitoring půdy v ČR a zahraničí

MUNI | RECETOX

Co je půda?

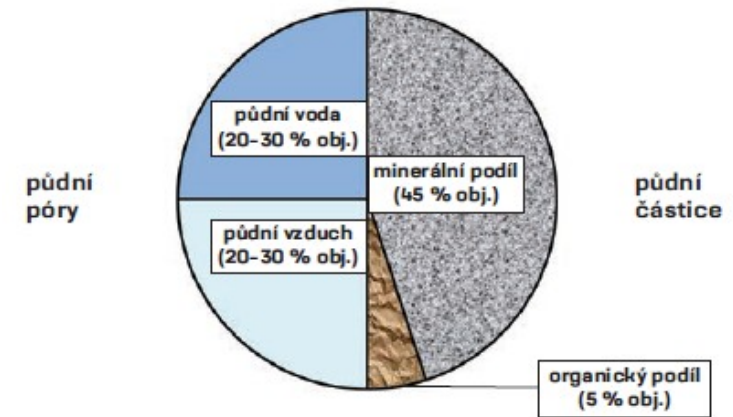
Co je to půda?

- tenká (centimetry až metry vs. 6,5 tis. m poloměr Země) na zemském povrchu (cca 67% plochy kontinentů)
- má výrazné fyzikální, chemické a biologické vlastnosti
- velmi složitý, **dynamický**, **heterogenní** (vertikálně i horizontálně) přírodní útvar
- je **trojrozměrná** – pedon – půdní typy, zonalita
- je diferencovaná do **horizontů** - výsledek půdotvorných procesů (z velké části biotických) – pedogeneze



Co je to půda?

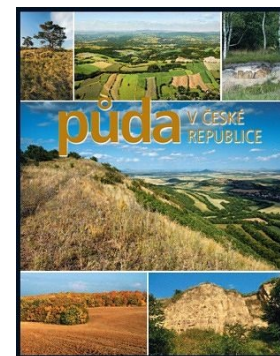
- polydisperzní, **trojfázový** komplex = pevná + kapalná + plynná fáze
- rovnováha s atmosférou, hydrosférou a litosférou, nedílná součást biosféry; je to "**hraniční sféra**,"
- **otevřený systém** (výměna hmoty, energie i informací s okolím)
- biotický & abiotický komplex - **je oživená**
- základem jsou zvětraliny (tzv. regolit), ale samy o sobě tvoří pouze tzv. zeminu; jsou to tzv. **půdotvorné substráty** (sedimenty, svahoviny, spraše, zvětraliny ...), až **oživením** a vlivem **půdotvorných faktorů** vzniká půda
- půda je obohacena o organický materiál v různém stupni rozkladu a je **nadána úrodností** (= schopnost být prostředím pro růst rostlin)
- specifikum pro půdní organismy: prostředím je vzduch, **ale také voda** (aerobní i anaerobní prostředí)



Co je to půda?

- **V.V. Dokučajev (1845-1903):** Půda je přírodnina diferencovaná v genetické horizonty, vzniklá na rozhraní různých sfér z matečné horniny, působením aktivních půdotvorných faktorů, jako jsou podnebí, reliéf, živé i mrtvé organismy, voda, čas a dalších, která je více méně snadno rozpojitelná a oživitelná.
- **Definice dle publikace Půda v České republice:** Půda je nejsvrchnější částí zemské kůry, tvořená směsí minerálních součástí, odumřelé organické hmoty a živých organismů. Je vertikálně členěná, propojená se svým podložím a vzniká ze zvětralin nebo nezpevněných minerálních a organických sedimentů.

Hauptman, I., Kukař, Z., Pošmourňý, K. (2009): Půda v České republice. Ministerstvo životního prostředí ČR, Ministerstvo zemědělství ČR. ISBN 8090348246
- **Definice Wiki:** Půda je nejsvrchnější vrstvou zemské kůry, je prostoupená vodou, vzduchem a organismy, vzniká v procesu pedogeneze pod vlivem vnějších faktorů a času a je produktem přeměn minerálních a organických látek. Je morfologicky organizovaná a poskytuje životní prostředí rostlinám, živočichům a člověku. Půda je předmětem studia pedologie.



Co je to půda?

Souhrnná definice pro E5040:

Půda je komplexní, heterogenní, polydisperzní a trojfázová směs minerálních částic, organické hmoty, vody, vzduchu a živých organismů specificky přeměněná a přeměňovaná působením půdotvorných faktorů (geologické, topografické, klimatické, fyzikální, chemické, biologické a čas) tak, že výsledkem je vznik a vývoj nové kvality – tenké, kypré a pórovité, v horizonty členěné a oživené vrstvy na povrchu Země, která se liší od původních materiálů morfologickými, fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi, a která, není-li degradována, poskytuje nenahraditelné životní prostředí rostlinám, živočichům a člověku a má nenahraditelné funkce v terestrickém ekosystému a pro lidskou společnost.

Pedologie

- nauka o půdách = soil science
- v zahraničí je „pedology“ spíše o taxonomii půd

Význam půdy, její role v ekosystémech, přínos pro člověka

Význam půdy

- absurdní otázka svědčící o úpadku „vyspělé“ společnosti

Mahatmá Gándí: "Zapomenout pečovat o půdu znamená zapomenout sami na sebe"



http://soils.usda.gov/education/jan_lang/



<http://forum.xcitefun.net/living-grass-people-grassy-people-art-t54497.html>

- **klíčová složka suchozemských ekosystémů** a **nenahraditelný zdroj pro člověka**, poskytuje **cenné ekosystémové služby**

Význam půdy

HEALTHY SOIL IS THE KEY TO FOOD
SECURITY AND NUTRITION FOR ALL



95%
OF OUR FOOD



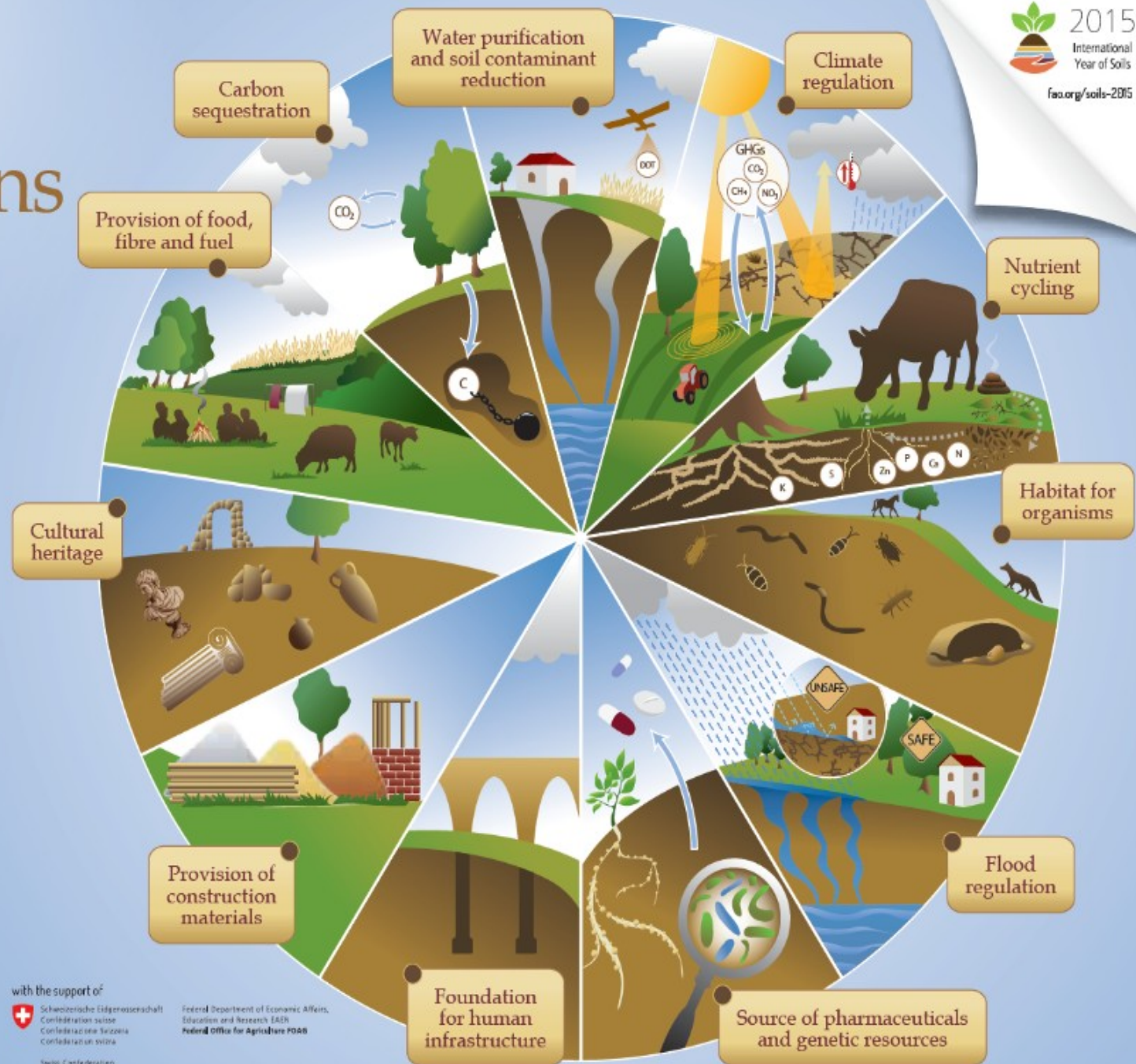
COMES FROM OUR SOIL

<http://www.fao.org/soils-2015/en>

MUNI | RECETO

Soil functions

Soils deliver ecosystem services that enable life on Earth



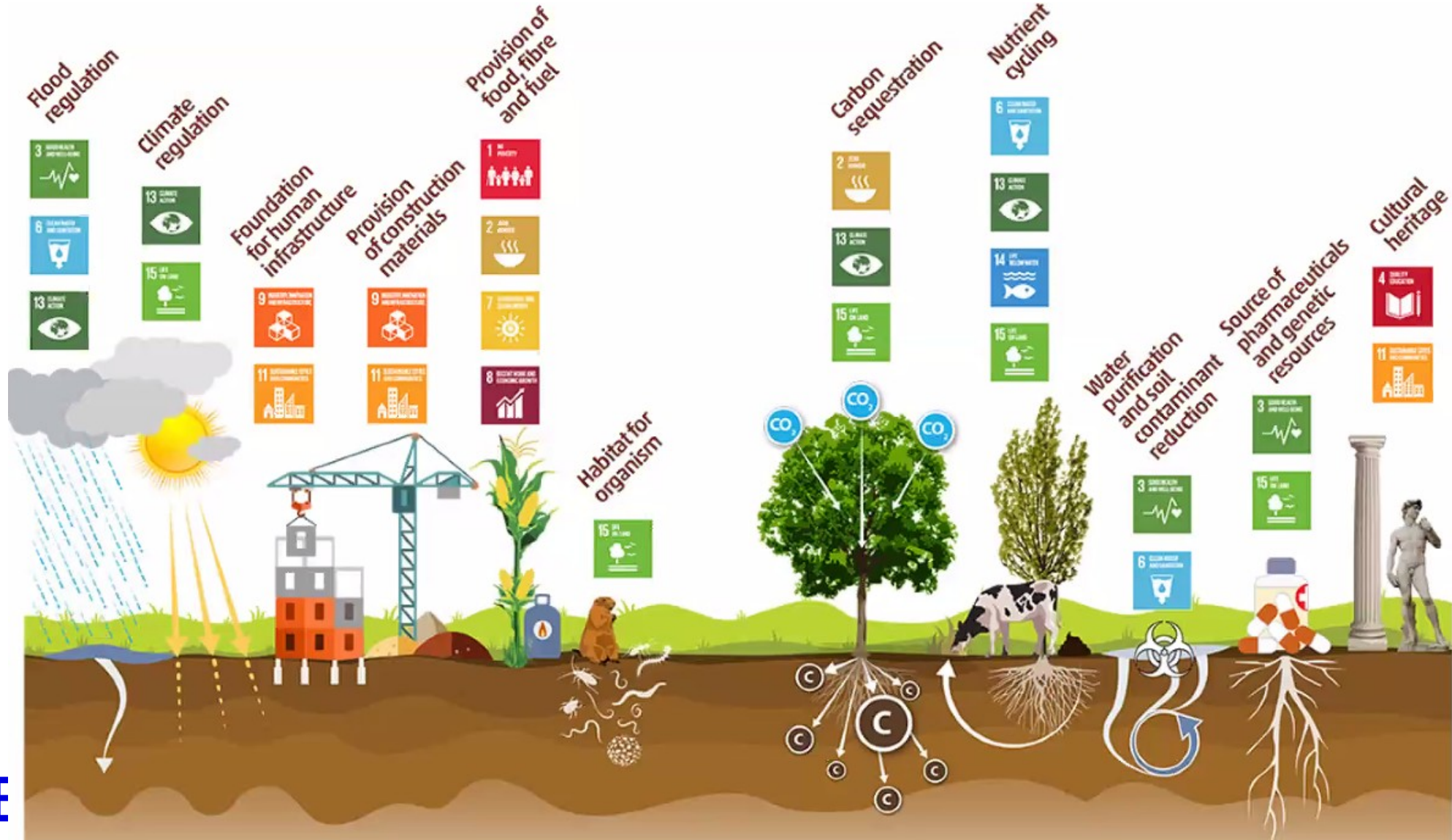
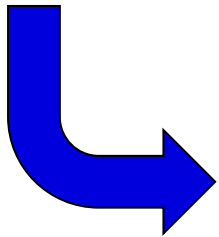
Food and Agriculture
Organization of the
United Nations

with the support of

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAFR
Federal Office for Agriculture FOAG

Význam půdy



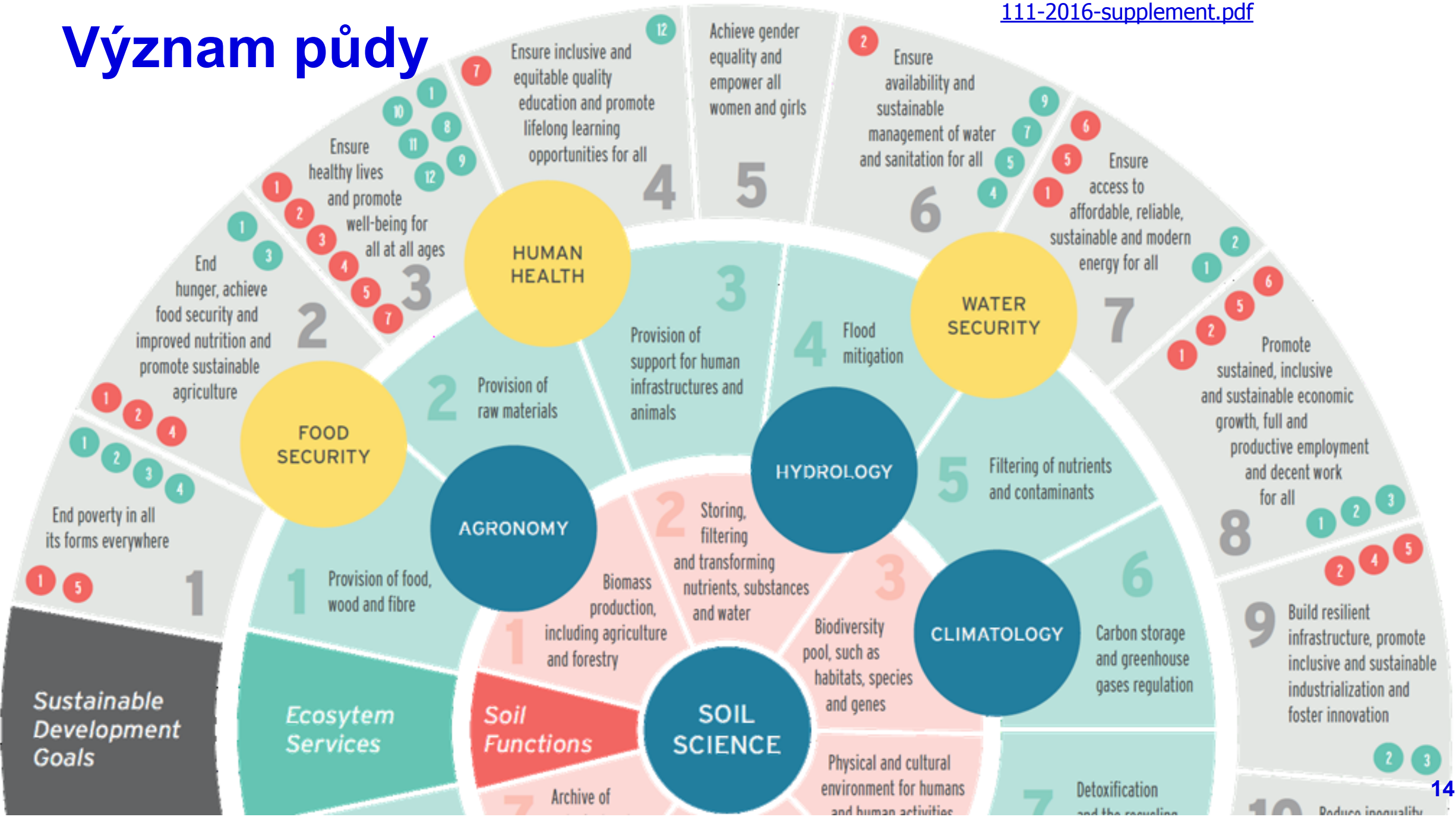
Význam půdy

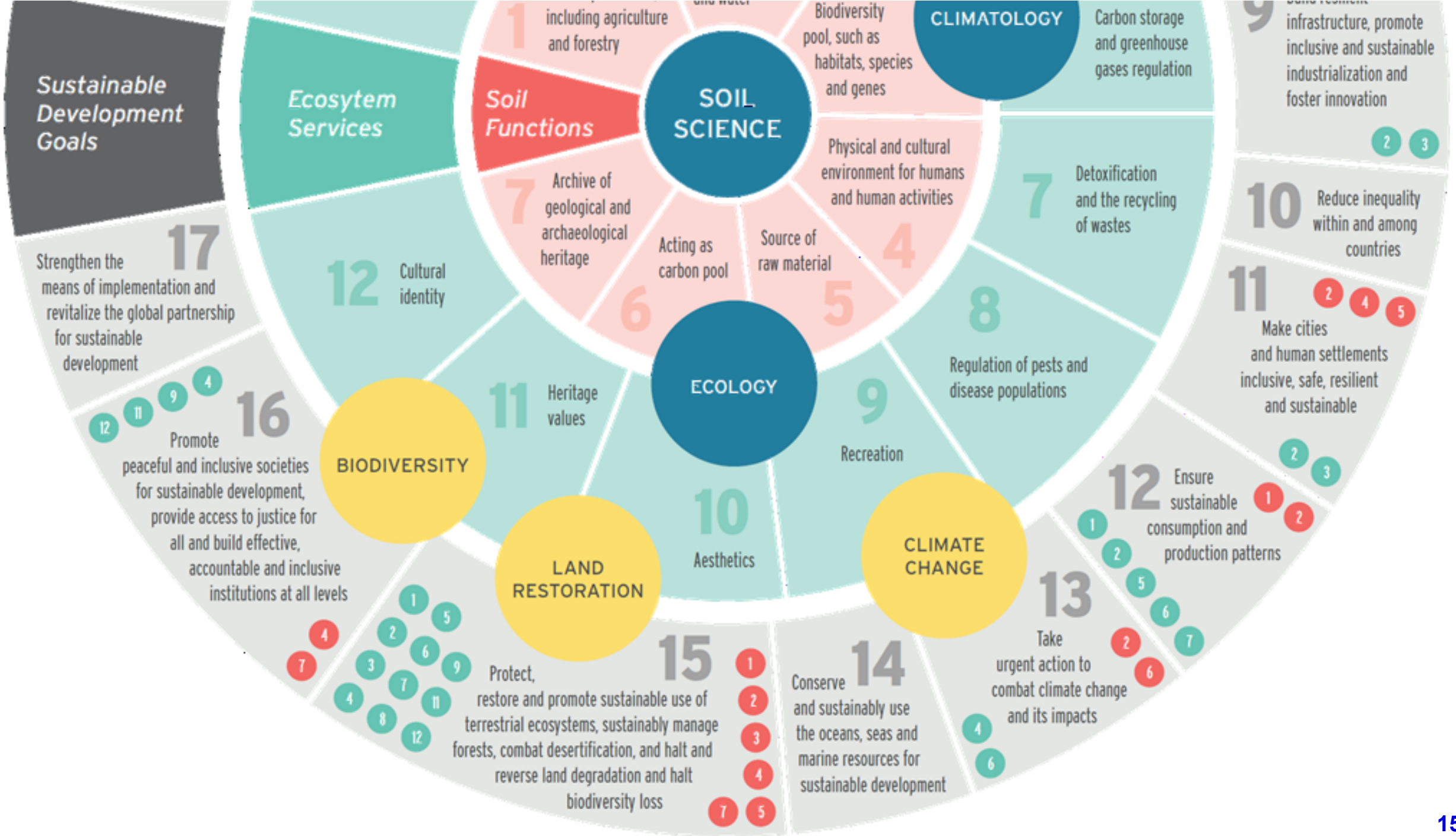
součást **cílů udržitelného rozvoje** a **planetárních mezí**



[11]

Význam půdy





Vlastnosti a atributy půd, půdní kvalita a zdraví, úrodnost a produktivita půdy, indikátory kvality půdy

Vlastnosti a atributy půdy

- **vlastnosti půd** souvisí s jejich funkcemi; změny → změny **půdních funkcí**
- vlastnosti jsou chápány jako charakteristiky **měřitelné v přesných termínech a mírách**, například textura, barva, teplota, pH, obsah C, respirace apod.
- **atributy půd** jsou charakteristiky obtížně měřitelné, hůře definovatelné
- nejužívanější atributy půdy:
 - úrodnost
 - produktivita
 - resilience
 - biodiverzita
 - kvalita a zdraví půdy
 - někdy se sem řadí i struktura půdy
 - lze sem zařadit i degradace půdy jako protipól kvality a zdraví

Úrodnost půdy

- schopnost poskytovat rostlinám životní podmínky pro růst a vývoj, podmínky, které mohou uspokojit jejich požadavky na vodu, živiny a půdní vzduch po celé vegetační období a tak zabezpečit jejich úrodu
- je určitý přirozený + uměle člověkem adjustovaný **potenciál** půdy nést rostlinnou produkci
- lze diskutovat pro jakou plodinu – různá plodina, různý výnos ... je tedy ta stejná půda jinak úrodná? co když je úrodnost stejná, ale změní se klima a tím i výnos? apod. → je to atribut relativní, specifický pro danou situaci, dané podmínky, pěstované plodiny a vklady do půdy při procesu jejího obhospodařování

Produktivita

- je definována výnosem rostlinné či živočišné produkce
- je ovlivňována úrodností + způsobem obhospodařování + nepůdními faktory (klima, počasí)
- je tedy mnohem širší atribut

Úrodnost půdy

- je dána celým souborem fyzikálních, biologických a chemických charakteristik celého půdního profilu: dostatečné množství živin, zejména N, P, K, Mg, Ca, optimální obsah stopových prvků (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, S, Mo, Zn ...), dostatek humusu, dobrá struktura půdy umožňující provzdušnění a schopnost zadržet vláhu, optimální rozmezí pH, půdní mikroorganismy
- pseudo-hodnocení půdní úrodnosti = orientační stanovení rozpětí optimálních hodnot hlavních agrochemických vlastností z hlediska půdní úrodnosti - obsah organických látek, půdní reakce a obsah živin

Úrodnost půdy

- Pro pseudo-hodnocení půdní úrodnosti lze použít rozsahy hodnot hlavních agrochemických vlastností půd optimální pro růst rostlin.

Vlastnost	Optimální rozpětí hodnot pro ornou půdu	Poznámka
přijatelný fosfor	51 – 115 mg/kg	„vyhovující“ a „dobrý“ obsah ve výluhu dle Mehlicha III dle přílohy 5 vyhlášky č. 257/1998 Sb. ^a
přijatelný draslík	106 – 310 mg/kg	„vyhovující“ a „dobrý“ obsah ve výluhu dle Mehlicha III dle přílohy 5 vyhlášky č. 257/1998 Sb. ^a (platí pro půdu s 20 – 45 % částic < 10 µm)
přijatelný hořčík	106 – 265 mg/kg	„vyhovující“ a „dobrý“ obsah ve výluhu dle Mehlicha III dle přílohy 5 vyhlášky č. 257/1998 Sb. ^a (platí pro půdu s 20 – 45 % částic < 10 µm)
poměr K : Mg	pod 3,2	„dobrý“ a „vyhovující“ poměr dle Sáňka a Materna (2004)
přijatelný vápník	1401 – 3000 mg/kg	„střední“ a „dobrý“ obsah dle Sáňka a Materna (2004) (platí pro půdu s 20 – 45 % částic < 10 µm)
obsah uhličitánů	0,6 – 3 %	dle přílohy 5 vyhlášky č. 257/1998 Sb. ^a
pH	5,6 - 7,7	výměnné pH; rozsah dle přílohy 5 vyhlášky č. 257/1998 Sb. ^a
objemová hmotnost suché půdy	pod 1,4 g/cm ³	„výborný“ a „dobrý“ stav dle přílohy 8 vyhlášky č. 257/1998 Sb. ^a
pórovitost	nad 46 %	„výborný“ a „dobrý“ stav dle přílohy 8 vyhlášky č. 257/1998 Sb. ^a
obsah humusu	více než 2 %	„střední“, „dobrá“ a „velmi dobrá“ zásoba humusu dle Sáňka a Materna (2004); toto kritérium obsahu humusu odpovídá více než 1,2 % organického uhlíku
kvalita humusu – poměr huminových kyselin a fulvokyselin	1 - 3	dle Jandák a kol. (2001)
kvalita humusu – poměr C : N	kolem 10	dle Jandák a kol. (2001)
N minerální (NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻)	20 – 50 mg/kg	dle Jandák a kol. (2001)
kationtová výměnná kapacita	121 – 180 mmol/kg	„střední“ hodnota dle Sáňka a Materna (2004)
stopové prvky:		
bór	0,6 – 1 mg/kg	
molybden	6,8 – 7,8 mg/kg	
měď	0,8 - 2,7 mg/kg	
mangan	10 – 100 mg/kg	
zinek	1 – 2,5 mg/kg	„střední“ obsah dle Sáňka a Materna (2004) (platí pro půdu s 20 – 45 % částic < 10 µm)

^a Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků

Resilience a rezistence půdy

Resilience

- schopnost obnovit své vlastnosti po nějaké změně / narušení

Resistance

- schopnost odolávat vůči působícímu stresu
- pufrační kapacita půdy (používáno nejen ve vztahu s pH)

- při definování je třeba definovat vůči *čemu*, vůči jakému druhu stresu – není žádná obecná resilience/resistence půdy

Soil quality + soil health

- **půdní kvalita a půdní zdraví**
- není synonymum pro půdní úrodnost: dobrá kvalita půdy podmiňuje kvalitu produkce ale i např. kvalitu vody v terestrických ekosystémech
- mají mnoho definicí, které jsou někdy zaměňovány, někdy ne
- někdy je naopak jako půdní kvalita chápána "kvalita" půdy bez zřetele na její produkční schopnosti
- nejlepším řešením je spojovat je a uvádět dohromady: „půdní kvalita a zdraví“
- celá věda, hlavně Soil Science Society of America
- v souvislosti v tematickou ochranou půd v EU i definice Evropské komise

Soil quality + soil health

USDA NRCS: Soil quality, also referred to as soil health, is defined as how well soil does what we want it to do. Healthy soil gives us clean air and water, bountiful crops and forests, productive grazing lands, diverse wildlife, and beautiful landscapes.
<http://soils.usda.gov/sqi/index.html>

SSSA - Soil Science Society of America*: Půdní kvalita je způsobilost specifického typu půdy fungovat v rámci své kapacity a v rámci přírodních či člověkem vytvořených mezí, podporovat produkci rostlin a živočichů, udržovat či zlepšovat kvalitu vody a ovzduší a podporovat lidské zdraví a „žití“. Půdní kvalita je schopnost půdy fungovat jako součást ekosystému a při daném využívání plochy udržovat biologickou produktivitu, kvalitu prostředí a podporovat zdraví rostlin a živočichů.

