



Akademie věd
České republiky

Strategie AV21

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



Miloslav Šimek, Dana Elhottová,
Václav Pižl

Živá půda



VÝZKUMNÝ PROGRAM

ROZMANITOST ŽIVOTA A ZDRAVÍ EKOSYSTÉMŮ

Obsah

Co je „půda“? _____	2
Jak půda vzniká a vyvíjí se _____	4
Vlastnosti a funkce půdy _____	11
Co je edafon? _____	13
Vlastnosti a přehled edafonu _____	17
Schopnosti a služby edafonu _____	39
Sít vztahů v půdě _____	42
Adaptace organismů na půdní prostředí _____	48
Máme půdy dost? _____	51
Jak přispíváme v Biologickém centru AV ČR k lepšímu poznání a správnému využívání půdy? _____	54
Slovníček pojmů _____	70
Použitá a doporučená literatura _____	72

Co je „půda“?

Půda je složitý přírodní útvar, který mj. umožňuje růst rostlin. To je asi nejjednodušší z mnoha definic půdy, jakou můžeme čtenáři nabídnout. Většina velkých civilizací v posledních tisíciletích vznikla a rozvíjela se v říčních údolích a podobných oblastech s úrodnými půdami a příznivými klimatickými podmínkami. Úrodnost půd vyčerpávaných sklizní plodin byla pravidelně obnovována náplavami na živiny bohatého materiálu přinášeného řekou, a tak tyto půdy dlouhodobě zabezpečovaly dostatek potravy. Situace se v zásadě nezměnila a stejně jako dříve je i dnes lidstvo jako celek naprosto závislé na půdě, na její schopnosti vytvářet a zabezpečovat příhodné podmínky pro růst rostlin, které jsou základem naší výživy (**obrázek 1**). Mimoto je dnes zcela zřejmé, že **půda má i mnoho mimoprodukčních (ekologických, ekosystémových)**



Obrázek 1. Půda pokrývá povrch části souše na Zemi

Tenká vrstva půdy o mocnosti několika desítek centimetrů až několika metrů umožňuje život v jeho rozmanitosti a kráse. Půda zajišťuje obživu lidí a plní řadu jiných funkcí, filtruje vodu, čistí vzduch, staví se na ní dopravní infrastruktura a stavby, atd. (foto M. Šimek)

funkcí (rámeček 1), které jsou nezastupitelné a někdy i pro danou oblast významnější než možnost pěstování rostlin. Doplňme ještě, že soubor všech půd na Zemi se nazývá **pedosféra** = v planetárním měřítku tenká vrstvička na styku litosféry, atmosféry, hydrosféry a biosféry (**obrázek 2**).

Rámeček 1. Ekosystémové služby a funkce půdy

Zásobárna živin a platforma pro růst rostlin

Prostor recyklace odumřelé organické hmoty a živin

Zásobník vody a regulátor vodního režimu

Zásobník humusu, úložiště uhlíku

Regulátor výměny plynů, čisticí a detoxikační schopnosti

Regulátor klimatu

Životní prostor pro půdní organismy včetně vývojových stadií některých nepůdních organismů

Zásobník a zdroj rozmanitosti půdních forem organismů

Základ pro zemědělskou činnost

Základ pro materiální infrastrukturu

Zdroj bio-kontrolních organismů pro ochranu zdraví rostlin i živočichů včetně člověka

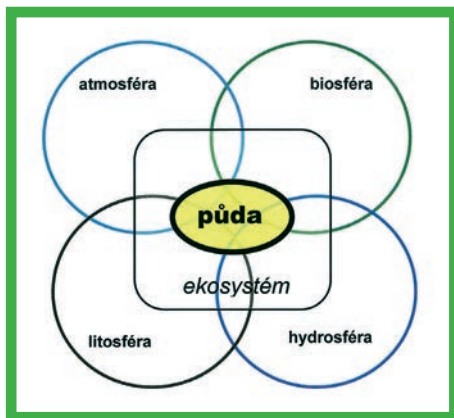
Banka mikrobiálních producentů léčiv

Banka rozkladných organismů včetně jejich biotechnologického potenciálu

Zdroj informací o historii a zdroj poznání

Obrázek 2. Půda je částí suchozemských ekosystémů

Na vývoji půdy a na jejím fungování se podílejí i hlavní zemské sféry: litosféra, atmosféra, hydrosféra a biosféra; půda naopak ovlivňuje tyto sféry (upraveno podle: Szabolcs, 1994)



Jak půda vzniká a vyvíjí se

Půda se „neobjevila“ najednou. Půda vzniká a postupně se vyvíjí po velmi dlouhou dobu zvětráváním hornin a minerálů pochody fyzikálními a chemickými, k nimž se záhy přidává působení organismů a biologických procesů. Jak rychle či pomalu se tedy půda tvoří? **Odhaduje se, že centimetrová vrstva půdy může vznikat několik století až tisíciletí.** Kromě přírodních faktorů a zákonitostí podléhá vývoj půdy také vlivu člověka, a to přinejmenším od doby, kdy lidé začali půdu vědomě užívat pro pěstování rostlin a pro získávání potravy, rostlinných vláken a dřeva. Na vývoj půd zejména v obydlených oblastech má lidský faktor vesměs zásadní dopad.