Tóth et al., 2007:** Půdní kvalita je míra schopnosti půdy poskytovat ekosystémové a socioekonomické služby díky své kapacitě provádět své funkce za měnících se podmínek

* Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (1994): Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication Number 35. Soil Science Society of America.

Doran J.W., Jones A.J. (1996): Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication Number 49. Soil Science Society of America. 410 pp. ISBN 9780891189442.

** Tóth G., Stolbovoy V., Montanarella L. (2007): Soil quality and sustainability evaluation - An integrated approach to support soil-related policies of the European Union. EUR 22721 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 40 pp. ISBN 9789279052507.

Půdní kvalita – definice pro účely E5040

**současná a do budoucna udržitelná schopnost
půdy fungovat jako živý systém uvnitř
ekosystému zabezpečující jeho důležité funkce a
služby, podporující biologickou produktivitu,
odolávající erozi, nesnižující či zlepšující kvalitu
ovzduší, podzemní a povrchové vody a
podporující zdraví rostlin, zvířat i lidí**



Indikátory půdní kvality

Musí vyhovovat těmto kritériím:

- korelace s procesy v ekosystémech (modelování)
- musí zahrnovat všechny (většinu) vlastnosti půd a tak být použitelné pro odhad vlastností, které se nedají snadno měřit
- musí být snadno měřitelné v terénu
- musí být citlivé na změny technologií a přírodních poměrů (klíma), avšak necitlivé na krátkodobé změny,
- soubor indikátorů musí zahrnovat již sledované charakteristiky

Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (1997): Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford. ISBN 0851991580.

Doran, J. W., Parkin, T. B. (1994): Defining and assessing soil quality. In: Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication number 35. SSSA, Inc., American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 1994, pp. 3 – 21.

Sáňka, M., Materna, J. (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Edice Planeta. Odborný časopis pro životní prostředí. Ročník XII, číslo 11/2004, ISSN 1213-3393.

Indikátory půdní kvality

- kvalitativní (např. půda je dobře oživená)
- kvantitativní (např. biomasa mikroorganismů je 1450 µg Cbio/g půdy)
- v terénu / v laboratoři
- složité analýzy pro vědce vs karty pro farmáře

Indicator	Poor	Medium	Good
<i>Earthworms</i>	0-1 worms in shovelful of top foot of soil. No casts or holes.	2-10 in shovelful. Few casts, holes, or worms.	10+ in top foot of soil. Lots of casts and holes in tilled clods. Birds behind tillage.
<i>Organic Matter Color</i>	Topsoil color similar to subsoil color.	Surface color closer to subsoil color.	Topsoil clearly defined, darker than subsoil.
<i>Organic Matter Roots/Residue</i>	No visible residue or roots	Some residue few roots	Noticeable roots and residue
<i>Subsurface Compaction</i>	Wire breaks or bends when inserting flag.	Have to push hard, need fist to push flag in.	Flag goes in easily with fingers to twice the depth of plow layer.
<i>Soil Tilth Mellowness Friability</i>	Looks dead. Like brick or concrete, cloddy. Either blows apart or hard to pull drill through.	Somewhat cloddy, balls up, rough pulling seedbed.	Soil crumbles well, can slice through, like cutting butter. Spongy when you walk on it.
<i>Erosion</i>	Large gullies over 2 inches deep joined to others, thin or no topsoil, rapid run-off the color of soil.	Few rills or gullies, gullies up to two inches deep. Some swift runoff, colored water.	No gullies or rills, clear or no runoff.
<i>Water Holding Capacity</i>	Plant stress two days after a good rain.	Water runs out after a week or so.	Holds water for a long period of time without puddling.
<i>Drainage, Infiltration</i>	Water lays for a long time, evaporates more than drains, always very wet ground.	Water lays for short period of time, eventually drains.	No ponding, no runoff, water moves through soil steadily. Soil not too wet, not too dry.
<i>Crop Condition (How well it grows)</i>	Problem growing throughout season, poor growth, yellow or purple color.	Fair growth, spots in field different, medium green color.	Normal healthy dark green color, excellent growth all season, across field.
<i>pH</i>	Hard to correct for desired crop.	Easily correctable.	Proper pH for crop.
<i>Nutrient Holding Capacity</i>	Soil tests dropping with more fertilizer applied than crops used.	Little change or slow down trend.	Soil tests trending up in relation to fertilizer applied and crop harvested.



http://soils.usda.gov/sqi/assessment/test_kit.html

http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/MD_card.pdf

Indikátory půdní kvality

- Příklad souboru vlastností půd využitelných jako indikátory kvality a zdraví půdy a vztah indikátorů k funkcím půdy

skupina indikátorů	indikátor	funkce půdy					lidské zdraví	odolnost proti erozi	komentář vztahu k funkci a stavu půdy
		kvalita ŽP		podpora produkce a kvality					
		kvalita vody	kvalita ovzduší	rostliny	živočichové				
fyzikální	textura	X	X	X			X	transport a zadržení vody a chemikálií	
	hloubka půdy, organominerálního horizontu a prokořenění	X		X			X	odhad produktivity a eroze	
	infiltrace a objemová hmotnost	X		X			X	potenciál pro vyluhování, produktivitu a erozi	
	retenční vodní kapacita	X	X	X	X		X	transport a odolnost vody	
chemické	organická hmota (C a N)	X		X		X		definuje půdní úrodnost, stabilitu a rozsah eroze	
	pH	X	X	X		X		definuje hranice biologické a chemické aktivity	
	elektrická vodivost	X	X	X	X	X		definuje hranice rostlinné a mikrobiální aktivity	
	extrahovatelný N, P, K	X		X				dostupnost živin pro rostliny, možnost ztráty N	
biologické	mikrobiální biomasa (C a N)	X		X				mikrobiální katalytický potenciál a časné varování při změnách v OM	
	mineralizovatelný dusík	X		X				odhad půdní produktivity a potenciální zásobárna N	
	respirace půdy	X	X	X				odhad mikrobiální aktivity	

Fyzikálně-chemické vlastnosti: půdní textura a struktura, půdní reakce a sorpční komplex, půdní organická hmota a další

Vlastnosti půd

- Dělíme na fyzikální, chemické a biologické
- Podobně jsou rozděleny i **indikátory půdní kvality**
- **Fyzikální vlastnosti:** textura, struktura, specifická hmotnost, barva a teplota půdy, vlhkostní poměry
- **Chemické vlastnosti:** elementární složení, minerální složení, složení půdního roztoku a vzduchu, obsah a složení půdní organické hmoty, stav půdních koloidů a půdního sorpčního komplexu, půdní reakce, vodivost, redox potenciál
- **Biologické vlastnosti:** biomasa, počty, aktivita, přeměny dusíku, struktura společenstva
- **Technologické vlastnosti půdy:** koheze, adheze, konzistence, uléhavost, hutnost, orební odpor, bobtnání, kornatění, rozprašování apod.

Fyzikálně - chemické vlastnosti půd

- Tyto parametry je nutné stanovit při každém průzkumu půd (jak při monitoringu biologickém, tak při monitoringu obsahu kontaminantů), neboť tyto parametry ovlivňují sledované vlastnosti.
- Naopak po zásahu vnějšího faktoru do půdního prostředí se mohou měnit i tyto parametry. Pak se **mohou samy stát "endpointy"** a indikátory při hodnocení vlivu zásahu.
- Při sledování bioty v půdě mohou být tyto parametry samy o sobě stresovými faktory či působit stres navíc ke kontaminaci.

Fyzikálně - chemické vlastnosti půd

Sada parametrů při provádění rutinního monitoringu:

- zrnitost - půdní textura (obsah jílu, prachu, písku, půdní druh)
- pH [pH(H₂O) a pH(KCl)]
- CEC (kationtová výměnná kapacita, obsahy kationtů Ca, Mg, K a H)
- Nasycení sorpčního komplexu
- (S)OM, TOC, C_{org}
- N_{tot}
- Q_{4/6} + parametry humusu (HA:FA, c_{HL})
-

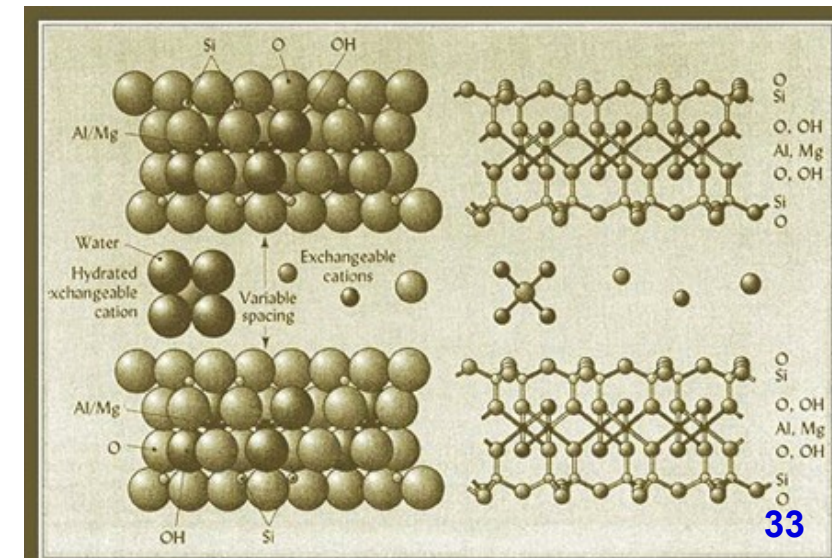
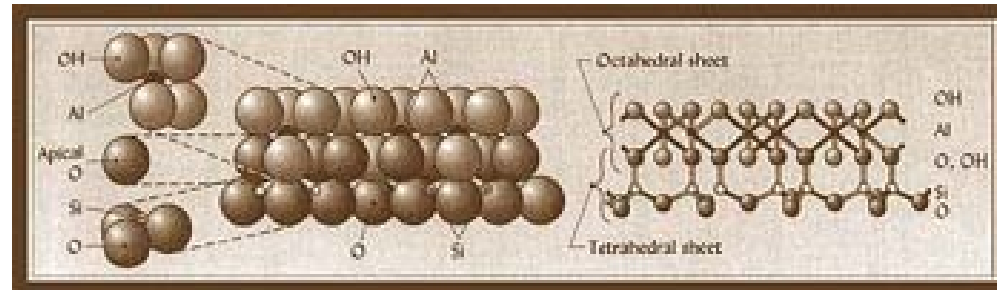
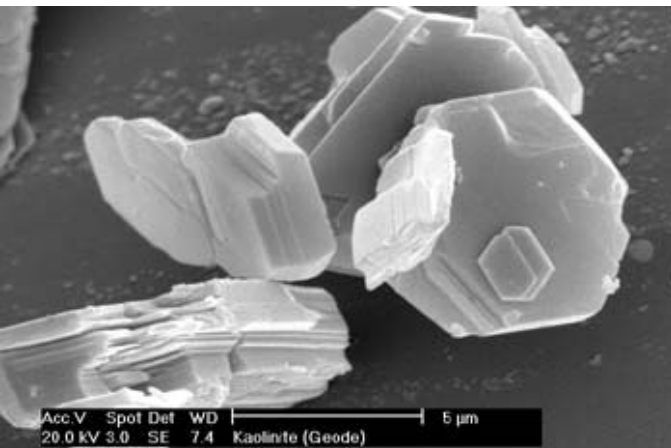
Minerální složka půd

- Pochází ze zvětralé horniny
- **Zvětrávání** – soubor procesů kdy se hornina rozpadá na minerály
- Zahrnuje fyzikální procesy (rozpad – vítr, voda, teplota, organismy) a chemické procesy (rozpouštění, oxidace, hydrolýza, hydratace, redukce – tedy vliv faktorů jako vody, kyslík, pH)
- Produktem jsou **sekundární jílové minerály** a **rozpuštěné minerály**, které spolu s **rezistentními primárními minerály** tvoří minerální podíl půdy



Minerální složka půd

- **sekundární jílové minerály - aluminosilikáty**
- jsou součástí sorpčního komplexu půdy
- vrstevnatá krystalová mřížka – tetraedry Si a oktaedry Al či Mg
 - 1:1 vrstvy - kaolinit, halloyzit – sorpce kationtů jen na povrch – cca 20 m² / g
 - 2:1 vrstvy – s roztažitelnou mřížkou – smektit, montmorillonit, vermikulit – vnitřní sorpční povrchy – až 800 m² / g
 - 2:1 vrstvy – neroztažitelná mřížka – illit – 70-100 m² / g
 - další typy: chlority
- v reálných půdách jde vždy o směs



Zrnitost - půdní textura

- důležitý znak při posuzování půdy - ovlivňuje značně již vytváření půd a půdotvorné pochody i řadu jiných půdních vlastností prostřednictvím **poměru kapilárních a nekapilárních pórů**, který je odlišný u půd různé zrnitosti, jednak prostřednictvím **specifického povrchu**, závislého na velikosti půdních částic
- lze rozlišit **jemnozem a skelet**
 - **jemnozem** jsou zrna pod 2 mm a jde také o mezinárodně uznávanou velikost používanou v řadě půdně - ekotoxikologických metod.
 - nad 2 mm je půdní drť neboli **skelet**

Zrnitost - půdní textura

- **jemnozem** lze získat jednoduše pomocí 2 mm síta, další **frakce** se určují metodami pomocí sít, sedimentace, vyplavování atd.: pipetovací metoda, hustoměrná metoda
- výsledky jsou vyjadřovány jako % obsahu hmotnosti a na základě nich lze definovat **půdní druh**
- u nás se používá nejčastěji novákova klasifikační stupnice, založená pouze na obsahu frakce jílu (!)
- **fyzikální jíl** - frakce s průměrem zrn pod 2 μm (někdy 1 μm), dle některých mezinárodních stupnic je tato frakce chápána jako **jíl** a vyšší frakce (2 – 10 μm) pak už jako **jemný prach**
- **koloidní jíl** - frakce s průměrem zrn pod 0,1 μm , která má vlastnosti koloidů

poloměr koule	počet koule	celkový povrch
1 cm	1	12,6 cm ²
1 mm	10 ³	126 cm ²
0,1 mm	10 ⁶	1 260 cm ²
0,01 mm	10 ⁹	12 600 cm ²
0,001 mm (1 μm)	10 ¹²	126 000 cm ²
0,1 μm	10 ¹⁵	126 m ²

Zrnitost - půdní textura

- čtyři frakce půdních zrn (dle Kopecského):

φ zrn [mm]	označení frakce		
pod 0,0001	koloidní jíl	I.kategorie (jílkaté částice)	jemnozem
pod 0,002	fyzikální jíl		
0,002 – 0,01	jemný prach		
0,01 – 0,05	prach		
0,05 – 0,1	práškový písek	III.kategorie	skelet
0,1 – 0,2	velmi jemný písek	IV.kategorie	
0,2 – 0,5	jemný písek		
0,5 – 2,0	střední písek		
2 – 16	drobný štěrč		
16 – 63	střední štěrč		
63 – 125	hrubý štěrč		
nad 125	kameny		

- Nováková klasifikační stupnice

PROCENTO JÍLNATÝCH ČÁSTIC < 0,01 mm	OZNAČENÍ PŮDNÍHO DRUHU		
0–10	písčitá	p	lehké
10–20	hlinitopísčitá	hp	
20–30	písčitohlinitá	ph	střední
30–45	hlinitá	h	
45–60	jílovitohlinitá	jh	těžké
60–75	jílovitá	jv	
> 75	jíl	j	

Půdní struktura

- výsledek spojování fáze pevné, kapalné a plynné
- struktura ovlivňuje pórovitost, vzdušný, vodní režim půdy, biotu, osud polutantů a většinu dalších půdních procesů a vlastností
- půda může být výrazně až slabě strukturní, či dokonce nestrukturní.

Velikost agregátů:

- makroagregáty větší než 0,25 mm
- mikroagregáty menší než 0,25 mm

Půdní struktura

- **strukturní elementy** - základy půdní struktury, jejichž shlukováním (agregací) vznikají agregáty
- někdy hovoříme o **půdním organo-minerálním komplexu**
- strukturní elementy jsou do agregátů poutány silami molekulárními, či pomocí tmelů
 - tmel vzniká **přeměnou minerálních solů v gely**, často vyvolaná Ca^{2+} nebo Mg^{2+} ionty = **proces koagulace**; rozpad agregátů = **peptizace** (vyvolané Na^+ či K^+ ionty); koagulanty jsou půdní koloidy, huminové kyseliny, kyselina křemičitá apod.; úlohu v koagulaci hraje obsah CaCO_3 .
- kromě minerálních procesů vzniku struktury hrají nezanedbatelnou funkci i půdní organismy: mikroorganismy (sliz, polymery ...), houby (hyfy ..), kořínky rostlin, červi (žížalince) apod.

Půdní struktura

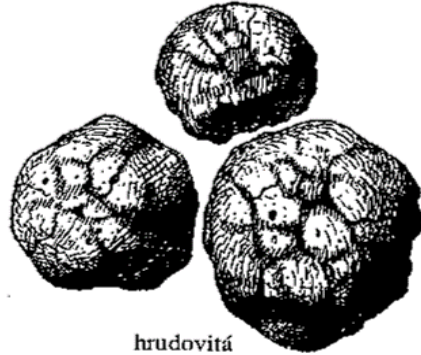
- půdní agregace je jeden z nejvýznamnějších faktorů kontrolujících mikrobiální aktivitu a obrát organického materiálu v půdě
- je-li narušena mikrostruktura a struktura půdy a tím i cirkulace vody půdním profilem, může docházet k závažným změnám v chování toxických látek
- půdní agregáty ovlivňují interakci enzymů s jejich substráty
- **díky svému integrujícímu charakteru a významu půdní struktury je dokonce navržena a chápána jako sumární indikátor pro půdní kvalitu**

KULOVITÁ	POLYEDRICKÁ	HRANOLOVITÁ (PRIZMATICKÁ)	DESKOVITÁ
• hrudovitá	• polyedrická	• hrubě priizmatická	• deskovitá
• hrudkovitá	• drobně polyedrická	• prizmatická	• destičkovitá
• drobtová		• drobně priizmatická	• lístkovitá
• jemně drobtová			
• práškovitá			

Půdní struktura

Typy půdní struktury

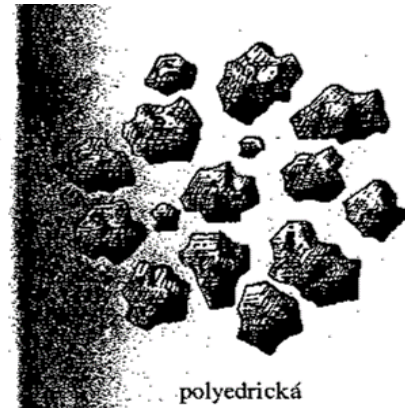
Všechny typy půdní struktury jsou vyobrazeny v přirozené velikosti.



hrudovitá



hrudkovitá

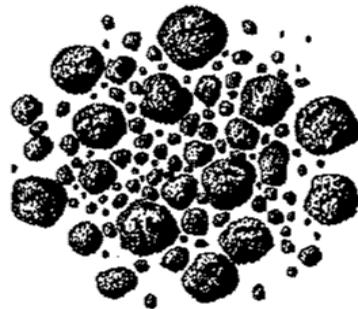


polyedrická

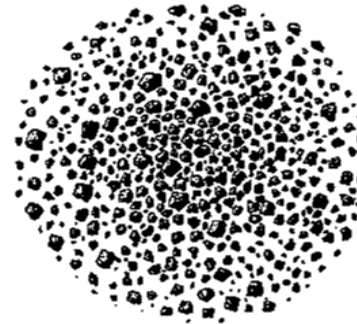


drobně polyedrická (krupnatá)

Typická drobtovitá struktura černozemí



drobtová (zmitá)



jemně drobtová (zmitá)

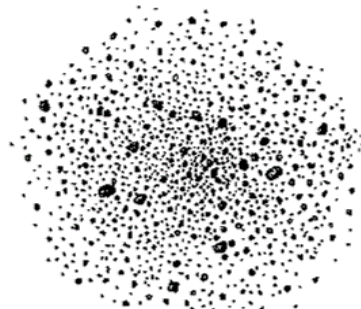


kostková

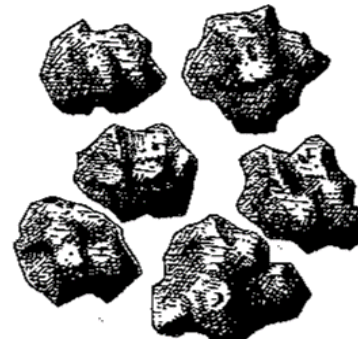


kostečková

Sáňka M. a kol. (2018)



práškovitá



hrubě polyedrická

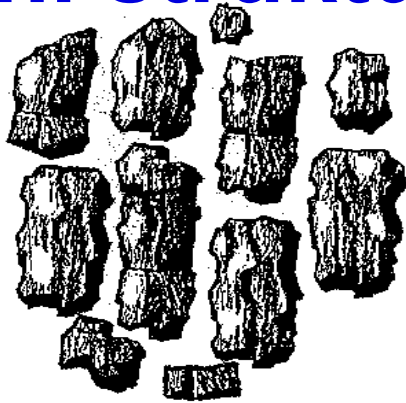


hrubě prizmatická

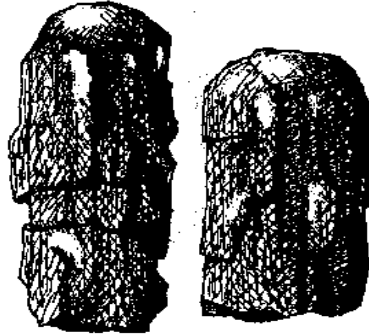


prizmatická

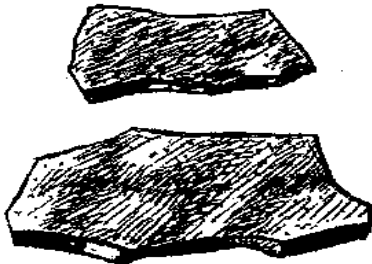
Půdní struktura



drobně prizmatická



sloupcovitá



deskovitá



destičkovitá



lístkovitá

Půdní pórovitost

- **půda je pórovitě heterogenní látka**, póry v půdě dělíme na:
 1. **kapilární póry** - kapalina proudí laminárně; nejvýznamnější v transportních procesech; nejvýznamnější pro mikrobiální složku půdy a pro rhizosféru; zabezpečují půdní vlhkost (pro kořeny, mikroorganismy ...); oblast změn redox poměrů
 2. **nekapilární póry** - turbulentní proudění kapalin; sem se dostávají cizorodé látky a míse se

Pórovitost: $P (\%) = V_P / V_T \times 100$

Rozdělení půdních pórů podle velikosti a jejich typické zastoupení (% obj.) v základních skupinách podle půdního druhu (upraveno podle Rowell, 1994; in: Šimek, 2003)

DRUH PÓRŮ	VELIKOST (μm)	LEHKÁ PŮDA (% OBJ.)	STŘEDNÍ PŮDA (% OBJ.)	TĚŽKÁ PŮDA (% OBJ.)
nekapilární	> 50	20–30	10–15	5–15
semikapilární	0,2–50	5–15	20–25	15–20
kapilární	< 0,2	5–10	15–20	25–35
pórovitost	---	35–45	45–55	50–70

Sáňka M. a kol. (2018)

Objemová hmotnost a měrná hmotnost

Objemová hmotnost půdy

- je jednou z nejdůležitějších půdních vlastností, která ovlivňuje celý komplex fyzikálních podmínek v půdě
- hmotnost 1 cm³ půdy (v gramech) v přirozeném uložení po vysušení včetně pórů
- platí, že čím je vyšší hodnota objemové hmotnosti, tím je půda utuženější
- rostlinám škodí jak příliš kyprá, tak i příliš utužená půda - pro polní plodiny by se měla hodnota objemové hmotnosti půdy v ornici pohybovat od 1,2 do 1,5 g. cm³

Měrná hmotnost (specifická)

- bez pórů

MĚRNÁ HMOTNOST (g/cm ³)	HORIZONT
2,0	rašelinné horizonty
2,0-2,4	zrašelinělé horizonty
2,4-2,5	silně humózní horizonty
2,5-2,6	povrchové humózní horizonty
2,6-2,7	hlinité horizonty s humusem kolem 1 %
2,7-2,8	železem obohacené iluviální horizonty, a to i při obsahu org. látek 2-5 %

Doporučené hodnoty měrné hmotnosti a pórovitosti (Kutílek, 1978)

STRUKTURNÍ STAV HUMUSOVÉHO HORIZONTU	OBJEMOVÁ HMOTNOST SUCHÉ PŮDY (g.cm ⁻³)	PÓROVITOST (%)
výborný	> 1,2	> 54
dobrý	1,2-1,4	46-54
nevyhovující	1,4-1,6	39-46
nestrurní	1,6-1,8	31-39

Sáňka M. a kol. (2018)

Půdní sorpční komplex

- sorpční kapacita půd jako vlastnost výměny látek mezi půdním roztokem a povrchy částic
- **roli hrají půdní koloidy, organominerální komplex**

Koloidy v půdě:

- tzv. mobilní pevná fáze
- jemné částice 1 - 100 nm!; organické i anorganické; dnes tzv. NANOčástice
- jsou transportovány půdní vodou velmi lehce
- mohou fungovat jako "transportéry" nerozpustných látek ve vodě
- **velký aktivní povrch:**
 - jeden cm^3 má 10^{18} částic s průměrem 10 nm (koloid) má povrch 600 m^2
- vyskytují se ve formě solů či gelů (koagulace \leftrightarrow peptizace)
- jsou **hydrofilní** (huminové kyseliny, kys. křemičitá, hydroxidy železa a hliníku ...) a **hydrofóbní** (jílové minerály)

Půdní sorpční komplex

- na povrchu je tzv. adsorpční vrstva, v případě negativního komplexu, obsahuje kationty
- negativní náboj není v reálu zcela satureován, část elektrického potenciálu není kompenzována
- celková kapacita kationtů, které mohou být poutány na adsorpční vrstvy v půdě se nazývá **kationtová výměnná kapacita (KVK, CEC)**

1 - granule
2 - částice
3 - micela
4 - dvojitá elektrická vrstva

5 - adsorbované kationty
6 - difusní vrstva
7 - adsorpční vrstva
8 - adsorpční potenciál iontů

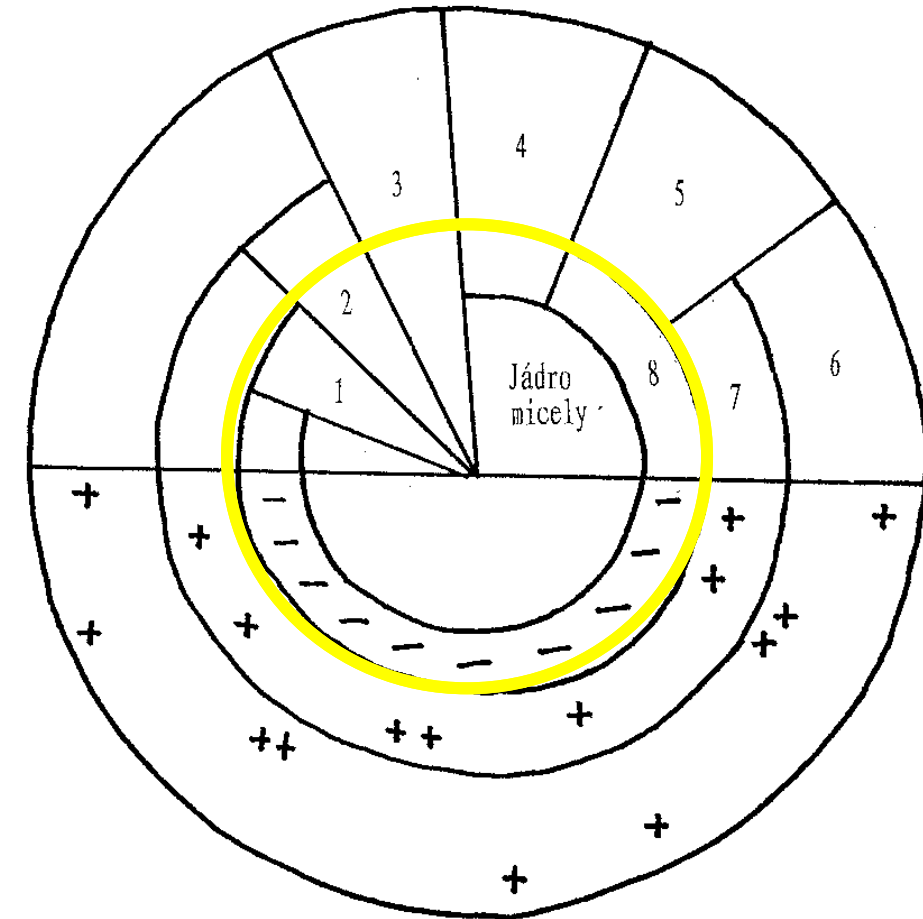


Schéma struktury půdního koloidu
(podle Gorbunova)

Půdní sorpční komplex

- **CEC** je tedy suma chemických ekvivalentů kationtů vodíku, draslíku, vápníku a hořčíku
- **výměna iontů v půdě** je proces, při němž se vyměňují ionty absorbované na površích půdních minerálních a organominerálních koloidů s ionty z okolního půdního roztoku
- Pokud je v půdě vysoká kationtová výměnná kapacita, dochází ke kumulaci živin jako jsou K, Ca, Mg ve formě sice přístupné organismům, ale ve formě chráněné před vyplavováním z půdy.

Půdní sorpční komplex

- **Sorpční nasycení se označuje V**, vypočteme jako procentuální zastoupení iontů Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^{+} (někdy se tato suma označuje "S") v celkové hodnotě KVK (ta se někdy označuje "T") - S/T (%)
- Udává podíl výměnných bazických kationtů v % z celkové sorpční kapacity.
- K hodnocení výsledků lze užít následující stupnici

Kritéria pro hodnocení hodnot celkové sorpční kapacity (T) a nasycenosti sorpčního komplexu bazickými kationty (V)

HODNOCENÍ	HODNOTA T (mmol/kg)	HODNOCENÍ	HODNOTA V (%)
velmi nízká	< 80	extrémně nenasycená	< 30
nízká	80–130	nenasycená	30–50
střední	130–240	slabě nasycená	50–75
vysoká	240–300	nasycená	75–90
velmi vysoká	> 300	plně nasycená	90–100

Sáňka M. a kol. (2018)

Nutriční vlastnosti půdy

- Pro zhodnocení obsahu prvků v půdě lze užít následující klasifikační tabulky, přičemž na mmol chemických ekvivalentů na kg půdy se přepočítají tyto koncentrace vydělením 39,1 pro draslík a 12,5 pro hořčík:

Kritéria hodnocení obsahu P, K a Mg (Melich 3, dle přílohy č. 3 vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů)

ORNÁ PŮDA

OBSAH	FOSFOR (mg.kg ⁻¹)		DRASLÍK (mg.kg ⁻¹)			HOŘČÍK (mg.kg ⁻¹)		
			PŮDA			PŮDA		
	SP ¹⁾	ICP-OES ²⁾	LEHKÁ	STŘEDNÍ	TĚŽKÁ	LEHKÁ	STŘEDNÍ	TĚŽKÁ
nízký	< 50	< 55	< 100	< 105	< 170	< 80	< 105	< 120
vyhovující	51-80	56-85	101-160	106-170	171-260	81-135	106-160	121-220
dobrý	81-115	86-125	161-275	171-310	261-350	136-200	161-265	221-330
vysoký	116-185	126-200	276-380	311-420	351-510	201-285	266-330	331-460
velmi vysoký	> 185	> 200	> 380	> 420	> 510	> 285	> 330	> 460

Sáňka M. a kol. (2018)

Půdní reakce

- patří k nejvýznamnějším fyzikálně chemickým vlastnostem půd
- charakterizuje její genetické vlastnosti, směr a intenzitu půdních procesů, určuje složení a stupeň biologické aktivity i úrodnost půdy, ovlivňuje rozpustnost a translokaci některých prvků a sloučenin (např. hliníku, železa, fosforu, karbonátů) a osud rizikových polutantů
- půdní reakce se označuje číslem **pH**, které je záporným logaritmem koncentrace vodíkových iontů
- **aktivní pH** - pH půdního roztoku a stanoví se vodním výluhem - $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ - představuje okamžitý stav volných hydroxoniových iontů v půdním roztoku, nepoutaných sorpčním komplexem
- **výměnné pH** - ionty vázané sorpčním komplexem; stanoví se výluhem neutrální solí (KCl) - $\text{pH}(\text{KCl})$ - vždy nižší než aktivní pH – používá se pro potřeby agrochemie

Půdní reakce

Kritéria pro hodnocení půdní reakce výměnné (příloha č. 3 k vyhl. č. 275/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů)

HODNOTA pH	PŮDNÍ REAKCE
< 4,5	extrémně kyselá
4,6–5,0	silně kyselá
5,1–5,5	kyselá
5,6–6,5	slabě kyselá
6,6–7,2	neutrální
7,3–7,7	alkalická
> 7,7	silně alkalická

Pro lesní půdy je možno využít následující kritéria (Rejšek, 1999)

HODNOTA pH (KCl)	HODNOTA pH (H ₂ O)	PŮDNÍ REAKCE
< 3,0	< 3,5	velmi silně kyselá
3,0–4,0	3,5–4,4	silně kyselá
4,1–5,0	4,5–5,5	středně kyselá
5,1–6,0	5,6–6,5	mírně kyselá
6,1–7,0	6,6–7,2	neutrální
> 7,0	> 7,2	mírně alkalická

Sáňka M. a kol. (2018)

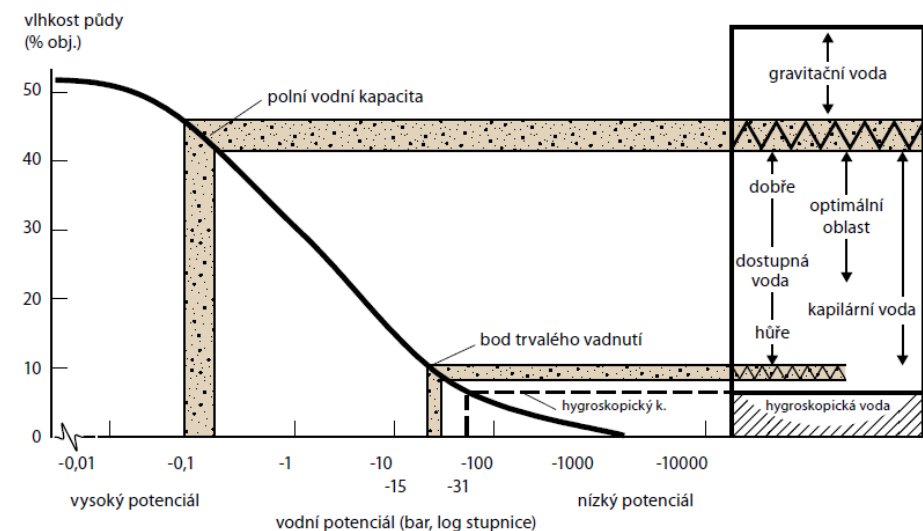
Půdní voda

- voda je potřeba pro fungování většiny metabolických procesů; optimální vlhkost "spouští" fungování mikroorganismů; vytváří mikroprostředí pro mikroorganismy v pórech a na povrchích částic; ovlivňuje výměnu plynů v půdě; ovlivňuje přístupnost nutrientů; ovlivňuje teplotu půdy
- plná vodní kapacita – všechny póry jsou zaplněny vodou, rovná se tedy pórovitosti
- retenční vodní kapacita (polní vodní kapacita) – obsah vody v půdě po ztrátě vody gravitační čili obsah vody zadržovaný v kapilárních pórech
- bod vadnutí - obsah vody, při kterém již rostliny nejsou schopny překonat síly poutající molekuly vody v půdě
- maximální kapilární vodní kapacita - schopnost půdy zadržovat vodu pro potřeby rostlin

Půdní voda

Měření půdní vlhkosti:

- **WHC** (water holding capacity) - česky retenční vodní kapacita či maximální vodní kapacita = maximální množství vody, které udrží půda po nadměrném zavlažení
- udává se jako ml/g suš.
- pro standardizaci podmínek v půdně - ekotoxikologických testech se užívá ovlhčování na XX % WHC (např. 60%, 80% apod.)
- často je alternativou vyjádření pomocí vlhkového potenciálu – tlak, pF



Půdní voda

- **zóna aerace** - existují prostory vyplněné vzduchem, půdní vláh
- **zóna saturace** - zvedeň, je zcela nasycena vodou, podzemní voda
- vodu v zóně aerace dělíme podle jejího vztahu s pevnou a plynnou fází půdy a dle dostupnosti pro rostliny a mikroorganismy:
 1. **Vodní pára** jejíž množství u povrchu kolísá a s hloubkou se stabilizuje.
 2. **Chemicky vázaná voda**, která je poutána do chemických struktur látek tvořících minerální a organominerální složku půdy, je v podstatě nedostupná.
 3. **Voda hygrokopická**, která tvoří několik molekul tlustou blanku na povrchu částic a je v půdě vždy i při úplném vysušení, pokud není ze vzduchu odstraněna vodní pára. Charakteristiky této vody jsou úplně jiné než vody nevázané. Silně adsorbuje na povrchy vodíkovými vazbami a dipólovými interakcemi a její tenká vrstva na povrchu částic nemrzne ani při nulových teplotách.
 4. **Voda adsorpční**, která tvoří vrstvu na povrchu zrn, na rozdíl od vody hygrokopické může zmrznout a pohybovat se alespoň ze zrna na zrno. Je dostupná hlavně rostlinám.
 5. **Kapilární voda** zaplňuje póry a pukliny a je poutaná kapilárními silami, které ji buď vytahují nad hladinu podzemní vody - voda podepřená, nebo dočasně způsobují její setrvání ve vrstvě blízko povrchu - voda zavěšená.
 6. **Voda prosakující neboli gravitační**, která po vsakuje do půdy slouží jako zdroj předchozích a zaplňuje i nekapilární prostory. Podléhá působení gravitace a tak se pohybuje do nižších horizontů až po hladinu podzemní vody. Voda, která v půdě zůstane zachycená po průtoku takovéto gravitační vody tvoří maximální kapacitu nasycení.

Půdní voda

Půdní roztok

- ve vodě rozpuštěné různé organické i minerální látky (celková koncentrace rozpuštěných látek většinou nepřesahuje 1%), elektrolytický roztok
- nejdůležitější minerální látky v půdním roztoku: NH_4^+ soli, kationty Ca, Mg, K a Na, které jsou progresivně nahrazovány H^+ a Al^+ , dusičnany, sírany, chloridy a fosforečnany
- rozpustnost plynů v půdním roztoku závisí na daném plynu, teplotě, koncentraci roztoku a parciálním tlaku plynu v půdní atmosféře; nejvíce rozpustné plyny jsou CO_2 , NH_3 a H_2S , zatímco O_2 je méně rozpustný a N_2 ještě méně
- má charakteristický osmotický tlak
- důležitou vlastností je jeho pH

Organická hmota v půdě

- kromě živých organismů se v půdě vyskytuje ještě neživá organická hmota
- odumřelá rostlinná hmota (kořeny, zbytky rostlinných těl, opad), zbytky odumřelých organismů v různém stupni rozkladu, tuky, vosky, sacharidy, N či P obsahující organické látky a nově vzniklá hmota
- dohromady ji označujeme zkratkou **SOM** (Soil Organic Matter)
- množství této hmoty je různé u jednotlivých typů půd např. v listnatém lese vyšší než na pastvině, a obvykle se pohybuje od 1 do 5 % (vyjádřeno jako uhlík); akumuluje se více v lesních půdách, než v zemědělských
- **organický uhlík v půdě se značí TOC, C_{org} či C_{ox}** a jeho množství lze odvodit od množství humusu (dělením 1,724; humus obsahuje 58% uhlíku)
- uhlík v půdě ovlivňuje jak její biologické, tak i fyzikálně chemické procesy a je stěžejní pro aktivity organismů jako zdroj živin - podmínkou **půdní úrodnosti**
- význam pro procesy záleží na dostupnosti uhlíku (lehká frakce ...)

Vstupy organické hmoty do půd

- lužní les: cca 5,6 t / ha / rok
- smrkový les: cca 4,9 t / ha / rok
- jen odumírání kořenů v lesním porostu: 1-2 t / ha / rok
- posklizňové zbytky: cca 1 t / ha / rok u okopanin, 3,5 u obilovin a až 15 t / ha / rok u travních porostů !!!
- složení vstupu organické hmoty:
 - 50-90% voda, 10-50% sušina
 - sacharidy 60%, lignin 0-30%, tuky, vosky 5%, bílkoviny 10%
 - C 44%, O 40%, H 8%, popeloviny 8%
 - jednodušší cukry a org. látky, pryskyřice, tuky, vosky a třísloviny, celulóza a hemicelulóza, lignin, org. dusíkaté látky, popeloviny
- rozložitelnost klesá: cukry, proteiny > bílkoviny > hemicelulóza > celulóza > tuky, vosky > lignin

Organická hmoty v půdě

Měření

- nejjednodušší – **Loss on Ignition (LOI)** – několik hod v 360-380°C
- oxidace uhlíku – chemická (mokrá) – **Cox**; suchá (přístrojová) - **TOC**

Number	Title	Scope, sample material	Principle
ISO 10694:1995	Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)	All types of air dried soil samples	The carbon is oxidised to CO ₂ by heating the soil to at least 900°C in a flow of oxygen-containing gas. The amount of CO ₂ released is then measured by titrimetry, gravimetry, conductometry, gas chromatography or using an infrared detection method, depending on the apparatus used.
ISO 14235:1998	Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation	All types of air dried soil samples	The organic carbon is oxidised in a mixture of potassium dichromate solution and sulphuric acid at a temperature of 135 °C. The dichromate ions are reduced to Cr ³⁺ . The intensity of the green colour is measured spectrophotometrically. As the oxidation of one carbon atom of the organic matter procedures four electrons, there is a direct relationship between the Cr ³⁺ and the organic carbon. The method is calibrated using glucose.



Organická hmota v půdě

- Většina půd jsou půdy minerální, tj. obsah uhlíku je několik procent
- Půdy organické mají obsah uhlíku až desítky procent

C_{org} (%)	Humus (%)	Označení obsahu
< 0,6	< 1	velmi nízký
0,6 - 1,1	1,0 - 2,0	nízký
1,2 - 1,7	2,1 - 3,0	střední
1,8 - 2,9	3,1 - 5,0	vysoký
> 2,9	> 5,0	velmi vysoká

Organická hmota v půdě

- **C:N** - číslo < 10 považováno za ukazatel dobré kvality humusu. Čím je číslo větší než 10, tím je humus méně kvalitní.
- **Poměr huminových kyselin a fulvokyselin (HK:FK, HA:FA)** je spolehlivějším ukazatelem kvality. Obecně lze shrnout, že hodnoty vyšší než 1 má humus s příznivou humifikací s tendencí akumulace. Hodnoty menší než 1 naznačují nižší tvorbu humusu.
- **$Q_{4/6}$** - barevný kvocient humusových látek (poměr extinkcí měřených při 465 a 665 nm), vyjadřující jejich relativní stupeň kondenzace. $Q_{4/6}$ naznačuje u hodnot nižších než 4,0, že převládají huminové kyseliny, především šedé. Hodnoty $Q_{4/6}$ rovnající se hodnotě 4,0 odpovídají stejnému obsahu HK a FK v půdě. Hodnoty vyšší než 4,5 naznačují, že v půdě je vyšší obsah FK.

Organická hmota v půdě

Přeměny organické hmoty

- **mineralizace** na jednoduché sloučeniny (H_2O , CO_2 , N_2O_5 , SO_2 , CH_4 , NH_3 apod.)
- **humifikace** - postupný proces; soubor rozkladných a syntetických pochodů

HUMIFIKACE

- vyluhování vodou, oxidace vzdušným kyslíkem, působení enzymů z odumírajících organismů (vznik tmavých melaninů atd.), rozměňování organických zbytků, následné promíchávání s anorganickou komponentou půdní faunou, biotická oxidace bakteriemi a houbami a další řada procesů
- Významné pro humifikační proces jsou živé organismy, nejvíce mikrobiální biomasa.
- Humus lze parametrizovat pomocí: C_{org} , C:N, HA:FA, $\text{Q}_{4/6}$ apod.

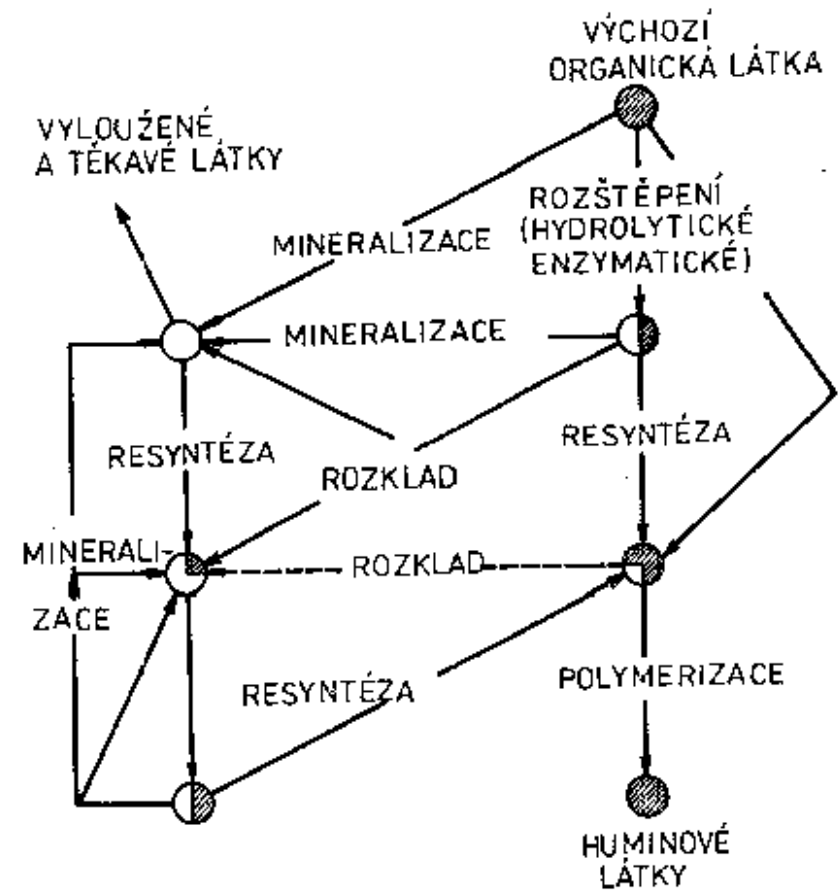
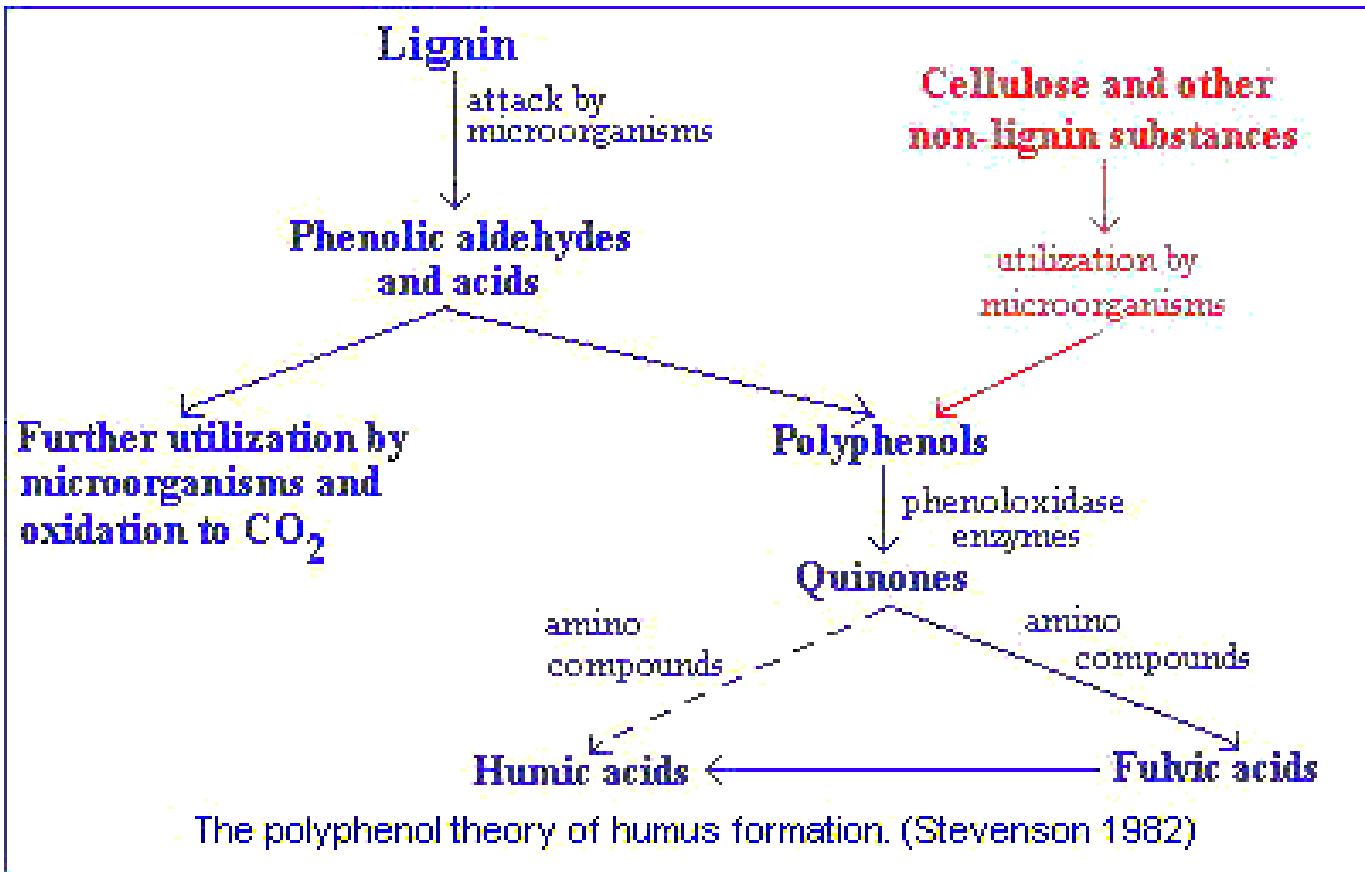
Humifikační proces

- rozklad na molekulární a iontové látky (tlení a trouchnivění) se často prolíná se vznikem sekundárních humínových látek (humifikací)
- na začátku převažují rozkladné procesy; vznikají látky (prekurzory), které jsou pak syntetizovány dále, a látky, které podléhají úplné mineralizaci; posledním krokem je polymerizace, polykondenzace
- **všechny procesy jsou vratné !!**

Lze vymezit tři možné scénáře:

1. v podmínkách dobrého provzdušnění a promísení půdy, tedy optimálních rozkladných podmínkách, nastává spíše rozklad ke konečným anorganickým produktům činností hlavně aerobních mikroorganismů
2. v podmínkách nízkého obsahu vody, vzduchu, nízké teploty a nízkého pH se půda obohacuje o různě pozmeněné organické substance vzniklé činností mikroorganismů v anaerobních podmínkách. Extrémem druhého procesu je rašelinění a uhelnatění probíhající téměř za nepřístupu vzduchu především činností anaerobních bakterií. Výsledkem takového procesu je pak tzv. humusové uhlí, látka bohatá na uhlík, dusík, nekolidní povahy a tmavohnědě až černě zbarvená.
3. v podmínkách určité míry aerace vznikají z těžko rozložitelných látek huminové sloučeniny, které mohou vznikat i z látek snadno rozložitelných jako jsou sacharidy, proteiny a tuky syntetickou činností mikrobiálních exoenzymů.

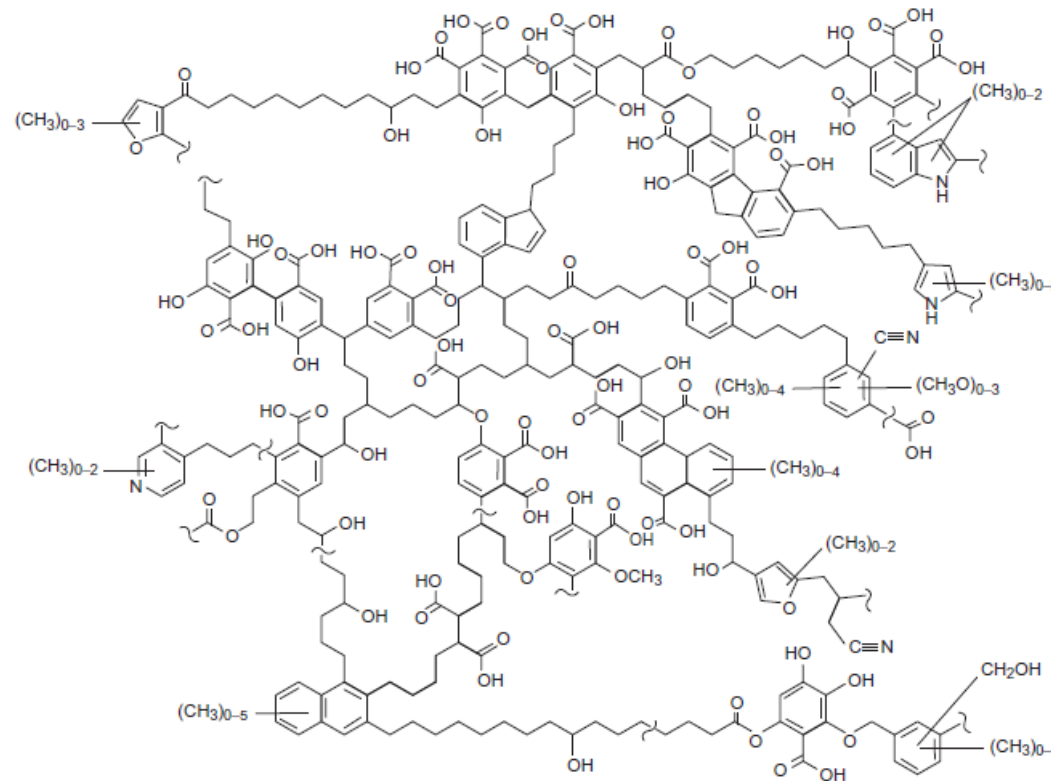
Humifikační proces



7. Schéma humifikačního procesu.

Huminové látky

Z chemického hlediska se jedná o polyaromatické kondenzované uhlovodíky s četnými hydroxylovými, chinonovými, alkoxy- a karboxy- skupinami, přičemž fulvokyseliny jsou menší molekulové hmotnosti (1000 - 30 000), často je tvoří i jeden aromatický kruh s různými substituenty. Z ligninu vznikají látky aromatické a uhlovodíky alifatické vznikají hlavně z proteinů, aminokyselin, sacharidů apod.



Kleber M. (2010): Advances in understanding the molecular structure of soil organic matter: Implications for interactions in the environment. *Advances in agronomy*, 106:77-142. DOI: 10.1016/s0065-2113(10)06003-7

Figure 14 A 2D chemical structure for HA. From Schulten and Schnitzer (1997), Fig. 1, p. 119. With permission of the publisher.

Humifikační proces

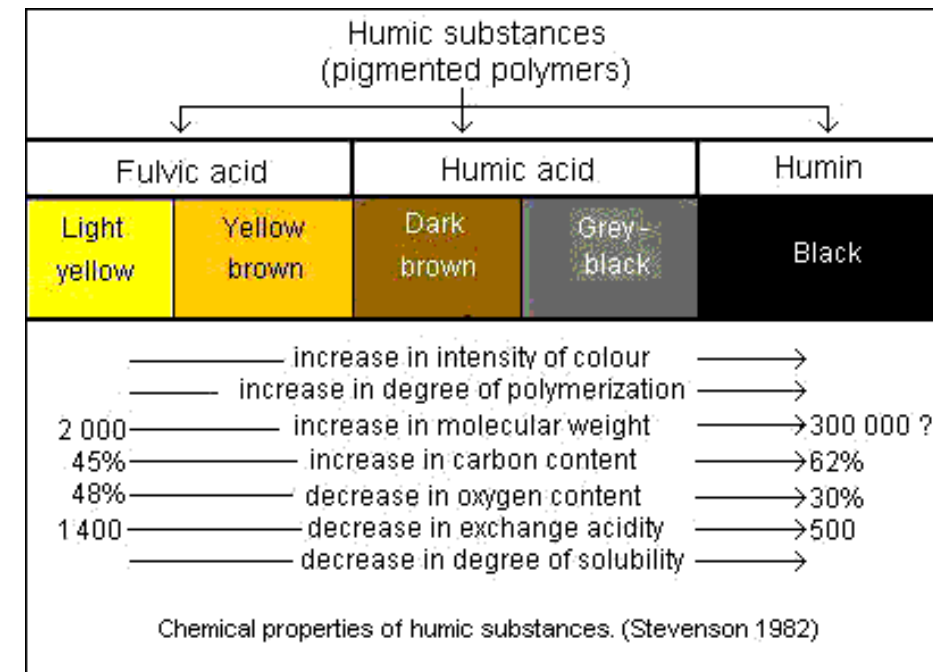
- Humifikací nově vzniklé látky jsou amorfny, tmavě zbarvené a koloidní povahy. Tyto **humínové látky** (tvořící 80 - 90 % humusu) dělíme na tři skupiny:

1) **fulvokyseliny (FK, FA)**

2) **humínové kyseliny (HK, HA)**

3) **humíny**

- jedna skupina přechází v druhou plynulými přechody
- HA můžeme ještě rozdělovat na hmatomelanové, šedé a hnědé.
- navzájem se liší obsahem C, H, O, N a charakteristických skupin = FA mají méně C, N, H a více O než HA
- tyto látky se dělí na základě rozpustnosti v NaOH či $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a HCl
- Kromě humínových látek obsahuje humus v užším slova smyslu ještě nehumínové látky (12-15%), zahrnující téměř všechny organické sloučeniny od jednoduchých až po složité.



Tabulka 1: Srovnání složení a zastoupení funkčních skupin půdních fulvokyselin (FA) a humínových kyselin (HA). Tabulka pochází z Tan (2003) a má dvě části, pod každou je uvedeno z jakých zdrojů Tan data čerpal.

Typ humínových látek	Zastoupení prvků (%)				Atomové poměry			
	C	H	O	N	H/C	O/H	O/C	N/C
Fulvokyseliny (FA)	30,9 - 38,0	36,0 - 42,8	22,8 - 30,8	0,7 - 1,5	0,947 - 1,301	0,533 - 0,824	0,653 - 0,997	0,022 - 0,046
Humínové kyseliny (HA)	34,5 - 43,4	36,4 - 43,5	16,9 - 24,6	1,4 - 3,1	0,802 - 1,352	0,055 - 0,559	0,421 - 0,594	0,048 - 0,077

Zdroj: souhrn 13 různých studií

Typ humínových látek	Zastoupení funkčních skupin (%)			Aromaticita (%)	Alifaticita (%)
	alifatické	aromatické	karboxylové		
Fulvokyseliny (FA)	61,6	20,7	17,7	25,2	74,8
Humínové kyseliny (HA)	37,3	51,6	11,1	58,0	42,0

Zdroj: dřívější studie Tan

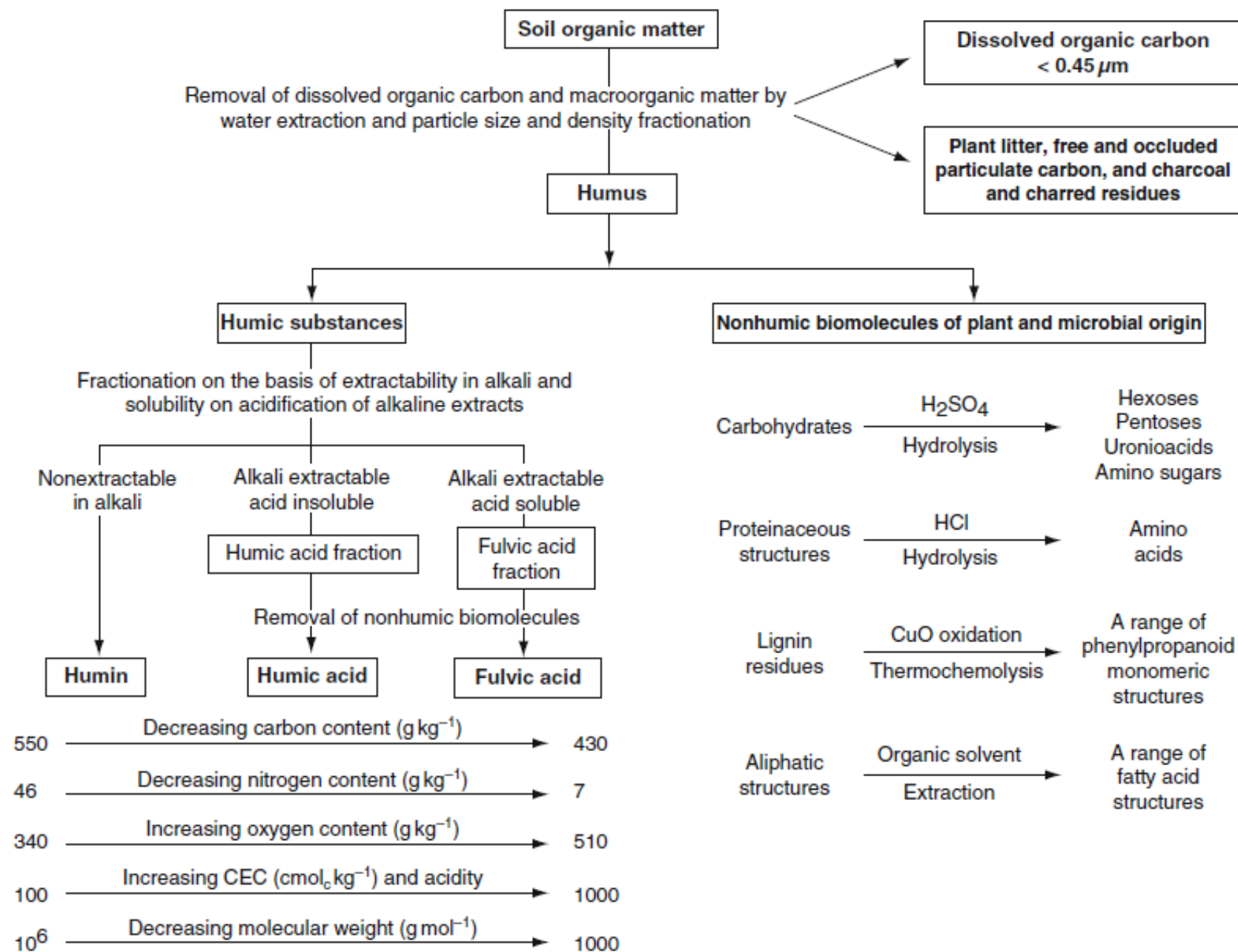
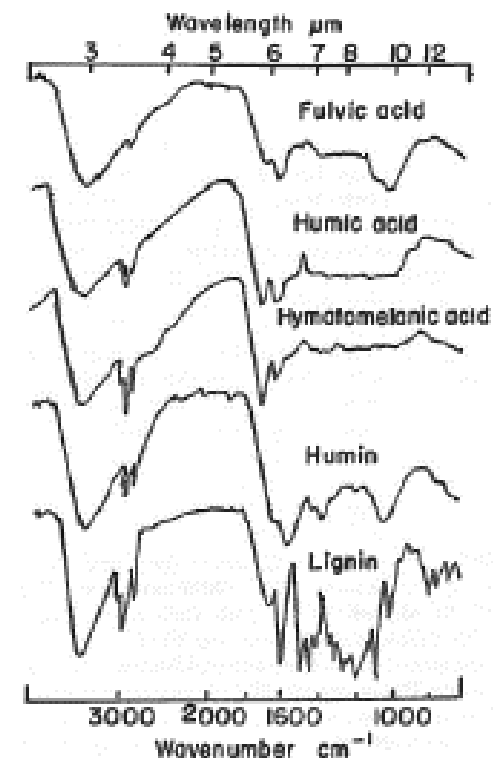


Figure 14 Soil organic matter according to the “Humic Polymer” model. Reproduced from Baldock and Nelson, 2000; Oades, 1989, with permission from Taylor and Francis.

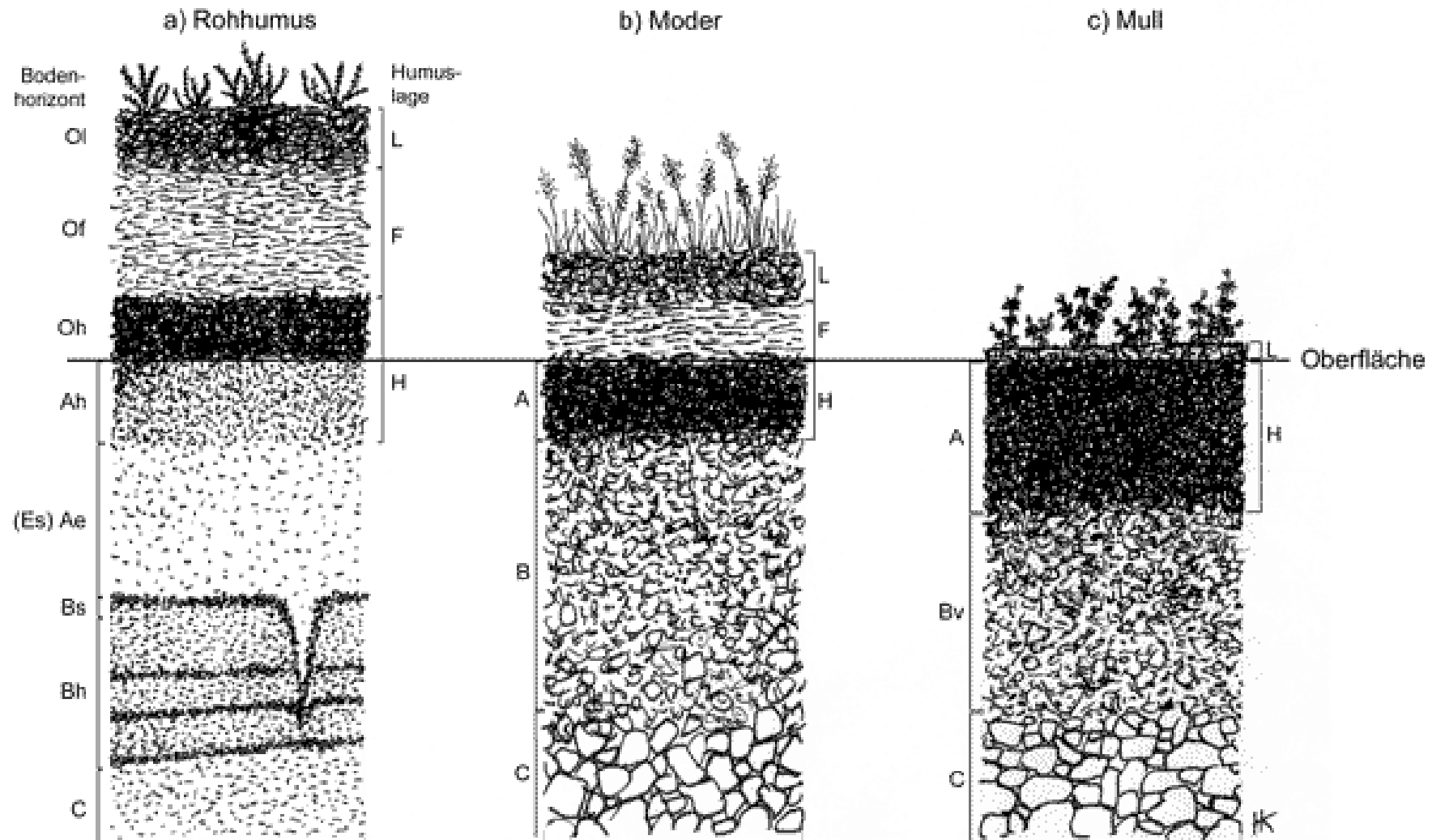
Kvalita půdní organické hmoty

- nukleární magnetická rezonance – NMR
- infračervená spektroskopie – FTIR, DRIFT ...

Oblasti spektra dle Keeler a Maciel (2000)	
Oblast (ppm)	Typ uhlíku
215-190	karbonylové strukturální jednotky ketonů (chinonů)
190-170	karboxylové skupiny nebo amidické karbonyly
170-150	aromatické uhlíky fenolů a fenolických esterů
150-135	alkylované aromatické uhlíky
135-100	protonizované a neprotonizované "můstkové" aromatické uhlíky
108-100	anomerický CH celulózy a hemiacetálové uhlíky
90-70	CH sekundárních alkoholů a dalších uhlíkových atomů vázaných na atom kyslíku
65-55	CH ₃ skupiny alifatických a aromatických ethyletherů a uhlíků aminokyselin
55-50	CH ₃ skupiny methylesterů karboxylových skupin
50-35	kvarterní uhlíky a CH uhlíky
35-25	CH ₂ alkylových jednotek a CH ₃ acetylových skupin
25-10	alkylové methyly



Organická hmota v půdě



Humifikační proces

- přeměny jsou postupné a jsou různé stupně rozkladu podle podmínek v půdě a působení organismů. Proto tedy můžeme hovořit o **vývojových stadiích humifikace, formách humusu**:
- **Mor** se tvoří za nepříznivých podmínek pro rozklad a transformaci humusu, převážně na kyselých, minerálně chudých půdách v chladném a vlhkém klimatu. K tvorbě moru přispívá kyselý opad jehličí a hromadění odumřelých částí acidofilních druhů rostlin přízemní vegetace. Na rozkladu organické hmoty se v rozhodující míře podílejí houby a plísňe. Činnost zooedafonu je značně omezená, většinou se vyskytují jen roztoči a chvostoskoci. Nedochozí k intenzivnějšímu prohumóznění svrchní části minerální půdy. Typický je plstovitý mykogenní horizont drti Fm, často propletený kořeny, s vrstevntou strukturou. Horizont měli H je nestrukturní, je většinou ostře oddělený od humózního horizontu A. Podobně je tomu i u hydrogenního humusového horizontu Oh.
- **Mul** vzniká za velmi příznivých podmínek pro rozklad a transformaci organických zbytků. Tvoří se pod listnatými nebo smíšenými porosty, hlavně v mírném až teplém klimatu, na půdách dobře zásobených živinami, propustných, na povrchu čerstvě vlhkých až vlhkých, někdy i přechodně zamokřených. Mul je charakteristický dobře vyvinutým humózním horizontem A, který bývá černohnědý až hnědočerný. Nad ním může ležet horizont opadanky L, někdy i zoogenní horizont Fz, případně zoogenní horizont měli Hz. Celková mocnost horizontů F a H je však menší než 2 cm. Organická hmota je do humózního horizontu A vpravována činností půdních organismů, obzvláště žížal. Důsledkem velmi intenzivní činnosti zooedafonu, bakterií a aktinomyct je rychlý rozklad organické hmoty, takže v určitém ročním období může humózní horizont A vystupovat až na povrch. Velké množství exkrementů půdních živočichů, především dešťovek, přispívá k tvorbě krupnaté až drobtovité struktury svrchní části humózního horizontu A.

Humifikační proces

- **Moder** zaujímá přechodné postavení mezi morem a mullem. Moru je podobný akumulací částečně až dobře humifikovaného organického materiálu na povrchu půdy. Mulu je podobný vyšší aktivitou půdní fauny a dominantní zoogenní dekompozicí v horizontu drti Fz. Tento horizont je většinou dobře vyvinutý a je tvořen částečně rozloženými rostlinnými zbytky, které mají nesoudržnou až kyprou strukturu. Exkrementy půdní fauny jsou časté. Hojně jsou členovci, dešťovky se mohou vyskytovat jen ojediněle. Pokud se vyskytuje mycelium hub, přispívá k tvorbě mírně vrstevnaté struktury. Většinou se vytváří i humusový horizont měli Hh. Je nestrukturní a bývá obohacen o minerální částice. Není ostře oddělen od humózního horizontu A. Moder vzniká v příznivějších klimatických a půdních podmínkách, než je tomu u moru, a to jak pod jehličnatými, tak pod listnatými porosty.

Oživení půd, typy organismů a jejich role v půdě

Oživení půd

Earthworms (?): Flandres ca. 1350
from. J. Rombke



Fig. VI.: The earliest known drawing of a tardigrade by Goeze in 1773.



JRC (2010): European Atlas of Soil Biodiversity.
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/atlas-soil-biodiversity>

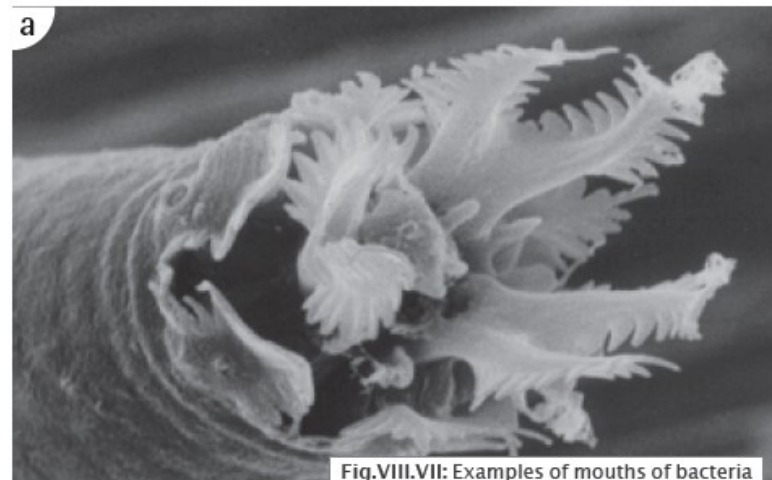
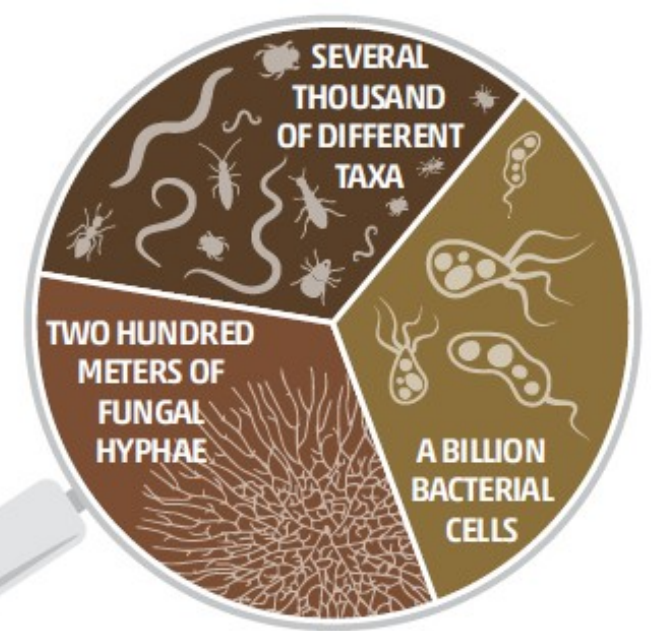


Fig.VIII.VII: Examples of mouths of bacteria feeding nematodes. (HvM)

Oživení půd

Půda je živá hmota !!!

1 g = vlastně celý ekosystém



ONE GRAM OF SOIL MAY CONTAIN



Food and Agriculture Organization of the United Nations

World Soil Day

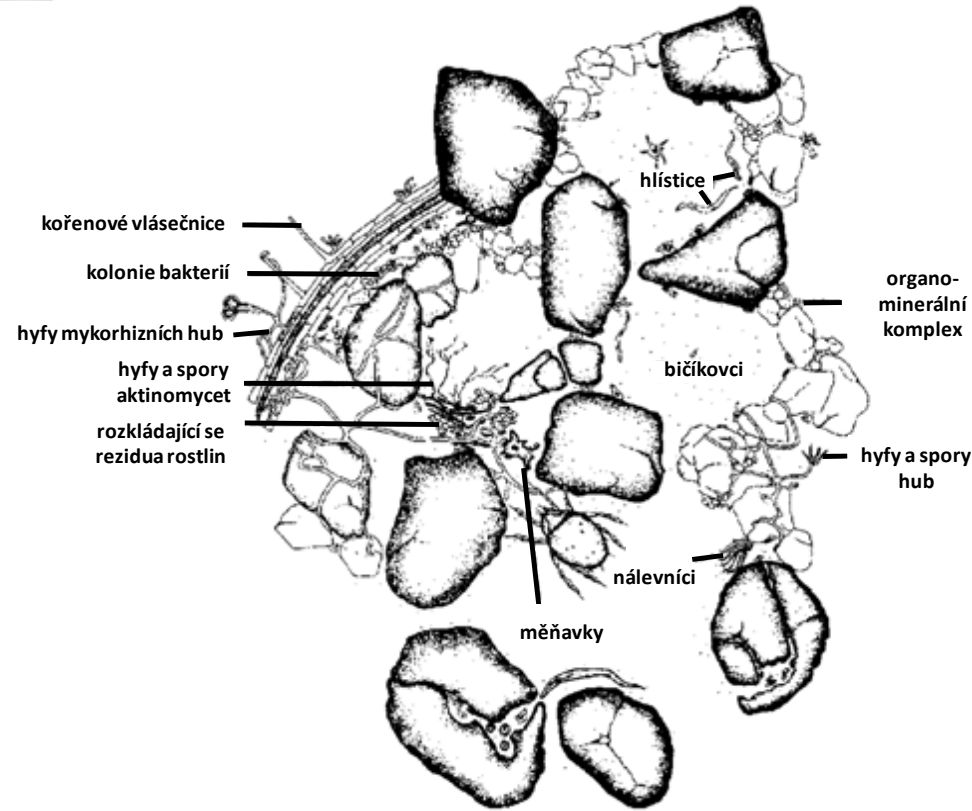
SOIL IS ALIVE!

Soil is home to more than 25% of our planet's biodiversity

25%

Yet, we know only 1% of this universe

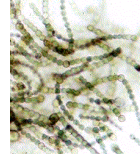
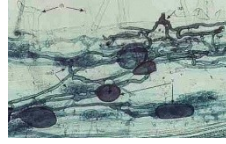
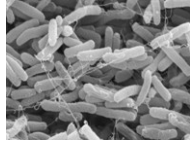
1%



FAO, ITPS, GSBI, SCBD and EC. 2020. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO.

<https://doi.org/10.4060/cb1928en>

Oživení půd



mikroorganismy:

90 % celkové biomasy a aktivit !

Table 2. Composition of a Soil of a Grassland on Dry Weight Base

Soil	{ mineral soil 94% organic matter 6%	{ dead org. m. 85% living org. m. 15%	{ living roots 8.5% edaphon 6.5%	bacteria + actinomycetes	50%
				fungi	25%
				worms	14%
				macrofauna	5%
				mesofauna	2.5%
				microfauna	3.5%

From Dunger, W., *Tiere in Boden*, Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 1984, 265 pp. With permission.

bezobratlí:

největší abundance mají hlístice, roztoči, chvostokoci, roupice,



Oživení půd

edafon = soubor organismů přítomných v půdě celými těly

- fytoedafon - řasy, bakterie, houby, aktinomycety
- zooedafon - prvoci, červi, měkkýši, savci, členovci
- euedafon – všechna stádia v půdě (žížala) - geobionta
- protoedafon – jen některá stádia (chroust) - geofila
- hemiedafon – může žít i mimo půdu (chvostoskok) - geofila
- pseudedafon – v půdě se jen ukrývají - geoxena
- tychedafon – v půdě jen náhodně (záplavy) - geoxena

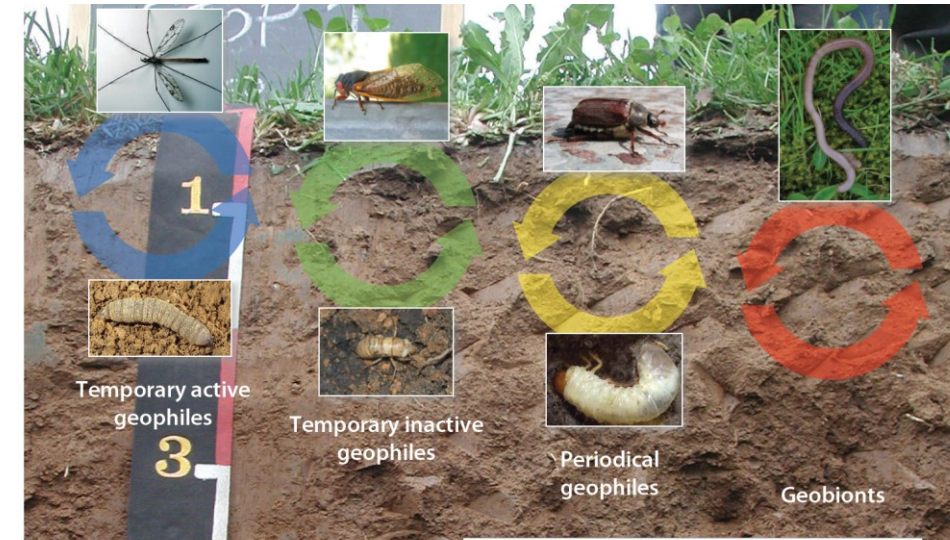


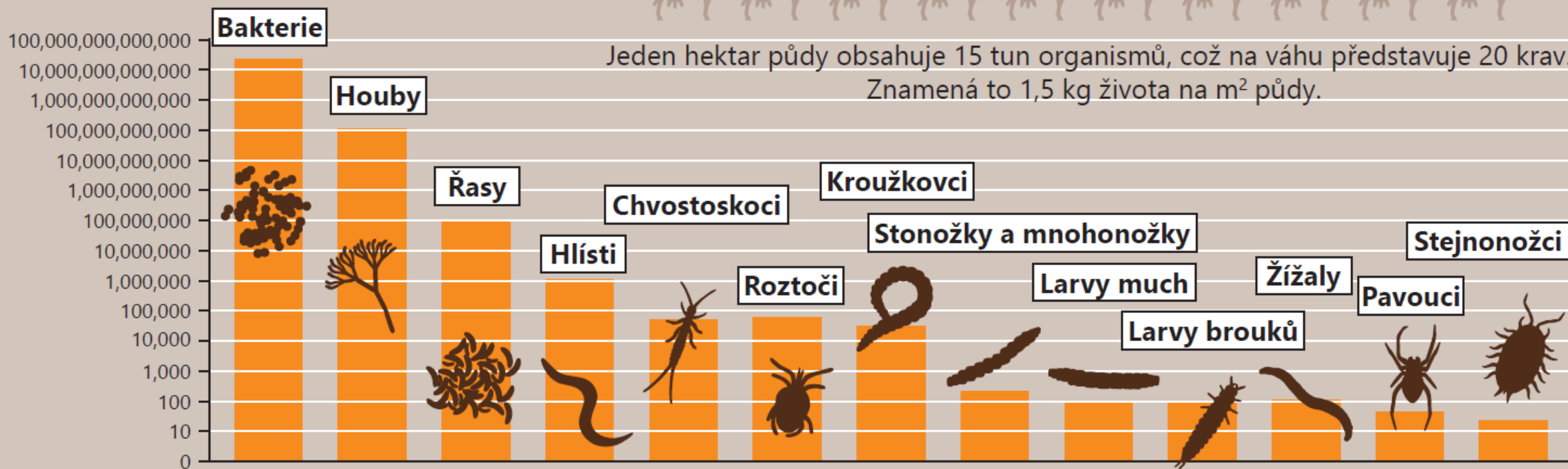
Fig. 7.10: The main four groupings that can be formed of soil invertebrates, depending on their life strategies and how closely they are linked with soil. The image contains examples of organisms from each group, showing both the larval and adult stages of each organism where applicable. Alternative terminology that is also used refers to temporary, transient and permanent edafon. The meanings are synonymous with those listed above. (A, D, LW and GY)

+ **orgány vyšších rostlin** - různorodý materiál, doplňování humusového materiálu

Oživení půd

PŮDY HEMŽÍCÍ SE ŽIVOTEM

Počet živých organismů v 1 m³ svrchní půdy v mírném klimatu, logaritmické měřítko



Oživení půd

	Ag Land	Prairie	Forest
Organisms per gram (teaspoon) of soil			
Bacteria	100 mil. -1 bil.	100 mil. -1 bil.	100 mil. -1 bil.
Fungi	Several yards	10s – 100's of yds	1-40 miles (in conifers)
Protozoa	1000's	1000's	100,000's
Nematodes	10-20	10's – 100's	100's
Organisms per square foot			
Arthropods	< 100	500-2000	10,000-25,000
Earthworms	5-30	10-50	10-50 (0 in conifers)

Šimek (2020): Bez půdy to nepůjde. ISBN 978-80-86668-59-8

https://www.bc.cas.cz/Cds/Download/?filena=8135_FINALNI_Brozura_Bez_pudy_to_nepujde_WEB

Skupina	Abundance (jedinci.m ⁻²)		Biomasa (g.m ⁻²)	
	průměrná	za příznivých podmínek	průměrná	za příznivých podmínek
prokaryota (bakterie a archea)	10 ¹⁴	10 ¹⁶	100	700
aktinobakterie	10 ¹³	10 ¹⁵	100	500
houby (délka vláken)	10 ¹¹	10 ¹⁴	100	1000
řasy	10 ⁸	10 ¹¹	20	150
prvoci	10 ⁸	2 x 10 ¹⁰	5	150
ploštěnky	10 ³	2000	0,02	0,04
vířníci	10 ⁴	10 ⁶	0,01	0,3
želvušky	10 ³	10 ⁵	0,01	0,05
hlístice	10 ⁶	10 ⁸	5	50
roztoci	7 x 10 ⁴	4 x 10 ⁵	0,6	4
chvostoskoci	5 x 10 ⁴	4 x 10 ⁵	0,5	4
hmyzenky	300	3000	0,003	0,03
vidličnatky	50	300	0,0005	0,003
roupice	3 x 10 ⁴	3 x 10 ⁵	5	50
žížaly	100	500	30	200
plži	50	1000	1	30
pavouci	50	200	0,2	1
štírci	30	100	0,01	0,03
stonožky	30	300	0,4	2
mnohonožky	50	500	1,5	10
drobnušky a stonožky	100	2000	0,05	1
stejnonožci	30	200	0,4	1,5
plazivky (klanonožci)	10 ³	3 x 10 ³	0,2	0,6
brouci vč. larev	100	600	1,5	20
larvy dvoukřídlých	100	1000	1	15
ostatní hmyz vč. larev	150	15 000	1	15
obratlovci	0,01	0,1	0,1	10

Oživení půd

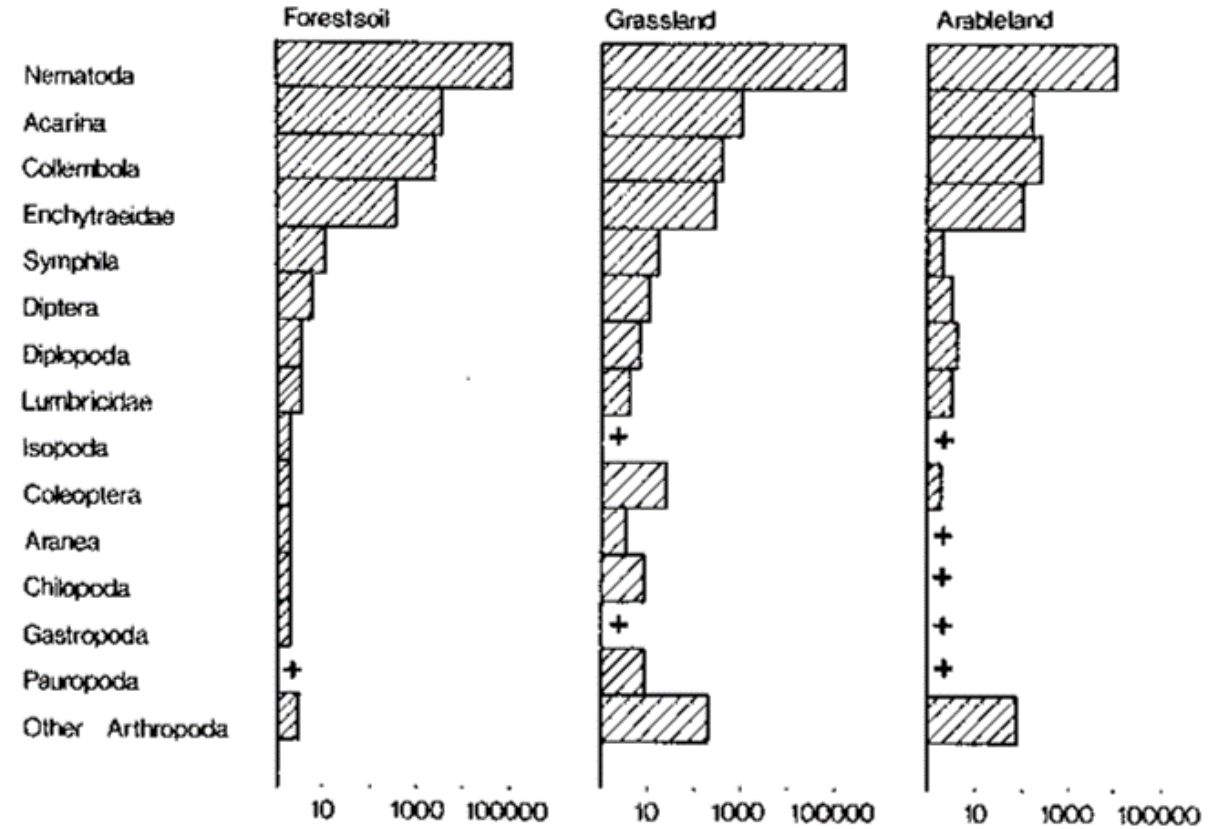
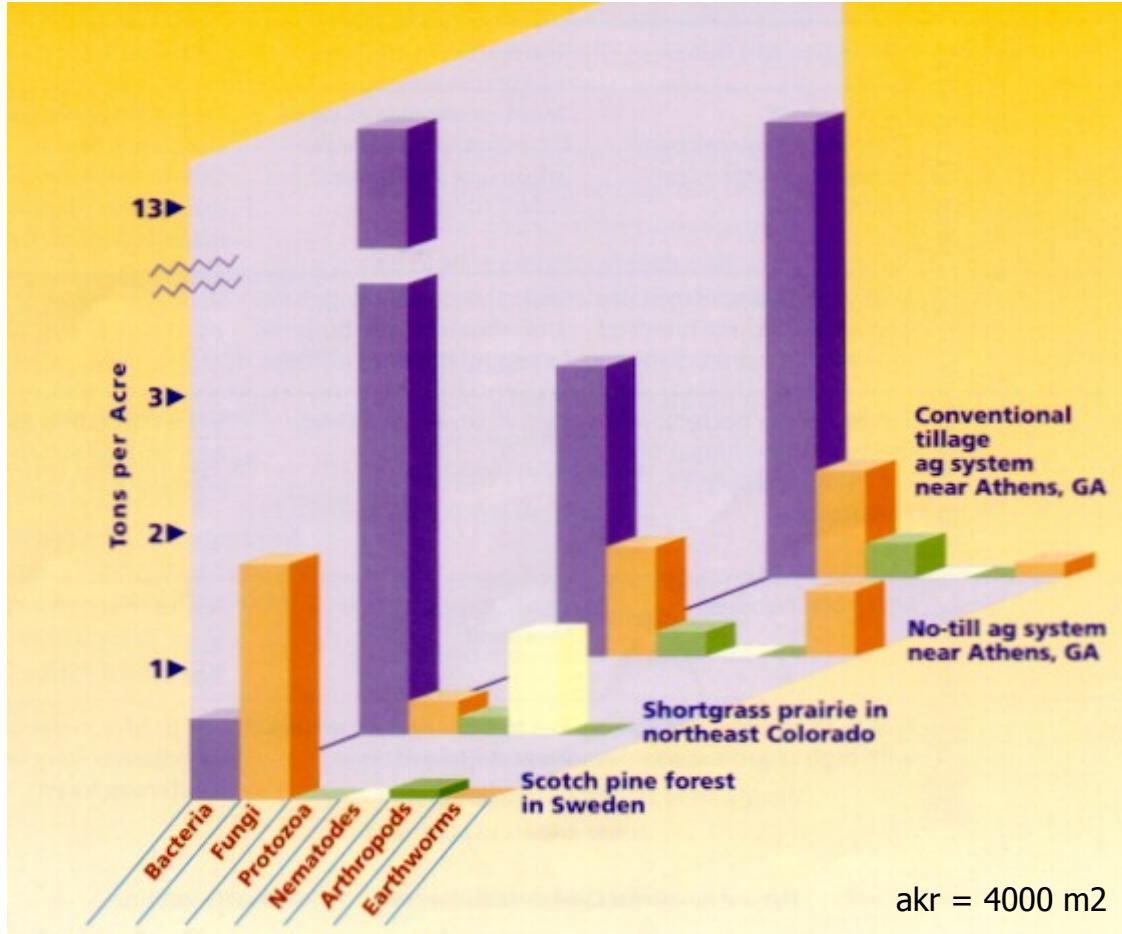


FIGURE 3. Mean composition of the soil fauna in a forest, meadow, and arable soil (mean numbers per dm² for the 0- to 30-cm layer; + means present). (From Eijsackers, H. and Van de Bund, C.F., in *Interactions Between Herbicides and the Soil*, Hance, R.J., Ed., Academic Press, London, 180, 255. With permission.)

Oživení půd

- není rovnoměrné

Fig. 1.2: This highly simplified figure aims to give some idea of the distribution of organisms vertically through the soil profile. It is clearly an oversimplification and in fact microorganisms such as bacteria (c) and protozoa (e) are distributed throughout the soil profile, although with the highest biomass being found near the soil surface which is richer in organic matter. The two collembolans are adapted for living at different soil depths with the species shown in (a) being more adapted for living on or near the soil surface and that shown in (b) being more adapted to living at deeper levels. These differences are discussed in more detail in Section IX. Earthworms are also found in greater numbers closer to the soil surface but can also be found down to depths of 1 metre or more and form three different ecological groups which are discussed in more detail in Section XIII. Fungi are also found throughout the soil profile but are particularly common close to the soil surface where there is higher concentrations of organic matter as well as numerous plant roots with which they can form symbiotic relationships (f). This figure only shows a very few selected organisms. Many more organism groups make the soil their home as this atlas will make clear. (JRC)



JRC (2010): European Atlas of Soil Biodiversity.
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/atlas-soil-biodiversity>

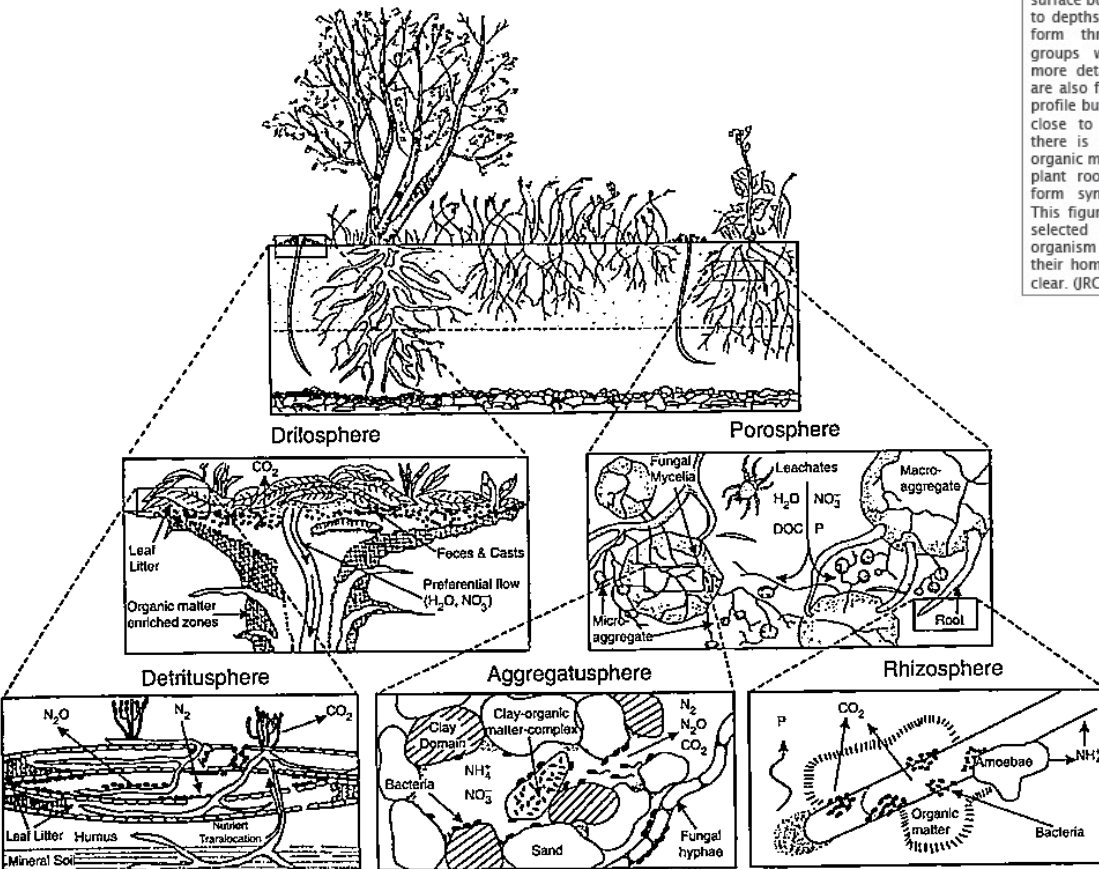


FIGURE 6.4. Arenas of activity in soil systems. These “hot spots” of activity may be less than 10% of the total soil volume, but represent more than 90% of the total biological activity in most soils worldwide (from Beare *et al.*, 1995, reprinted with permission).

Bargett R. (2005): The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach. ISBN 9780198525028

Velikost půdní bioty

Community

the UN FAO, 2020

MEGAFUNA
Toads, moles, beavers, rabbits and badgers are the principal agents of soil turnover and distribution.

MACROFAUNA
Several centimeters
Earthworms, termites, ants, millipedes and woodlice help with soil drainage and aeration.

MESOFUNA
Less than 2 mm
Microscopic invertebrates such as collembolans, diplura, proturans, nematodes, mites and tardigrades are biological regulators of decomposition.

MICROFAUNA AND MICROORGANISMS
1-100 Micrometers
Bacteria, protozoans, fungi and nematodes are the smallest and most numerous organisms in the soil. That are responsible of biogeochemical processes.

Table 1.1: The soil biota can be divided into three groups.

Smaller Larger

Microfauna/flora

Size range 1-100 μm

Bacteria

100 billion cells from
10,000 species

Fungi

50 km of hyphae from 100's
of species

Protozoa

100,000 cells from 100's of
species

Nematodes

10,000 individuals from
100's of species

Mesofauna

Size range 100 μm – 2 mm

Tardigrades

Collembola

Mites

Combined 1,000's individuals
from 100's of species

Macro/Megafauna

Size range > 2 mm

Earthworms

Ants

Woodlice

Centipedes

Amphibians and reptiles

Mammals

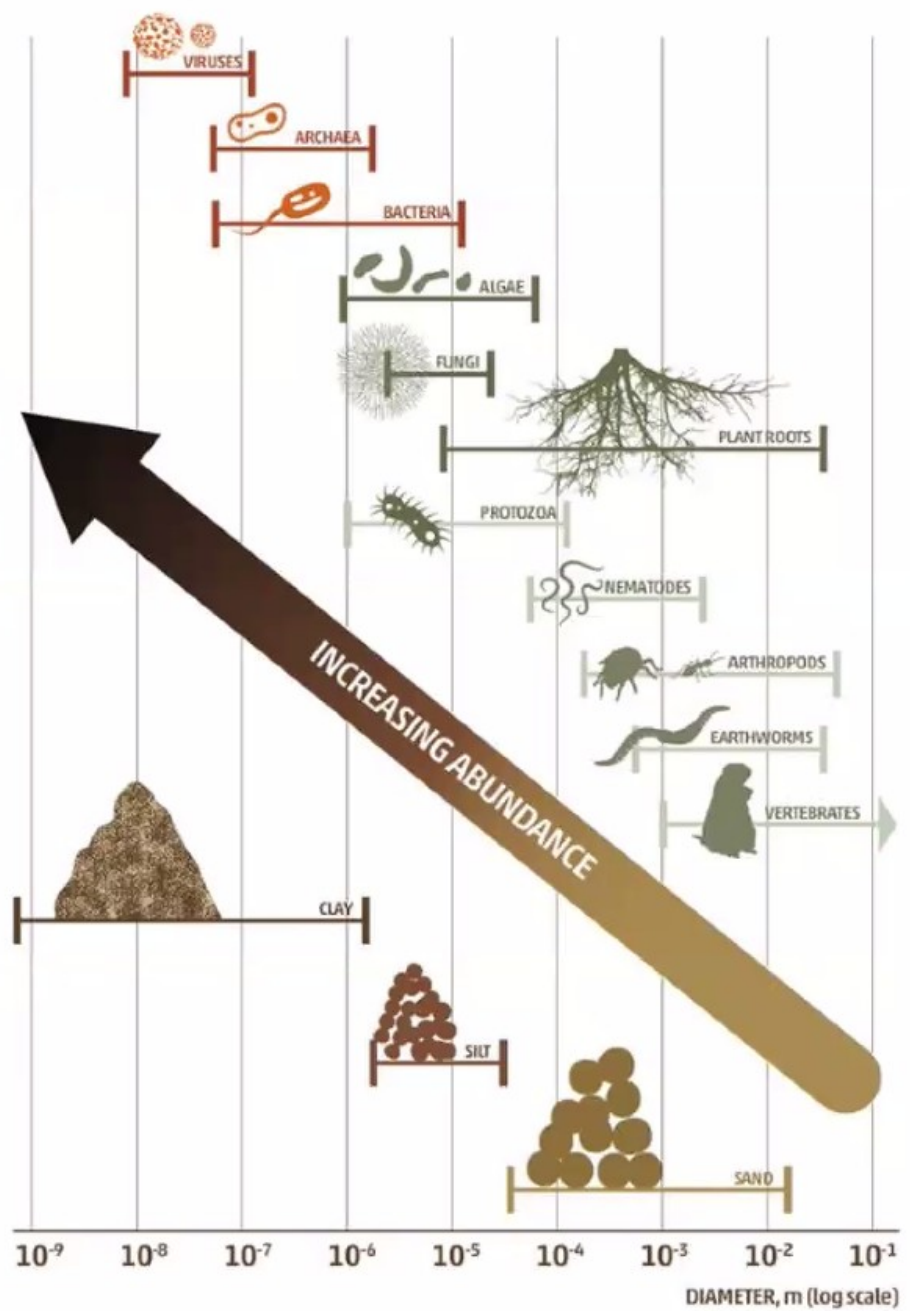
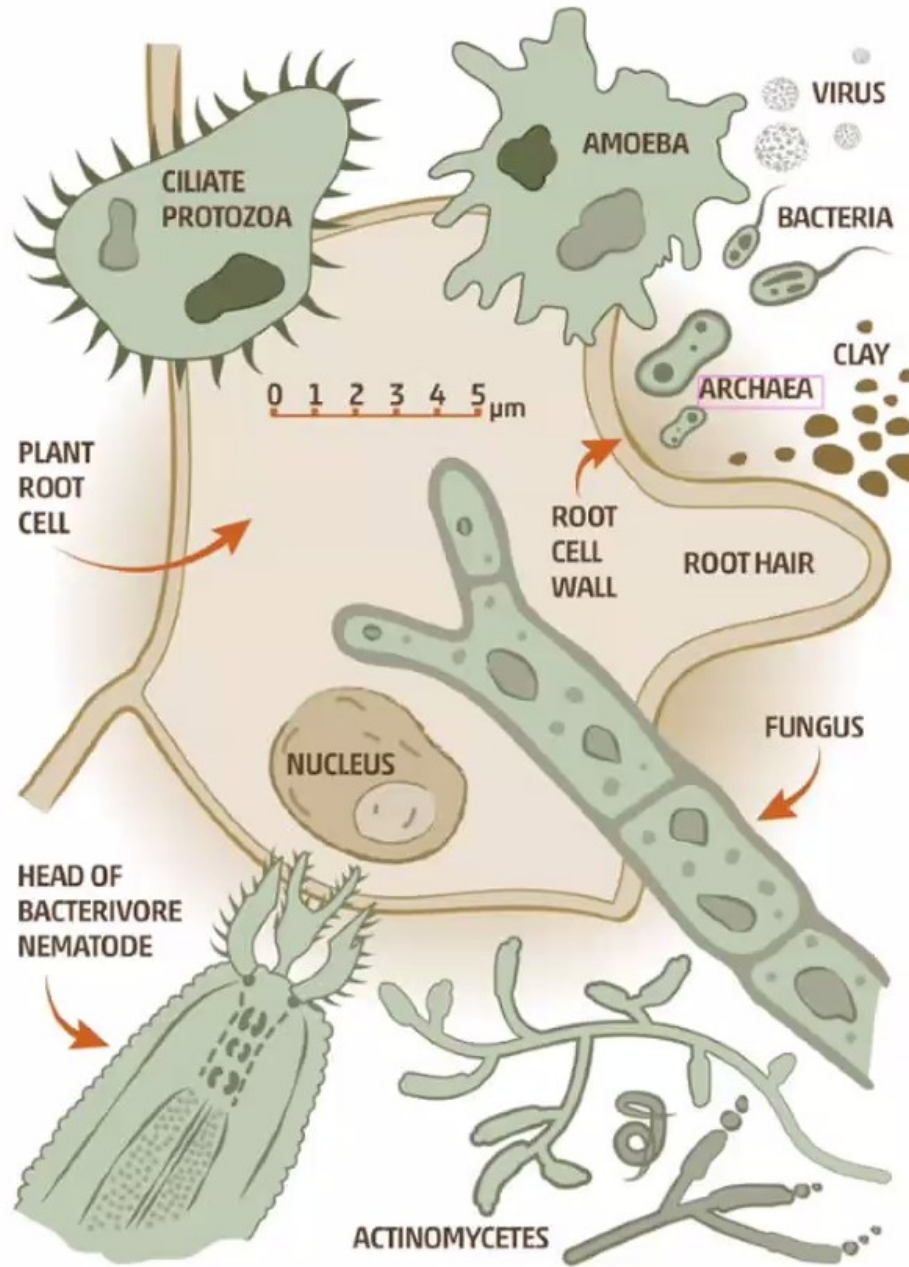
Birds

Combined 100's individuals
from 10's of species

JRC (2010): European Atlas of Soil Biodiversity.

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/atlas-soil-biodiversity>

Velikost půdní bioty



Skladba půdního oživení

- 1) Producenti** – autotrofní organismy – vychází z minerálních látek a energii získávají ze světla – fotoautotrofie (vyšší rostliny, sinice, řasy) či oxidace anorganických látek – chemolitotrofie (některé bakterie)
- 2) Primární konzumenti** – fytofágie, fytotrofie – konzumují rostlinnou biomasu (různé larvy, brouci, krtonožky, někteří pavouci a roztoči, rostlinní parazité - hlístice)
- 3) Sekundární konzumenti** – karnivoři, predátoři – požírají fytotrofní organismy – dravý hmyz, pavouci a roztoči, stonožky
- 4) Rozkladači, destruenti, saprofágové** – živí se odumřelým organickým materiálem – v půdě nejpočetnější skupina – dekompozice - koloběh prvků a látek

Skladba půdního oživení

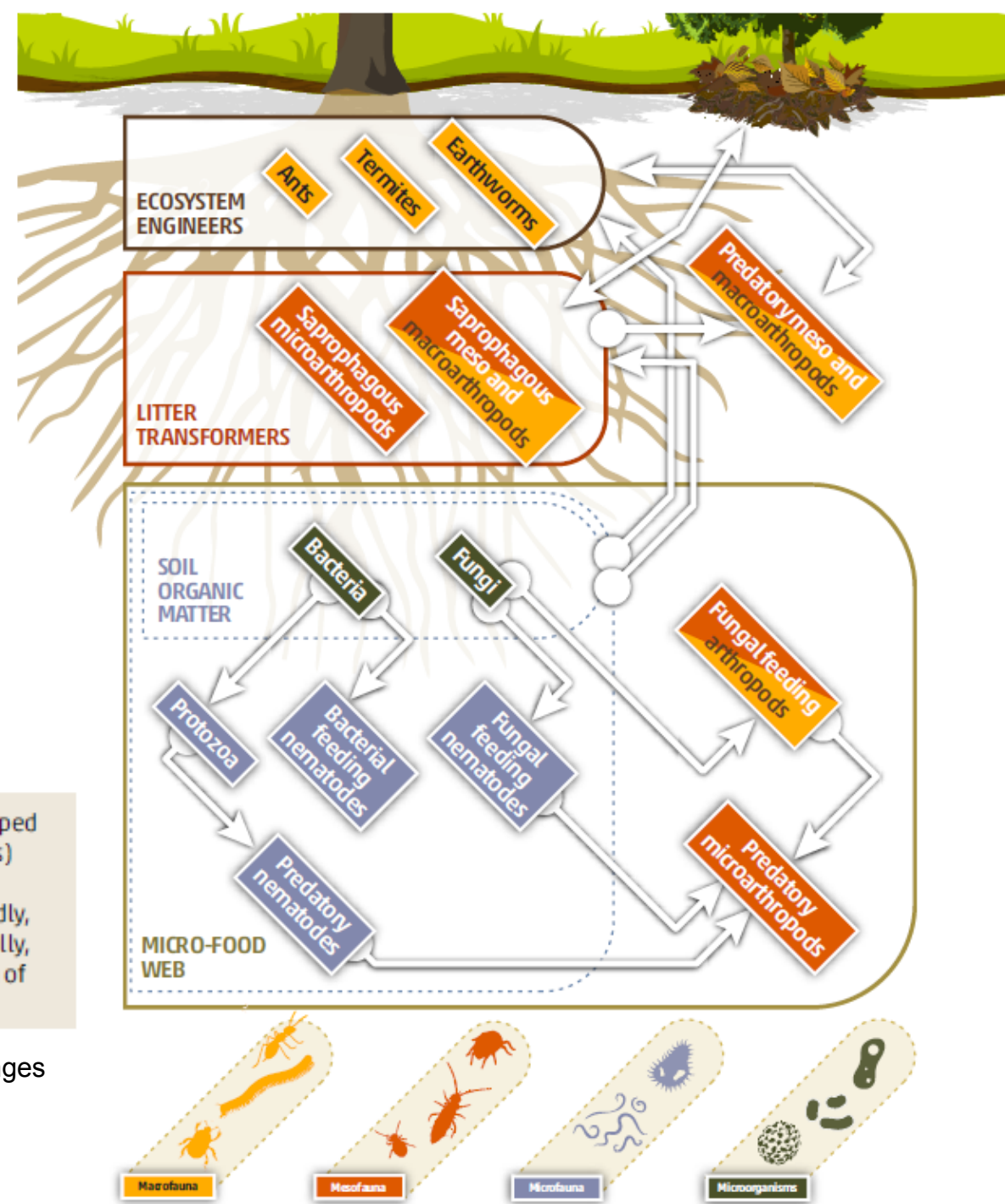


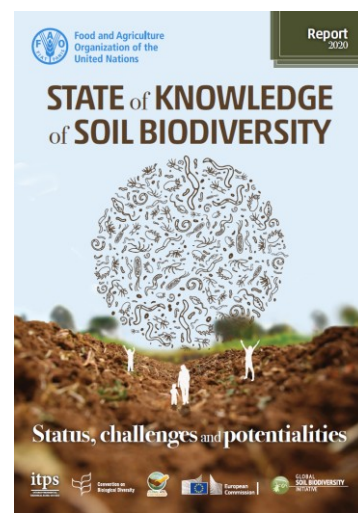
Figure 2.2.2 (previous page) | Organization of the soil food web

Simplified model of the different groups of soil organisms: microorganisms, micro, meso and macrofauna grouped into three categories in the food web and its functional differentiation. Firstly, the micro-food web (dotted lines) includes bacteria and fungi, which are at the base of the food web and decompose soil organic matter, which represents the basic resource of the soil ecosystem, and their direct predators, protozoa and nematodes. Secondly, litter transformers include microarthropods that fragment litter, creating new surfaces for microbial attack. Finally, ecosystem engineers, such as termites, earthworms and ants, modify soil structure by improving the circulation of nutrients, energy, gases and water. Adapted from Coleman and Wall, 2015.

FAO, ITPS, GSBI, SCBD and EC. 2020. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>

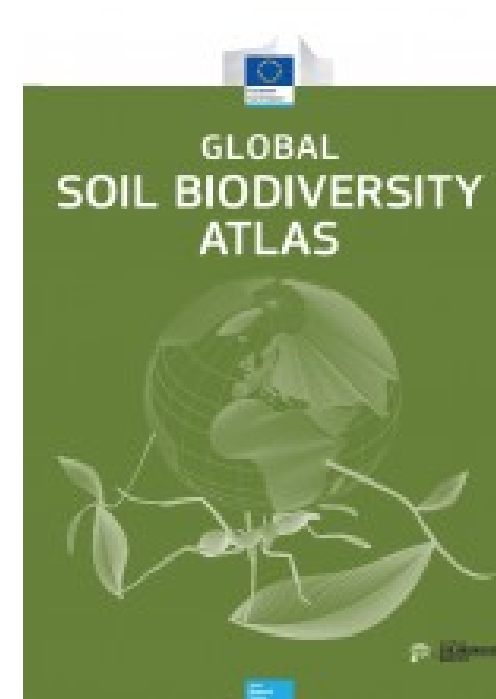
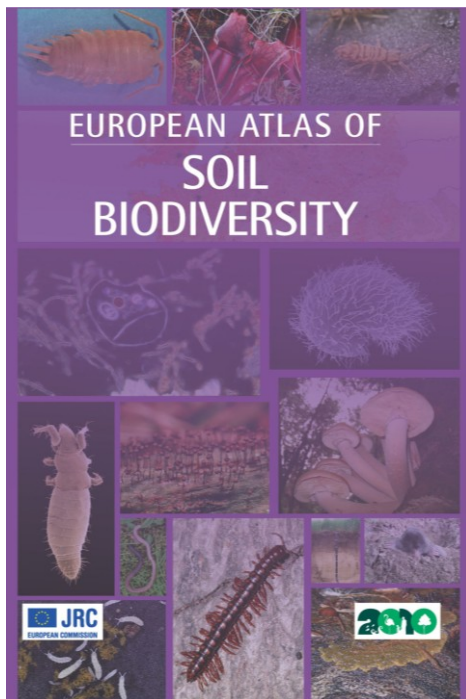
Skladba půdního oživení

- FAO, ITPS, GSBI, SCBD and EC. 2020. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- <https://www.globalsoilbiodiversity.org/>



Skladba půdního oživení

- JRC (2016): Global Soil Biodiversity Atlas.
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-biodiversity-atlas>
- JRC (2010): European Atlas of Soil Biodiversity.
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/atlas-soil-biodiversity>



Skladba půdního oživení

- Šimek M. (2019): Živá půda. Academia. ISBN 9788020029768



Funkce bioty v půdě

PŮDNÍ BIOTA = PŘEDPOKLAD PŮDY

Již v původní definici půdy zakladatele pedologie Dokučajeva je činnost půdních organismů chápána jako **klíčová pro vznik a fungování půdy**

Biota je v půdě nezbytná pro:

- ekosystémové funkce půdy
- půdotvorné procesy
- půdní úrodnost
- dekompozice a přeměny organické hmoty
- cykly živin
- vodní a vzdušný režim půd
- atd. atd.

Funkce bioty v půdě



Funkce bioty v půdě

TABLE 4.12. Influences of Soil Biota on Soil Processes in Ecosystems

	<i>Nutrient cycling</i>	<i>Soil structure</i>
Microflora	Catabolize organic matter Mineralize and immobilize nutrients	Produce organic compounds that bind aggregates Hyphae entangle particles onto aggregates
Microfauna	Regulate bacterial and fungal populations Alter nutrient turnover	May affect aggregate structure through interactions with microflora
Mesofauna	Regulate fungal and microfaunal populations Alter nutrient turnover Fragment plant residues	Produce fecal pellets Create biopores Promote humification
Macrofauna	Fragment plant residues Stimulate microbial activity	Mix organic and mineral particles Redistribute organic matter and microorganisms Create biopores Promote humification Produce fecal pellets

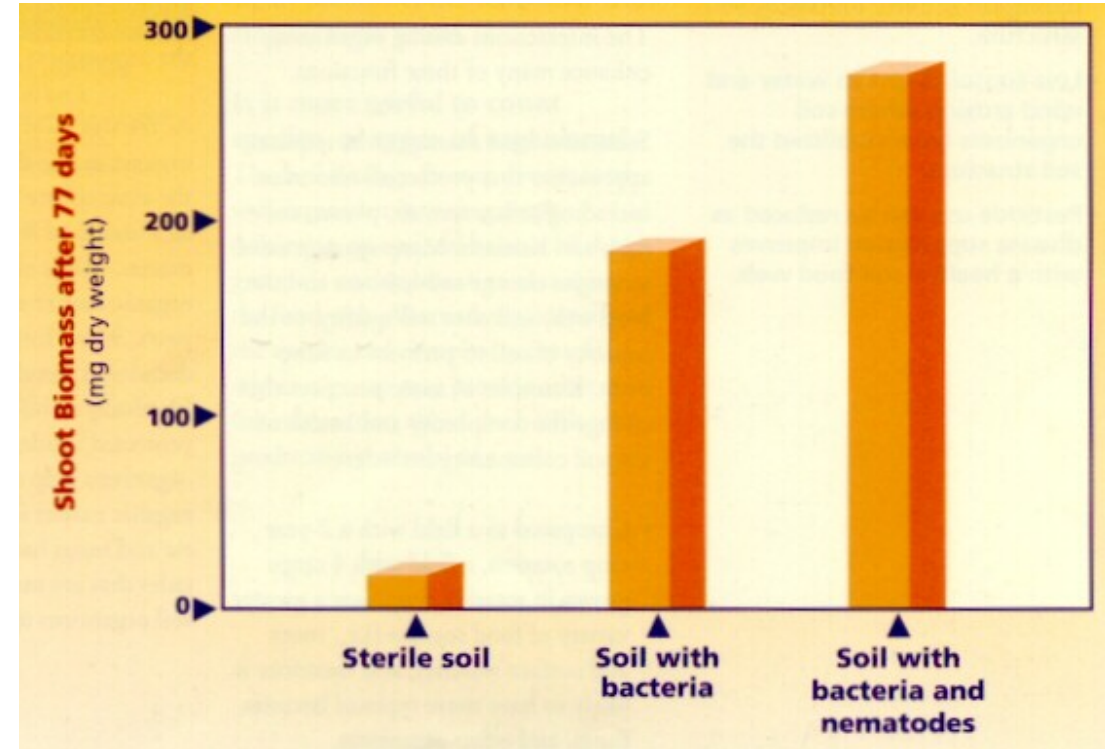
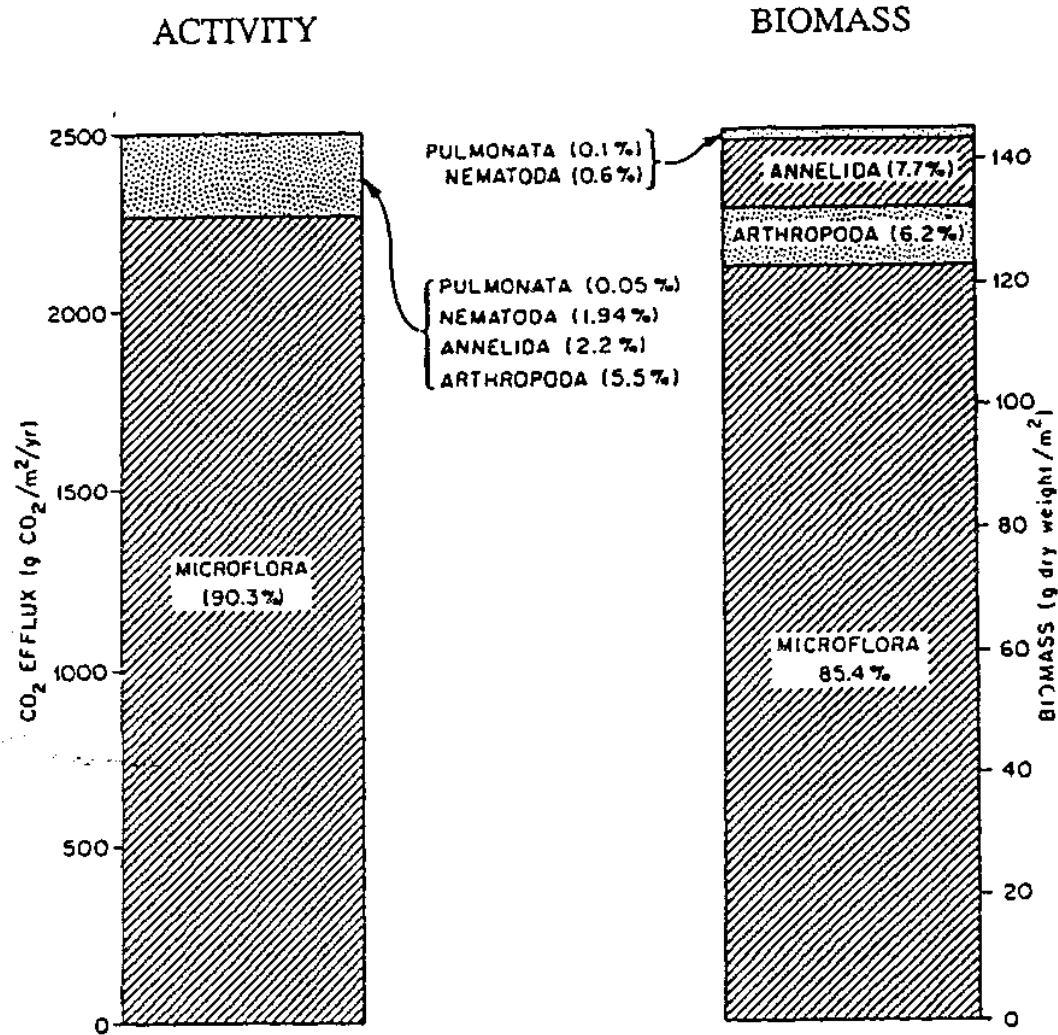
From Hendrix *et al.*, 1990.

Funkce bioty v půdě

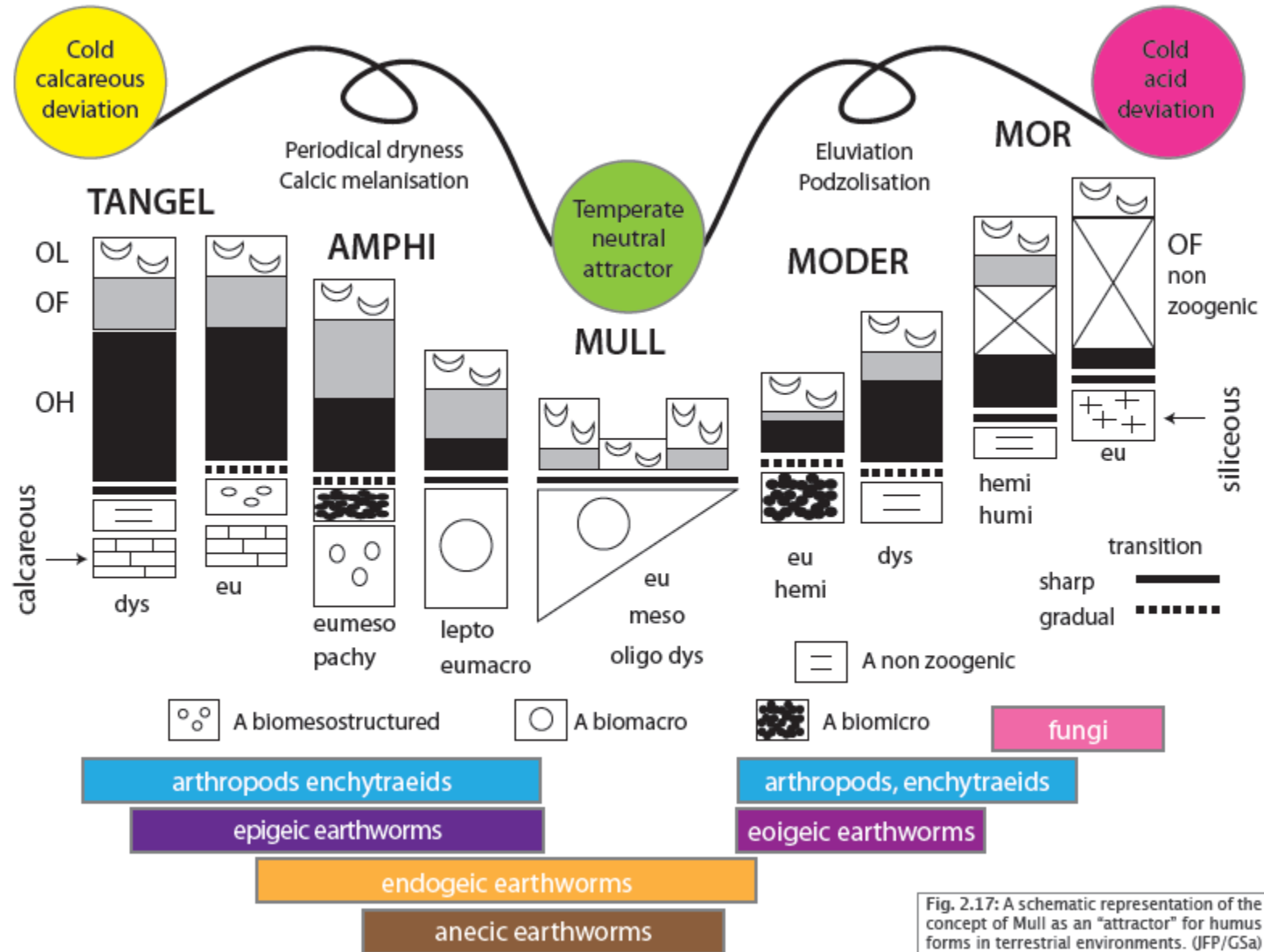
Dekompozice

- **Půdní fauna** – mechanické zpracování mrtvé organické hmoty: rozmělnění, zvětšení povrchu, promíchání s minerálními částicemi (i vlastním průchodem přes trávící trakt), transport v půdě, umožnění vzniku organominerálního komplexu a půdní struktury
- **Mikroorganismy** – rozklad a mineralizace organické hmoty (opad, odumřelé kořeny, dřevo, odumřelá těla živočichů a mikroorganismů ...) na jednodušší sloučeniny a minerální látky, které jsou přístupné pro primární produkci
- Obě skupiny jsou velmi propojené v potravních a dalších vztazích

Funkce bioty v půdě



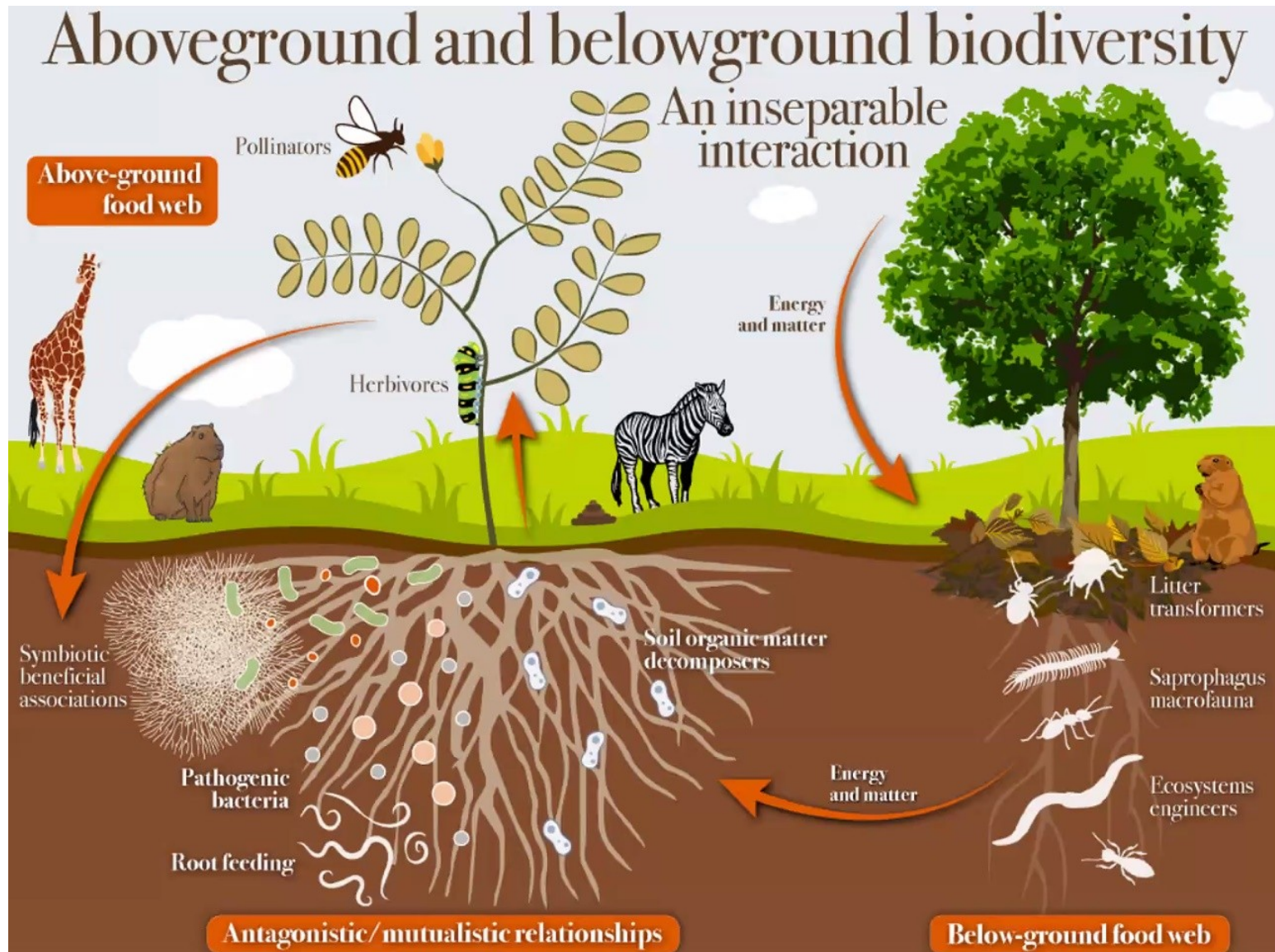
Funkce bioty v půdě



JRC (2010): European Atlas of Soil Biodiversity.
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/atlas-soil-biodiversity>

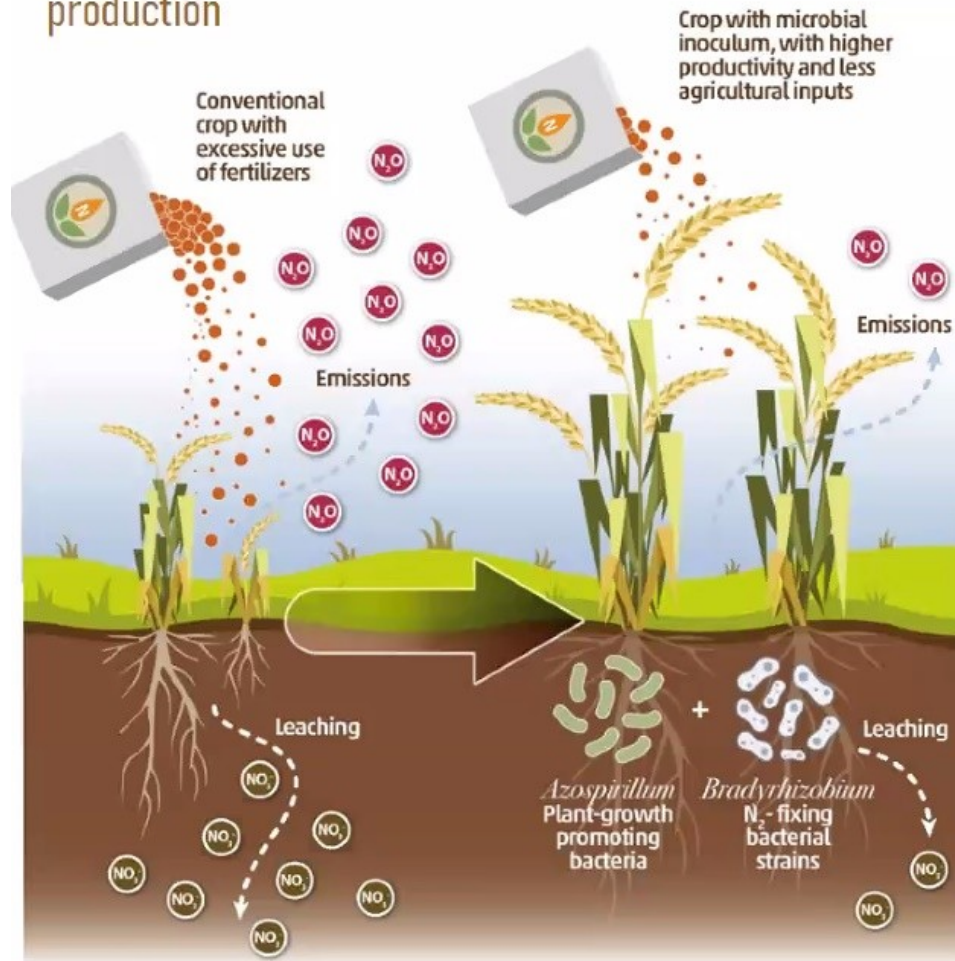
Fig. 2.17: A schematic representation of the concept of Mull as an "attractor" for humus forms in terrestrial environments. (JFP/GSa)

Funkce bioty v půdě

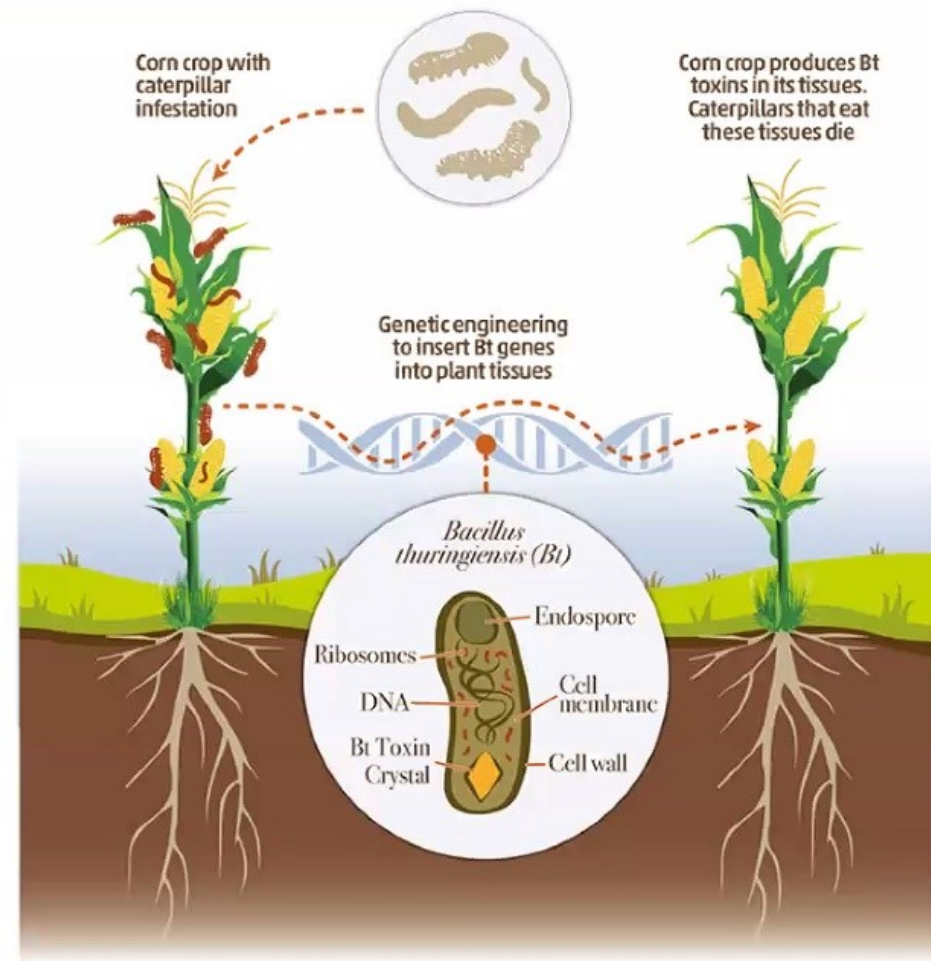


Funkce bioty v půdě

Clean biotechnology in agricultural production

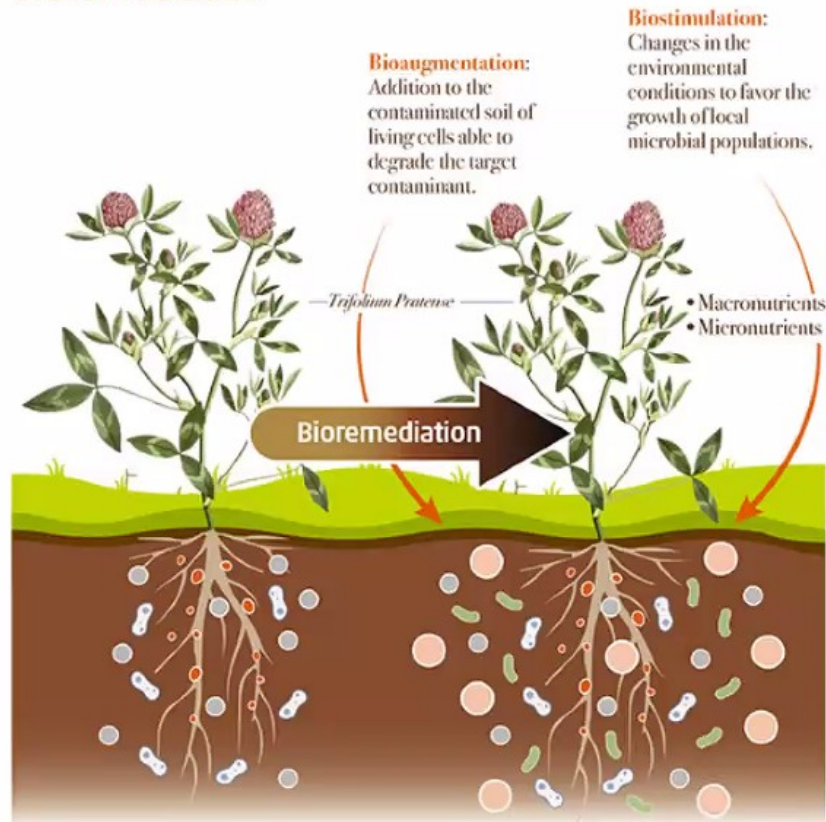


Biological control



Funkce bioty v půdě

Bioremediation



Indigenous bacteria



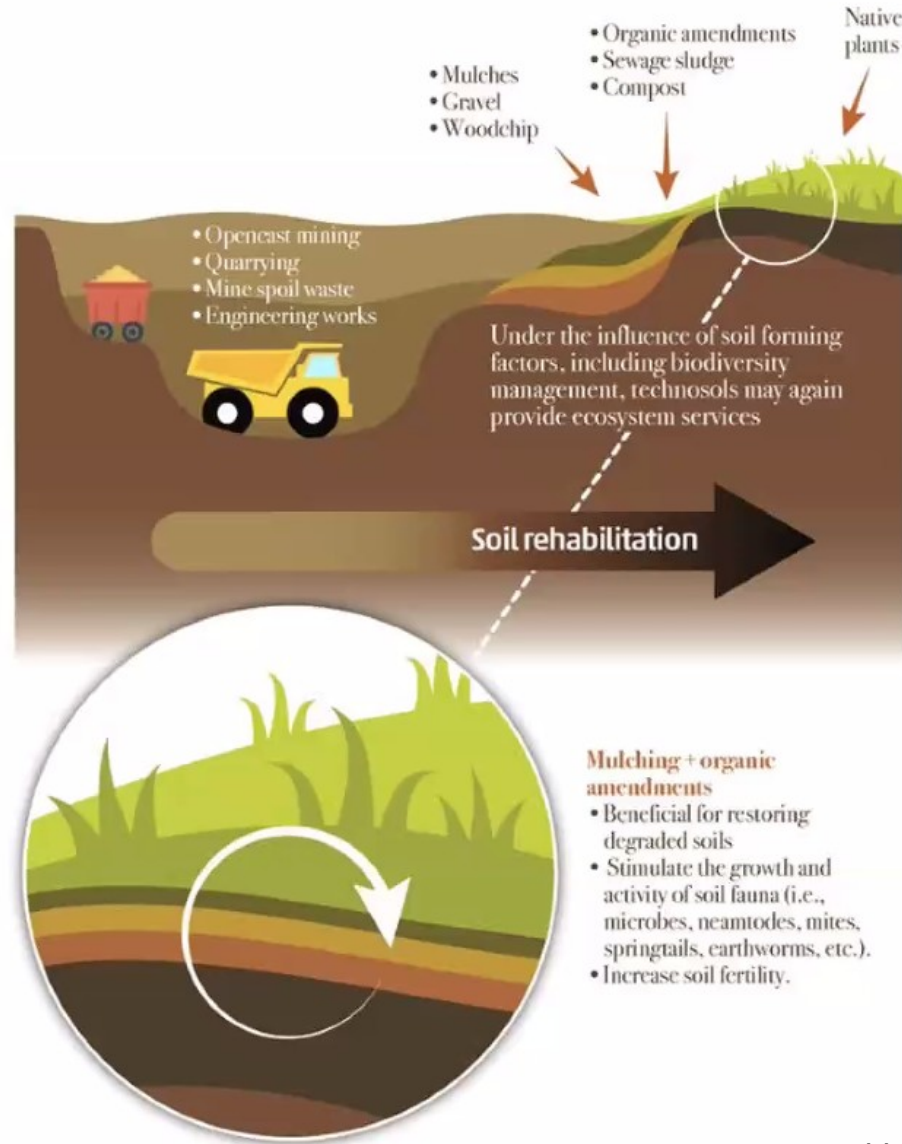
Exogenous bacteria



Contaminant agent



Various forms of limiting nutrients



Funkce bioty v půdě



- The discovery of antibiotics has had a major impact on increasing human life expectancy.
- The early exposure to a diverse collection of soil microorganisms might help prevent chronic inflammatory diseases, including allergy, asthma, autoimmune diseases, inflammatory bowel disease and depression.

PK From PRAVESH KUMAR to Everyone
India give the strong message to all for soil conservation and

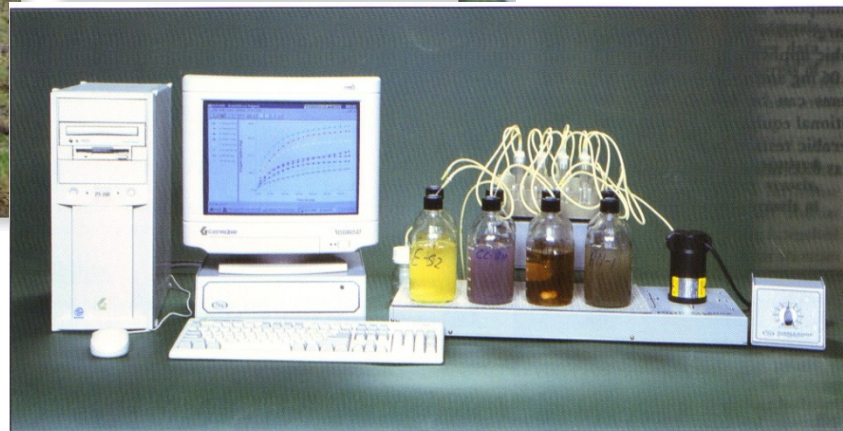
Řada různých metod

Table 5-1: Simple indicators of soil biodiversity. Meas.= measurability

Functional group	Organisms	Indicator	Method	Standard	Sensitivity to soil type	Sensitivity to land use	Meas..
Microbial Decomposers	Microorganisms	Biomass / activity	SIR, fumigation-extraction ATP concentration, initial rate of mineralisation of glucose	Yes Yes	Good	Good	Good
		Activity	Respiration rate/quotient/ratio, Nitrification, N mineralisation, C mineralisation Denitrification N-fixation Mycorrhizae (% of root colonised)	Yes Yes No No No	Good Medium Medium Good Good	Medium Medium Medium Medium Good	Good
		Enzymatic activity	Dehydrogenase activity Other enzymatic activity tests: phosphatase, sulphatase, etc. Enzyme index	Yes No No	Good Good Very good	Good Good Very good	Medium Good
		Diversity	Culture-dependent methods: direct count, community-level physiological profiles Culture independent methods: fatty acids analysis, nucleic acid analysis	No No	Poor Poor	Poor Very good	Good Good (technical)
Biological regulators	Protists, nematodes	Abundance and Diversity	Culture-dependent methods: direct count (diversity index, functional or trophic diversity) Culture independent methods: fatty acids analysis, nucleic acid analysis	Yes	Good	Very good	Low (time, expertise)
	Microarthropods (springtails, mites)	Counting	Litter-bag technique (colonisation capacity) Soil coring	No	Good	Good	Low (time, expertise)
		Abundance and Diversity	Community composition, ecological groupings	Yes	Very good	Very good	Low (time, expertise)
Soil ecosystem engineers	Earthworms, isopods	Abundance Diversity	Species richness, diversity, evenness	Yes (ongoing)	Very good	Good	Good (low expertise, simple)

Řada různých metod

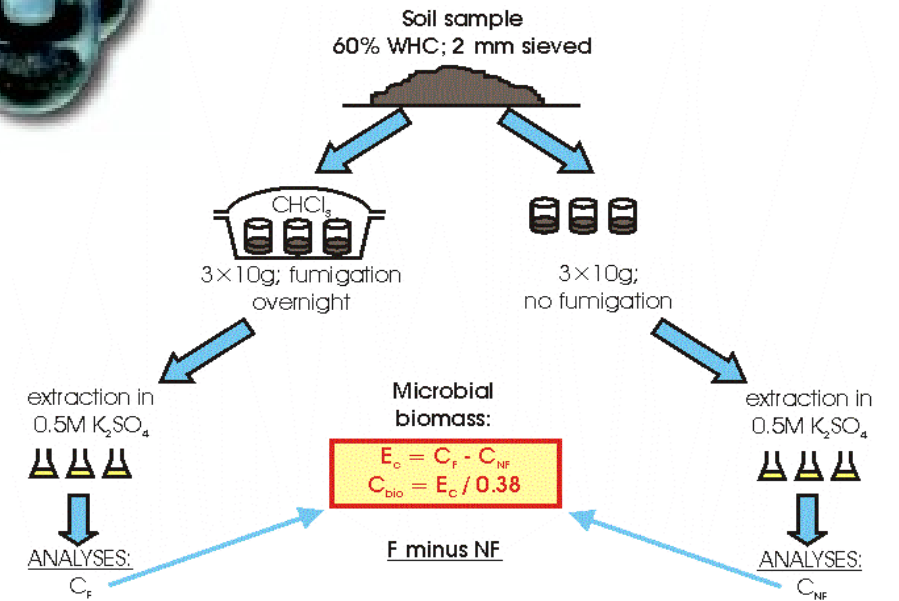
Advantağ
Disadvan
use in stc



Example of operation using IMC... increasing results



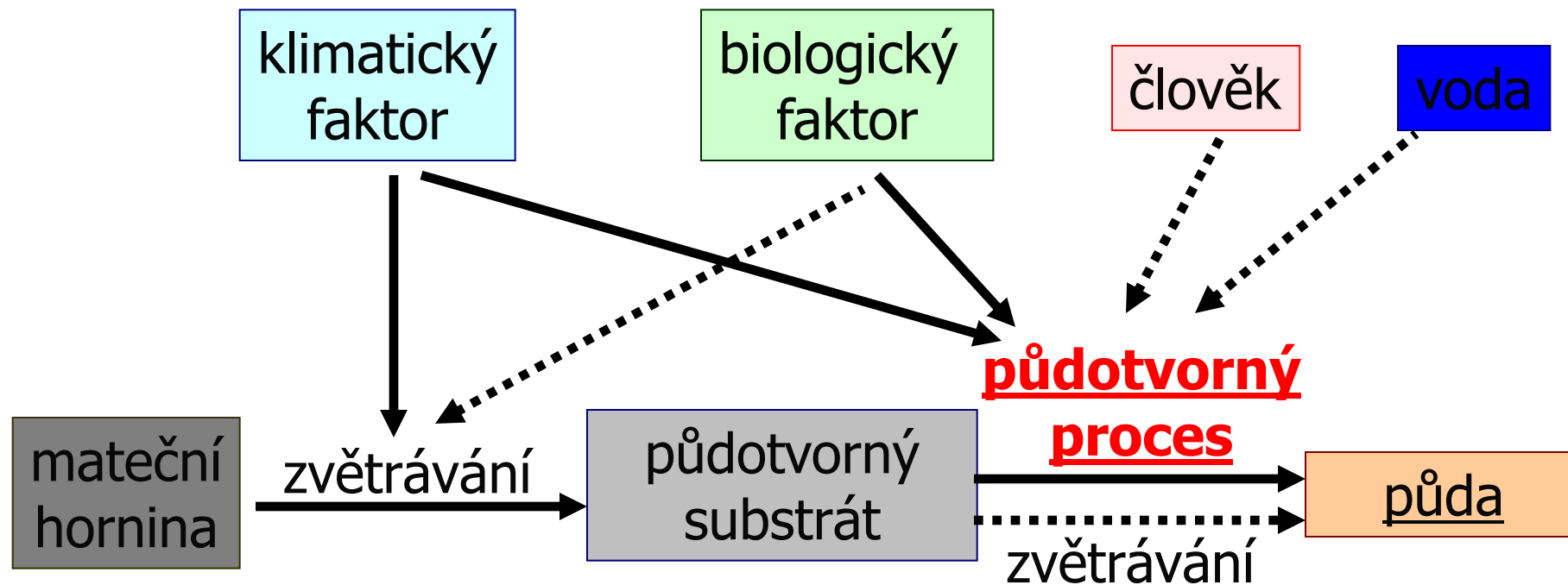
Fig. 8.10: Collection of microarthropods using the Berlese-Tullgren funnel method. (CG)



Půdotvorný proces, půdní profil, horizonty, klasifikace půd

Půdotvorný proces

- zvětrávání (zejména kombinace mechanických a chemických procesů) vede ke vzniku půdotvorného substrátu a není ještě zahrnováno do půdotvorného procesu
- půdotvorný proces zahrnuje významně činnost organismů



Podmínky půdotvorného procesu: - čas (100' až 1000' let)
- reliéf (např. svah)

Půdotvorný proces

- působí dohromady řada faktorů (čas, matečná hornina, voda, klima, živé organismy, vegetační kryt, nadmořská výška, zeměpisná poloha, reliéf, člověk) a procesů
- každý půdotvorný proces je nepřetržitý, nekončí vznikem půdního typu, ale je jeho součástí
- dynamické a komplikované procesy, které se mění tak, jak se mění podmínky vývoje půd
- výsledkem je **kvazistacionární stav dané půdy**

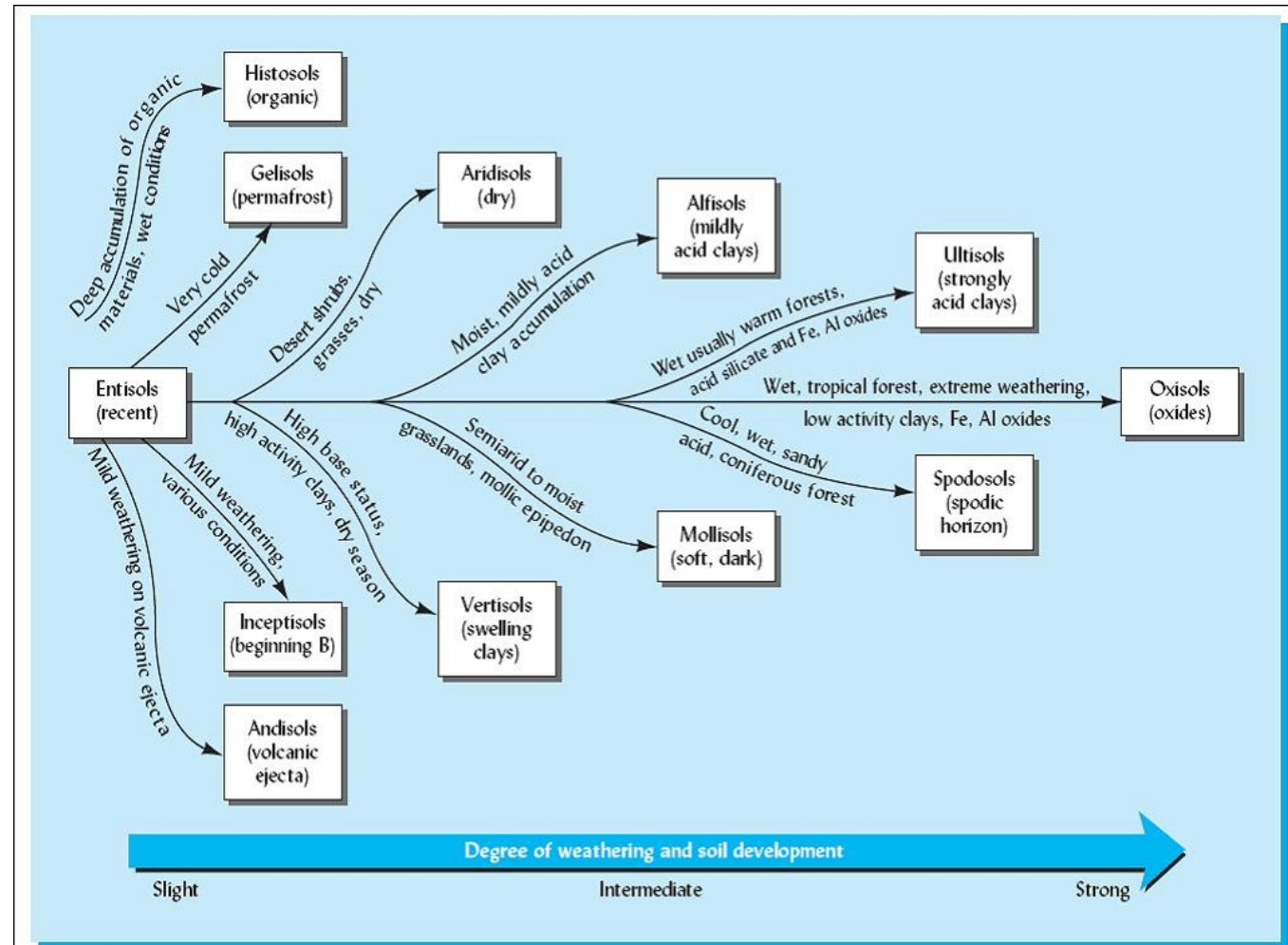


FIGURE 3.8 Diagram showing general degree of weathering and soil development in the different soil orders classified in *Soil Taxonomy*. Also shown are the general climatic and vegetative conditions under which soils in each order are formed.

Brady and Weil, 1999

Půdotvorný proces

- **Přeměny (transformace)** – např. přeměna primárních minerálů na sekundární, rozklad organické hmoty ...
- **Přemíst'ování hmoty (translokace)** – např. ionty v profilu, částice ...
- **Obohacování** – např. opad organické hmoty, přísun rozpuštěných látek ...
- **Ztráty** – např. vymývání, eroze ...
- tzv. **mikroprocesy**:
rubefikace, brunifikace, humifikace, mineralizace, rašelinění, tvorba skvrnitosti, pedoturbace, pedokompakce, pedokoncentrace, chelatace, eluviace, iluviace, (de)karbonatizace, salinizace, alkalizace, acidifikace ...
- tzv. **makroprocesy**
např. kambizemní, podzolizace



Půdní profil

- vrstvy horizontů – pedologické určení horizontů a jejich hranic
- na orných půdách výrazný rozdíl vrstev způsobený člověkem – orničí a podorničí (spodina) – neodpovídá horizontům
- u lesních půd významná hranice mezi nadložními organickými horizonty a organominerálním horizontem

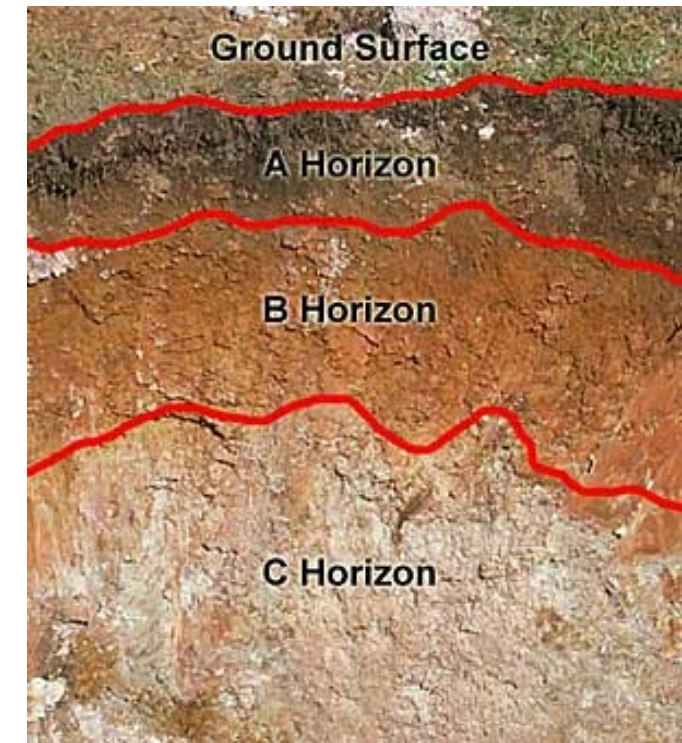


Photo: Åke Nilsson

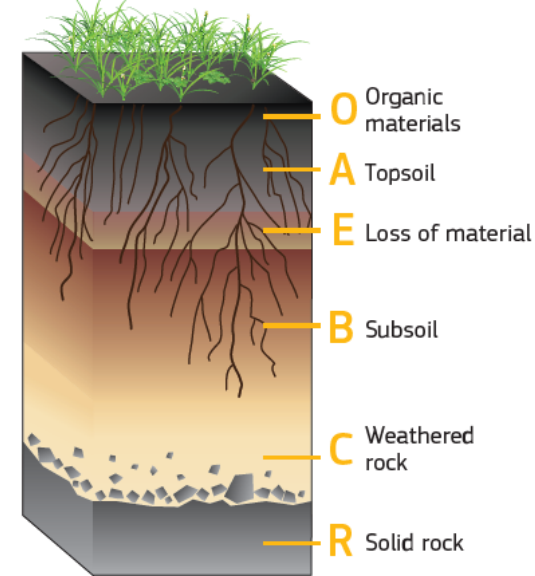
Půdní profil

JRC (2016): Global Soil Biodiversity Atlas.

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-biodiversity-atlas>

Diagnostické horizonty

- Organické horizonty
 - Organominerální povrchové horizonty
 - Podpovrchové diagnostické horizonty
 - Půdotvorný substrát
- <https://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showKategorieHorizonty>



⚠ A hypothetical soil profile showing the main horizons in a typical mineral soil and their relation to parent material, root development and soil-forming processes. The E horizon occurs in soils when materials such as clay, iron and aluminium have been destroyed or flushed to deeper layers by percolating water. E horizons are usually lighter in colour (but not always) and have a coarser texture. Other possible horizon codes are L (sediments deposited in a body of water) and W (presence of water layers). (LJ)

O Horizon

An organic horizon composed primarily of recognizable organic material in various stages of decomposition.

A Horizon

The surface horizon: Composed of various proportions of mineral materials and organic components decomposed beyond recognition.

E Horizon

Zone of eluviation: Mineral horizon resulting from intense leaching and characterized by a gray or grayish brown color.

B Horizon

Zone of illuviation: Horizon enriched with minerals, e.g., clay, organic materials, or carbonates, leached from the A or E horizons.

C Horizon

Horizon characterized by unweathered minerals that are the parent material from which the soil was formed.

R Horizon

Bedrock.



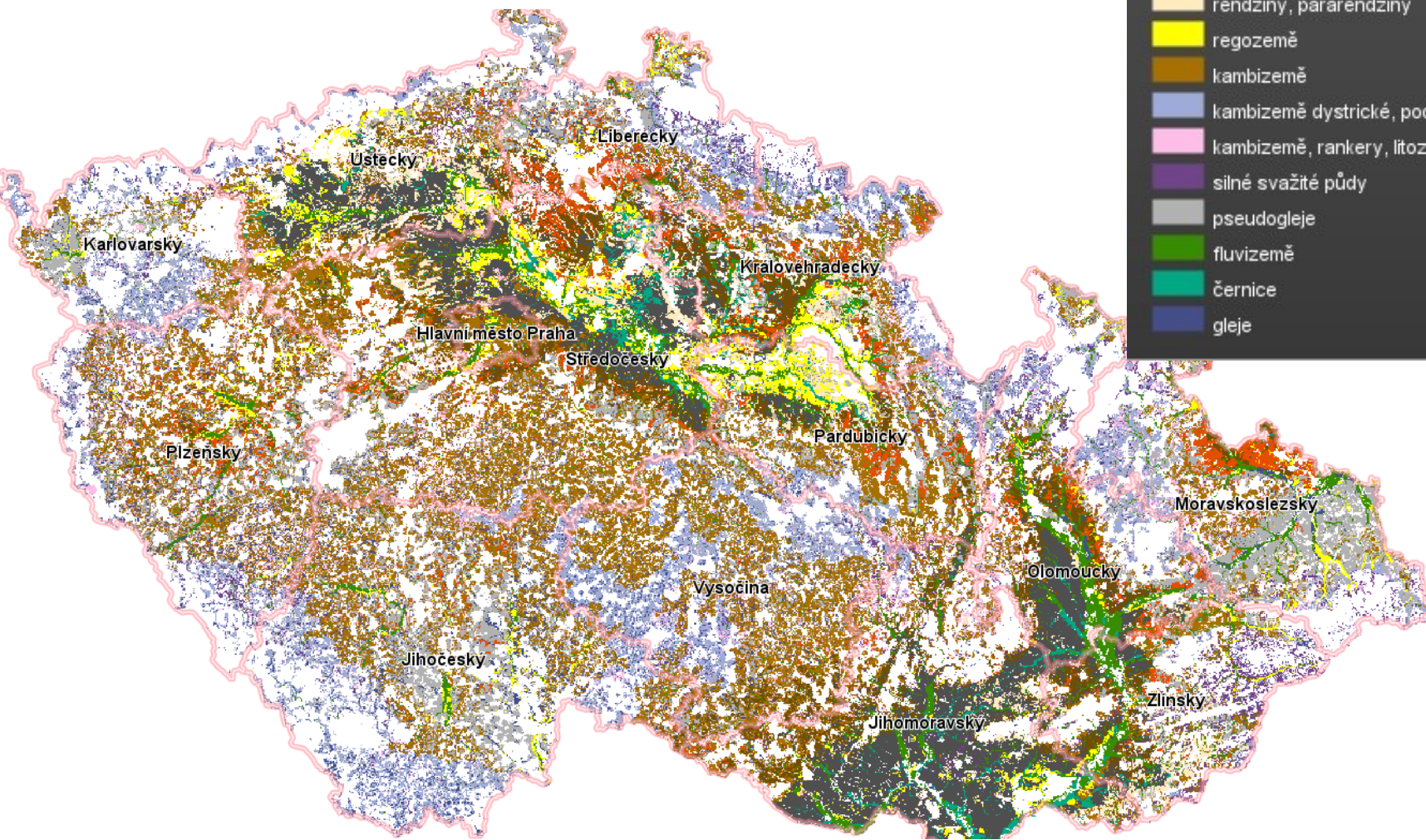
Klasifikace půd v ČR <http://klasifikace.pedologie.czu.cz>



TKSP – taxonomický klasifikační systém půd

- referenční třídy půd (-sol)
 - velké skupiny půd podle hlavních rysů jejich vývoje
 - i v zahraničních klasifikačních systémech (WRB), české půdy lze s nimi korelovat
- půdní typy
 - hlavní oporné jednotky klasifikačního systému
 - charakterizované určitými diagnostickými horizonty a jejich sekvencemi nebo diagnostickými znaky
- subtypy
 - výrazné modifikace typu podle znaků v hloubce níže 0,20 – 0,25 m
 - např. modální, melanická, umbrická ...
- variety, fáze, formy

Klasifikace půd v ČR

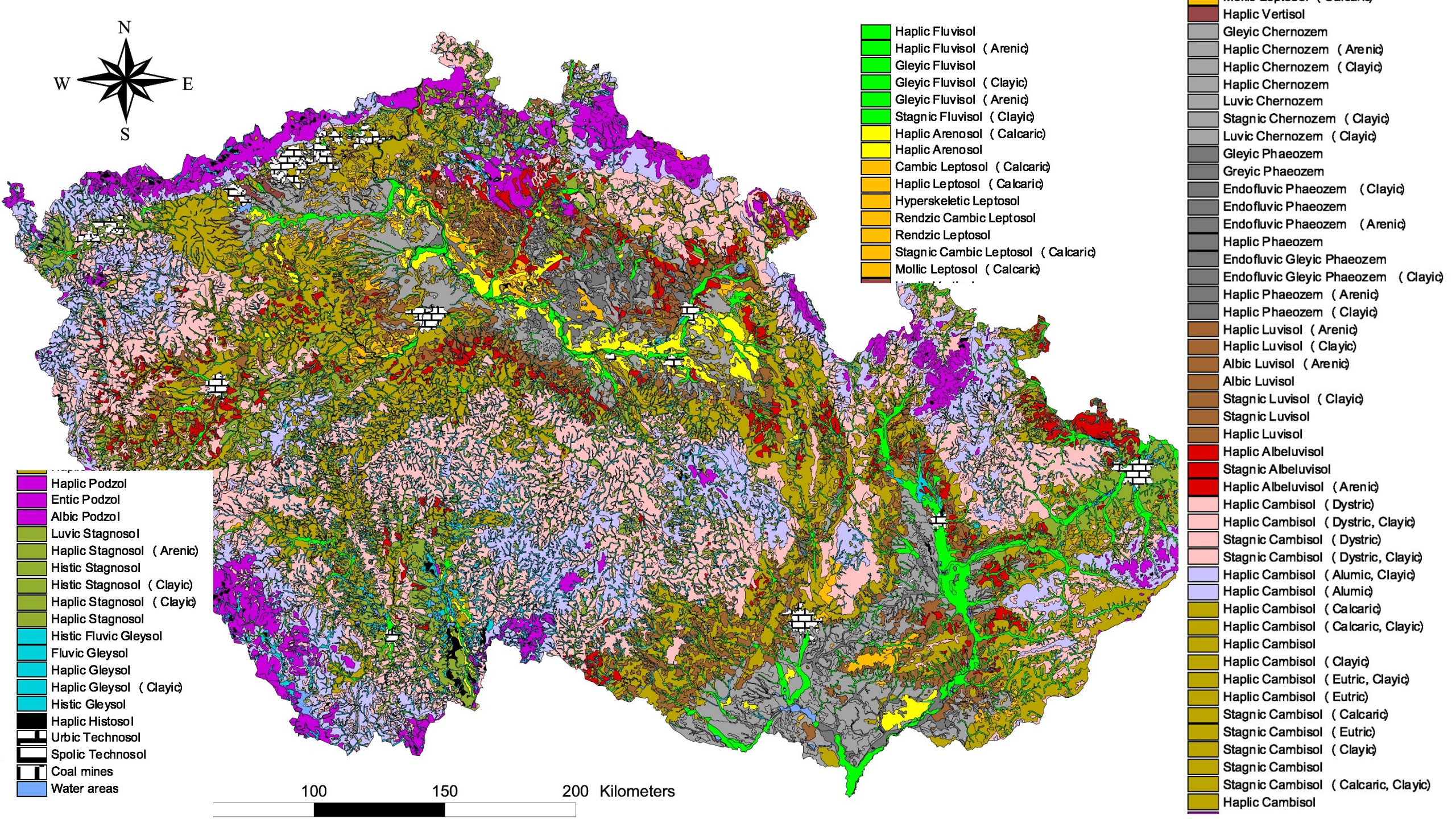
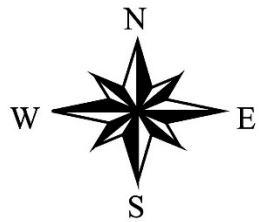


Skupiny půdních typů

- černozemě
- hnědozemě
- luvizemě
- rendziny, pararendziny
- regozemě
- kambizemě
- kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly
- kambizemě, rankery, litozemě
- silné svažitě půdy
- pseudogleje
- fluvizemě
- černice
- gleje

skupina půd	půdní typ
1. leptosoly	litozem li
	ranker rn
	rendzina rz
	pararendzina pr
2. regosoly	regozem rg
3. fluvisoly	fluvizem fl
	koluvizem ko
4. vertisoly	smonice sm
5. černosoly	černozem ce
	černice cc
6. luvisoly	šedozem se
	hnědozem hn
	luvizem lu
7. kambisoly	kambizem ka
	pelozem pe
8. andosoly	andozem ad
9. podzosoly	kryptopodzol kp
	podzol pz
10. stagnosoly	pseudoglej pg
	stagnoglej sg
11. glejsoly	glej gl
12. natrisoly	slanec sc
13. salisoly	solončak sk
14. organosoly	organozem or
	kultizem ku
15. antroposoly	antrozem an

<https://mapy.vumop.cz/>
<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
<https://mapy.geology.cz/pudy/>



- Haplic Podzol
- Entic Podzol
- Albic Podzol
- Luvic Stagnosol
- Haplic Stagnosol (Arenic)
- Histic Stagnosol
- Histic Stagnosol (Clayic)
- Haplic Stagnosol (Clayic)
- Haplic Stagnosol
- Histic Fluvic Gleysol
- Fluvic Gleysol
- Haplic Gleysol
- Haplic Gleysol (Clayic)
- Histic Gleysol
- Haplic Histosol
- Urbic Technosol
- Spolic Technosol
- Coal mines
- Water areas

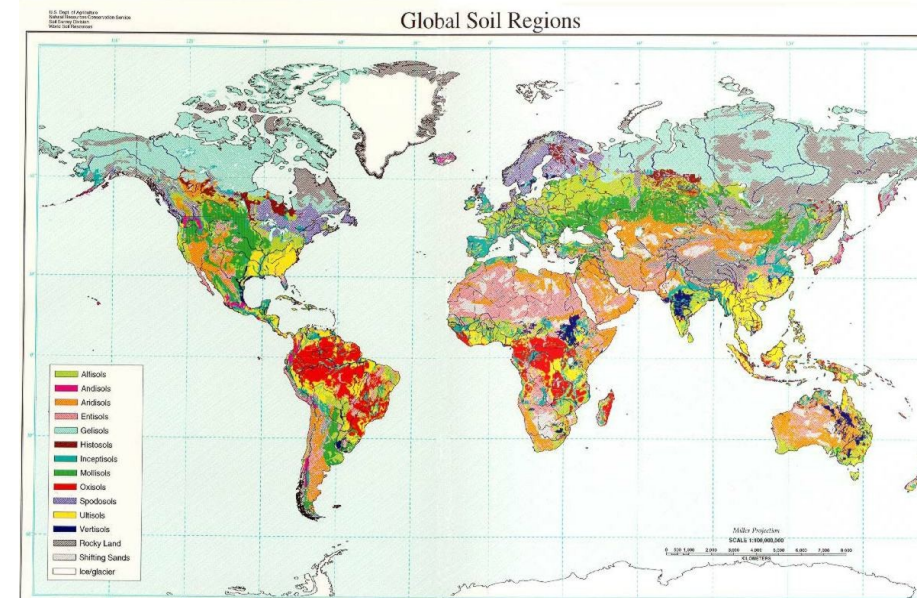
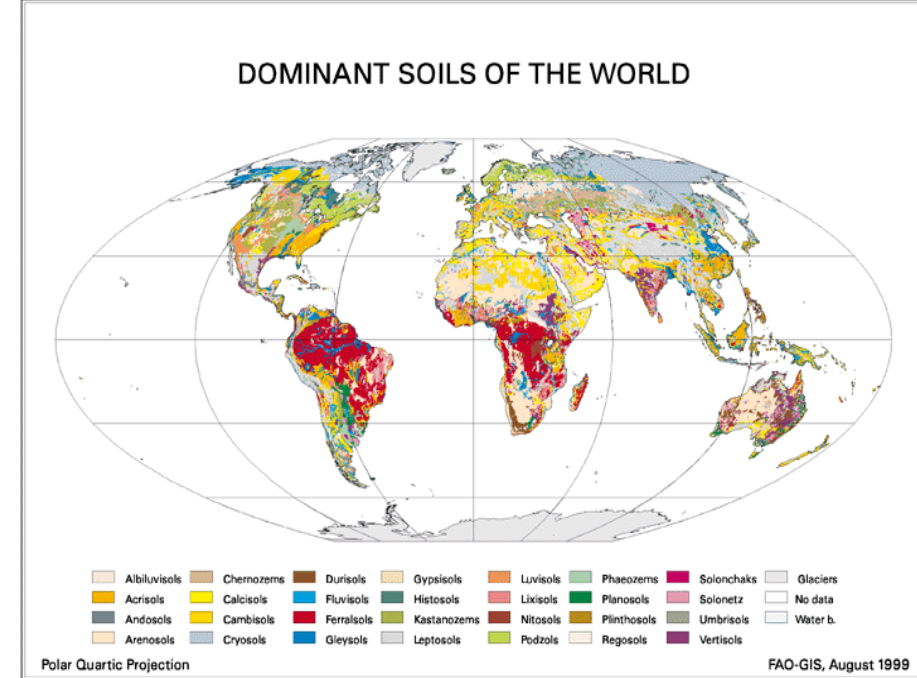
- Haplic Fluvisol
- Haplic Fluvisol (Arenic)
- Gleyic Fluvisol
- Gleyic Fluvisol (Clayic)
- Gleyic Fluvisol (Arenic)
- Stagnic Fluvisol (Clayic)
- Haplic Arenosol (Calcaric)
- Haplic Arenosol
- Cambic Leptosol (Calcaric)
- Haplic Leptosol (Calcaric)
- Hyperskeletal Leptosol
- Rendzic Cambic Leptosol
- Rendzic Leptosol
- Stagnic Cambic Leptosol (Calcaric)
- Mollic Leptosol (Calcaric)

- Haplic Vertisol
- Gleyic Chernozem
- Haplic Chernozem (Arenic)
- Haplic Chernozem (Clayic)
- Haplic Chernozem
- Luvic Chernozem
- Stagnic Chernozem (Clayic)
- Luvic Chernozem (Clayic)
- Gleyic Phaeozem
- Greyic Phaeozem
- Endofluvic Phaeozem (Clayic)
- Endofluvic Phaeozem
- Endofluvic Phaeozem (Arenic)
- Haplic Phaeozem
- Endofluvic Gleyic Phaeozem
- Endofluvic Gleyic Phaeozem (Clayic)
- Haplic Phaeozem (Arenic)
- Haplic Phaeozem (Clayic)
- Haplic Luvisol (Arenic)
- Haplic Luvisol (Clayic)
- Albic Luvisol (Arenic)
- Albic Luvisol
- Stagnic Luvisol (Clayic)
- Stagnic Luvisol
- Haplic Luvisol
- Haplic Abeluvisol
- Stagnic Abeluvisol
- Haplic Abeluvisol (Arenic)
- Haplic Cambisol (Dystric)
- Haplic Cambisol (Dystric, Clayic)
- Stagnic Cambisol (Dystric)
- Stagnic Cambisol (Dystric, Clayic)
- Haplic Cambisol (Alumic, Clayic)
- Haplic Cambisol (Alumic)
- Haplic Cambisol (Calcaric)
- Haplic Cambisol (Calcaric, Clayic)
- Haplic Cambisol
- Haplic Cambisol (Clayic)
- Haplic Cambisol (Eutric, Clayic)
- Haplic Cambisol (Eutric)
- Stagnic Cambisol (Calcaric)
- Stagnic Cambisol (Eutric)
- Stagnic Cambisol (Clayic)
- Stagnic Cambisol
- Stagnic Cambisol (Calcaric, Clayic)
- Haplic Cambisol

100 150 200 Kilometers

Klasifikace půd mezinárodní

- World Reference Base of Soil Resources - WRB
- <http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/world-reference-base/en/>
- Soil Taxonomy
- <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/>
- převody systémů
- <https://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showPorovnanTaxonomii>

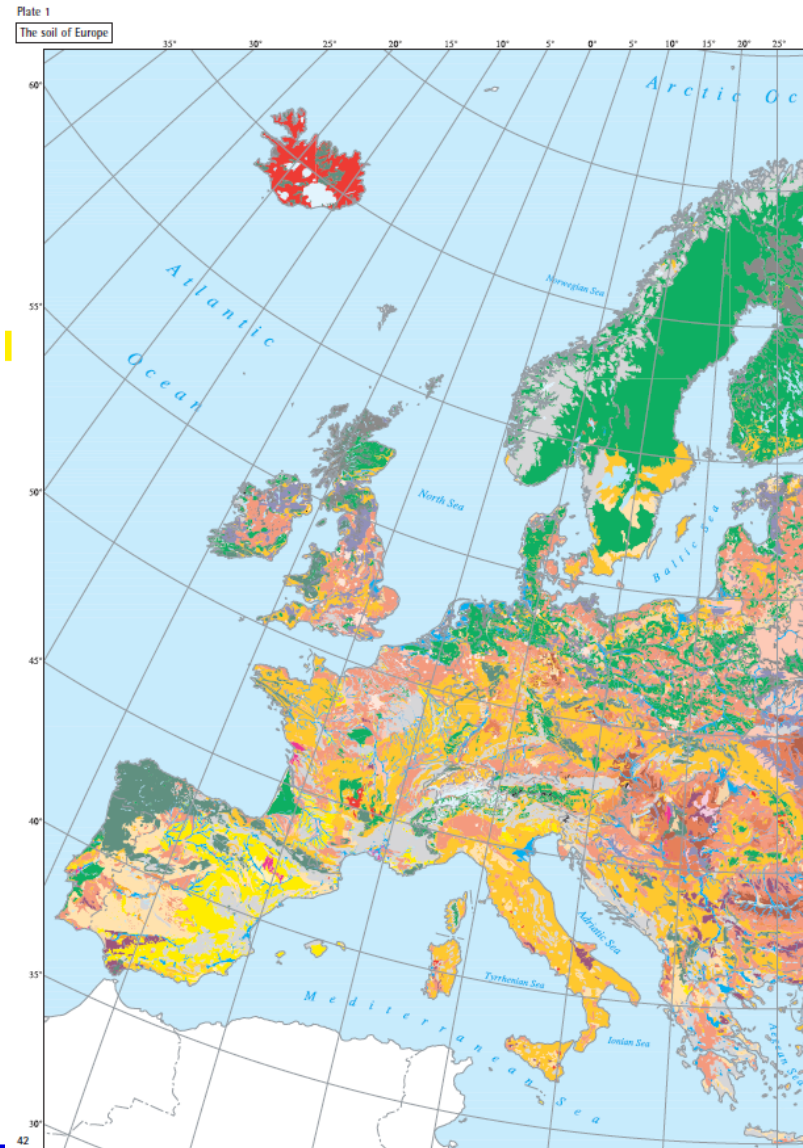


Klasifikace půd mezinárodní

CHERNOZEMS

Soil with a deep, dark surface horizon that is rich in organic matter and secondary calcium carbonate concentrations in the deeper horizons (from the Russian for *chern*, black, and *zemlja*, earth).

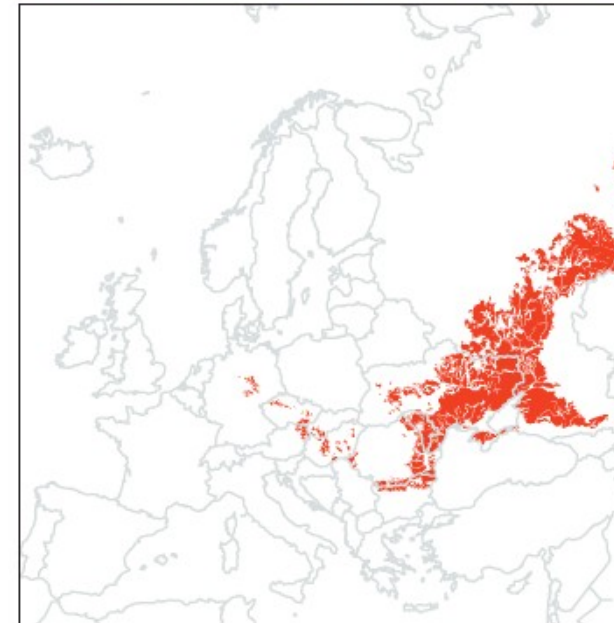
Soil having a very dark brown or blackish surface horizon with a significant accumulation of organic matter, a high pH and having calcium carbonate deposits within 50 cm of the lower limit of the humus rich horizon. Chernozems show high biological activity and are typically found in the long-grass steppe regions of the world, especially in Eastern Europe, Ukraine, Russia, Canada and the USA. Chernozems are amongst the most productive soil types in the world.



Left: The main source of the high organic content of Chernozems is the annual decay of grass;

Below: the dark surface soil material is generally mixed to significant depths by the high biological activity; The map shows the location of areas in Europe where Chernozems are the dominant soil type.

Cover 9 % of Europe.



Průzkumy a monitoring půdy v ČR a zahraničí

Průzkumy a monitoring půd

- nejstarší – co komu patří a jakou to má kvalitu - katastry
- taxonomie půd - půdní typy - v čase se příliš neliší (ale liší se systémy)
- využití půd (land use) – mění se – půdní fond
- základní půdní vlastnosti – mění se (zrnitost, pH, obsah organické hmoty)
- speciální vlastnosti – obsahy kontaminantů – mění se
- od papírových map k mapám digitálním
- extrapolace – plošné mapy (polygony) z výsledků pro jednotlivé body

Průzkumy a monitoring půd

Komplexní průzkum půd

- první podrobný a celostátně jednotný základní materiál o vlastnostech zemědělského půdního fondu na celém území tehdejšího Československa
- zahájen 1961 a naplánován na 1961–1970
 - 10letý jednorázový základní průzkum geneticko-agronomických vlastností zemědělských půd
 - soustavné agrochemické zkoušení orníc v 5letých cyklech
- odebráno a analyzováno celkem 390 743 kopaných sond !!
- výsledkem základní půdní mapy a sondy, kartogramy zrnitosti, skeletovitosti a zamokření, kartogramy návrhů opatření ke zvýšení půdní úrodnosti v měřítcích 1:5 000 nebo 1:10 000

Průzkumy a monitoring půd

půdní mapy

- <https://mapy.vumop.cz/>
- <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- <https://mapy.geology.cz/pudy/>

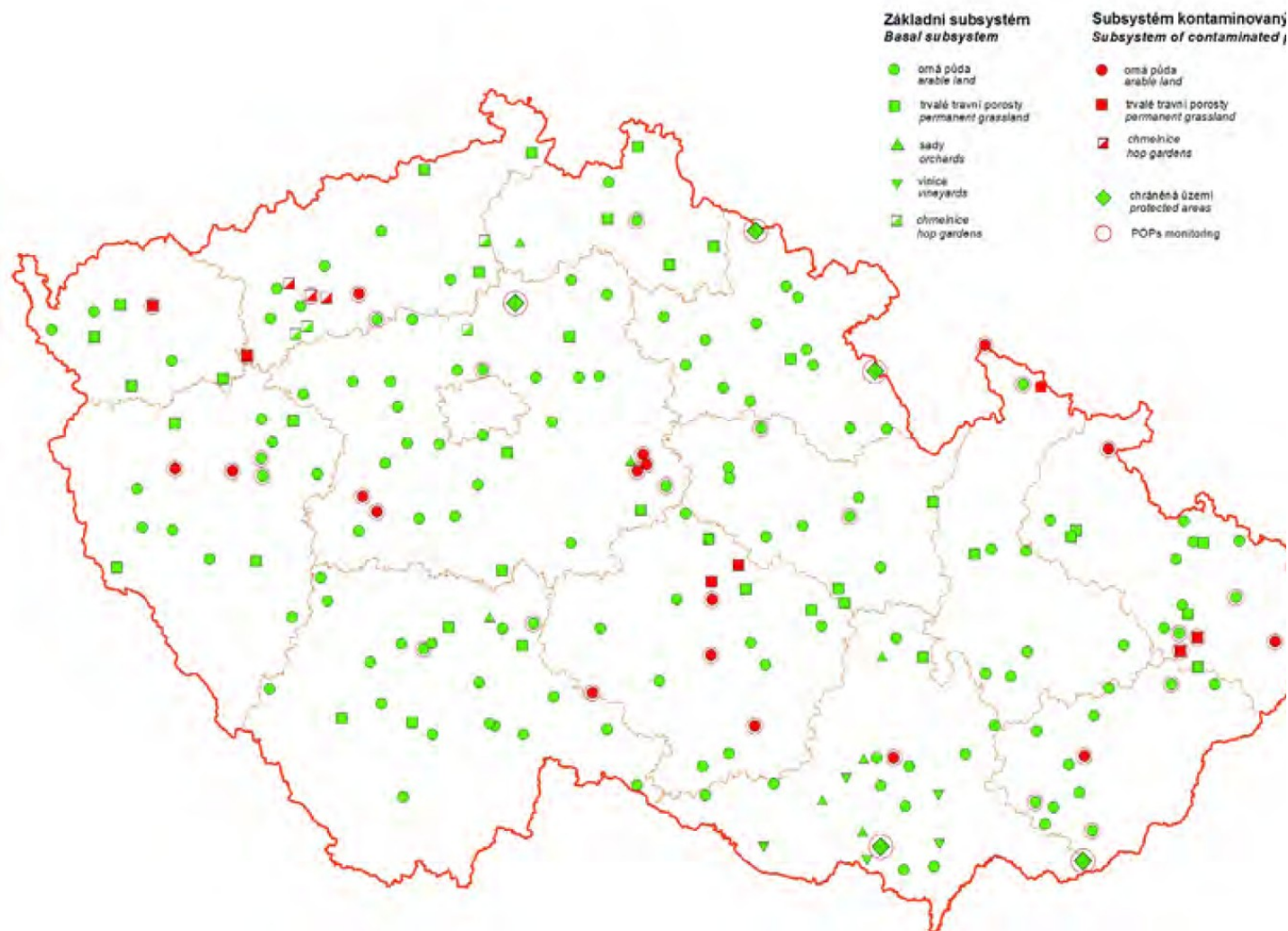
Průzkumy a monitoring půd

ÚKZÚZ (ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský)

- monitoring fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy v síti trvalých monitorovacích ploch na zemědělské půdě ČR
 - **AZZP – agrochemické zkoušení zemědělských půd**
 - pravidelné zjišťování vybraných parametrů půdní úrodnosti s cílem usměrňovat používání hnojiv
 - <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/publikace/agroch-zkouseni-zemedelskych-pud/>
 - **Monitoring půd**
 - <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/bezpecnost-pudy/monitoring-pud/>
 - ochrana půdy a ochrana před vstupem cizorodých látek do potravních řetězců
 - rizikové prvky a látky, mikrobiologické a fyzikální parametry na vybraných plochách
 - 1990 - 1992 těžké kovy na > 37.000 lokalitách = registr kontaminovaných ploch RKP
 - v současnosti šestiletá perioda - **bazální monitoring půd**

Průzkumy a monitoring půd

Obrázek 1. Lokalizace pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd.



Tabulka 2. Parametry stanovované ve vzorcích půd a rostlin odebraných v jednotlivých odběrových schématech

Jednorázové odběry a identifikace pozorovací plochy	Základní vzorkování v šestileté periodě	Každoroční odběry
<ul style="list-style-type: none"> Fyzikální parametry – momentní vlhkost, objem, hmotnost red., pórovitost, max. kapilární vodní kapacita, minimální vzdušná kapacita Zrnitost C_{ox}, N_{tot} Sorpční kapacita půdy – potenciální, aktuální Prvková analýza (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn) – lučavka královská Hg_{tot} Popis půdní sondy Záznam identifikačních údajů o pozorovací ploše 	<ul style="list-style-type: none"> Aktivní a výměnné pH Přístupné živiny – P, K, Mg, Ca (Mehlich III) Přístupné mikroelementy – B, Mo, Mn, Zn, Cu C_{ox}, N_{tot} Sorpční kapacita půdy – aktuální Prvková analýza (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn) – lučavka královská, 2M HNO_3 Hg_{tot} 	<ul style="list-style-type: none"> Minerální dusík – N_{min} Mikrobiální a biochemické parametry Organické polutanty – HCH, HCB, látky skupiny DDT, PCB, PAH Obsah rizikových prvků v zemědělských plodinách Evidence dávek hnojení a přípravků na ochranu rostlin

Tabulka 1. Zastoupení jednotlivých kultur v Bazálním monitoringu půd v jednotlivých letech základního vzorkování

Kultura / Cultures	Počty ploch v jednotlivých letech / Number of plots in periods			
	1995	2001	2007	2013
Orná půda / Arable land	163	161	155	154
Trvalé travní porosty / Permanent grassland	31	35	43	44
Sady / Orchards	7	6	6	6
Vinice / Vineyards	4	5	5	5
Chmelnice / Hop gardens	7	7	5	5
Celkem / Total	212	214	214	214

Průzkumy a monitoring půd

Další významné aktivity v ČR

- monitoring půd v ČR prováděný VÚMOP
- monitoring lesních půd
- monitoring půd RECETOX (nivy, dálnice, hory, průmyslové oblasti, pesticidy ...)
- projekt INTERREG III



Průzkumy a monitoring půd

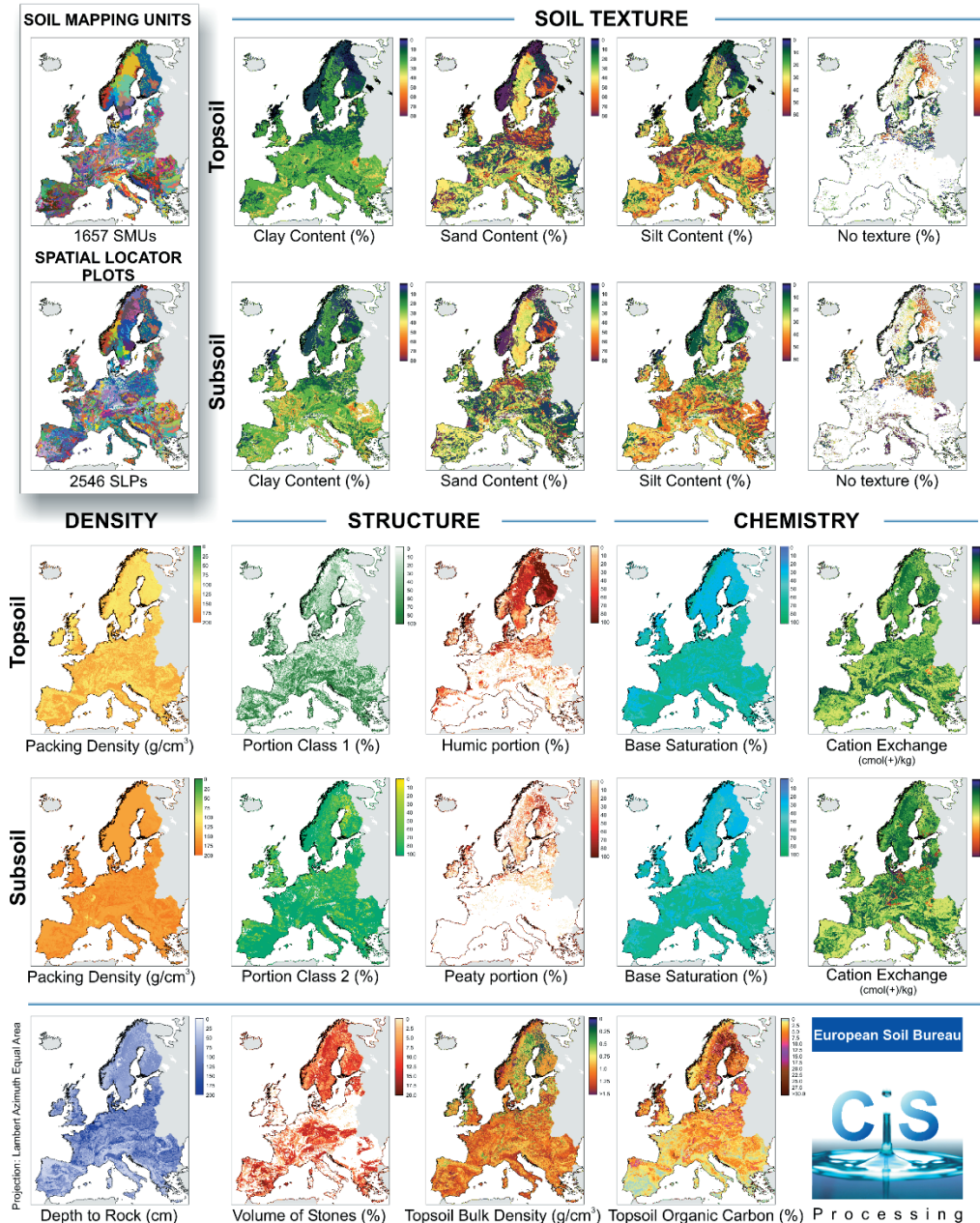
- mnoho různých programů a projektů - rozdíly v rozsahu, cílech, sledovaných parametrech a také kvalitě a zpracování výsledků

EU

- vize celoevropského systému monitoringu půd (EU projekt ENVASSO (Environmental Assessment of Soil for Monitoring))
- Joint Research Centre EU - evropské datové centrum (ESDAC) – evropský půdní informační systém (EUSIS) a evropská půdní databáze (ESDB)
- <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/datasets>

Průzkumy a monitoring půd

The spatial layer of the European Soil Database was rasterized to a grid size of 1km. New spatial units were generated by applying a multi-criteria analysis. Soil properties were assigned to spatial plots using a proportional distribution of attributes.



European Soil Bureau Network / European Commission (2005): Soil Atlas of Europe. 128 pp <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-atlas-europe>