Proces vzniku a vývoje půdy nazýváme pedogeneze. Základem každé půdy je matečná hornina. Hornin je na povrchu Země mnoho; působením půdotvorných (pedogenetických) faktorů (**rámeček 2**), jejich různou kombinací a intenzitou, se proto vytvořilo velké množství různých půd, které však mají některé základní rysy společné (**obrázek 3**). Skalní podklad je pokryt neuspořádaným materiálem, jenž se

Rámeček 2. Půdotvorné (pedogenetické) faktory

Matečná hornina (petrologické složení a chemismus)

Klima (teplota a množství srážek)

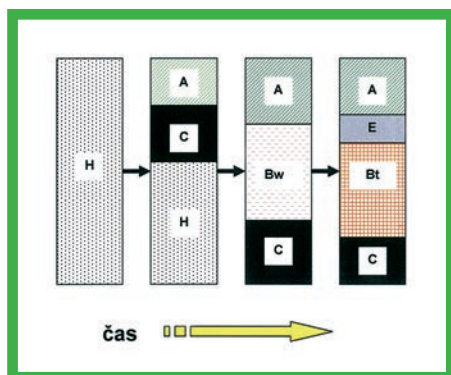
Podzemní voda

Reliéf a nadmořská výška

Přítomnost a aktivita organismů (vegetace a edafon)

Lidská aktivita

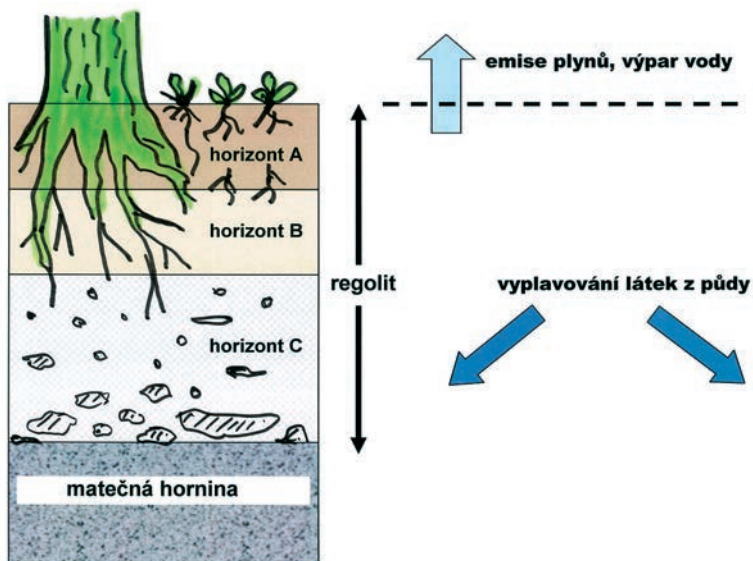
Čas



Obrázek 3. Vývoj půdy na sedimentární hornině

Původní hornina (H) je postupně přeměněna na půdu, pro niž jsou charakteristické lépe či někdy hůře odlišitelné půdní horizonty (zde např. A, E, Bt, C). Vývoj půdy je dlouhodobý proces trvající tisíce let (upraveno podle: Foth, 1990)

nazývá regolit. Tato vrstva, jejíž mocnost může být několik mm až několik desítek m, vznikla buď zvětráváním skalního podkladu – matečné horniny – nebo byla vytvořena z materiálu přineseného odjinud větrem, vodou, ledovcem, apod. Svrchní vrstva regolitu o mocnosti až několika m se odlišuje od spodní vrstvy: rostou v ní rostliny, respektive jejich kořeny, je oživena obrovským množstvím nejrůznějších organismů, obsahuje jejich odumřelé a pozměněné zbytky. Tato (svrchní) vrstva regolitu je půda (**obrázek 4**). I zběžný pohled na odkrytý vertikální řez půdou, například výkop při stavbě silnice, upozorní na existenci více nebo méně odlišných horizontálních vrstev v půdě. Takový řez se nazývá půdní profil a jednotlivé odlišitelné vrstvy se nazývají půdní horizonty (**obrázek 5**). Každá vyvinutá a neporušená půda má charakteristické horizonty, podle nichž se půdy klasifikují – řadí do určité skupiny. U obdělávaných



Obrázek 4. Schematický půdní profil

Neuspořádaný materiál překrývající matečnou horninu se nazývá regolit. Může mít mocnost od několika milimetrů do několika desítek metrů. Svrchní, biologicky a biochemicky pozměněná a prokořeněná vrstva regolitu je půda. Jednotlivé vrstvy půdy se nazývají horizonty. V některých případech nelze spodní vrstvu regolitu odlišit a matečná hornina přechází přímo v půdu. V pravé části obrázku jsou znázorněny hlavní interakce půdy s okolím



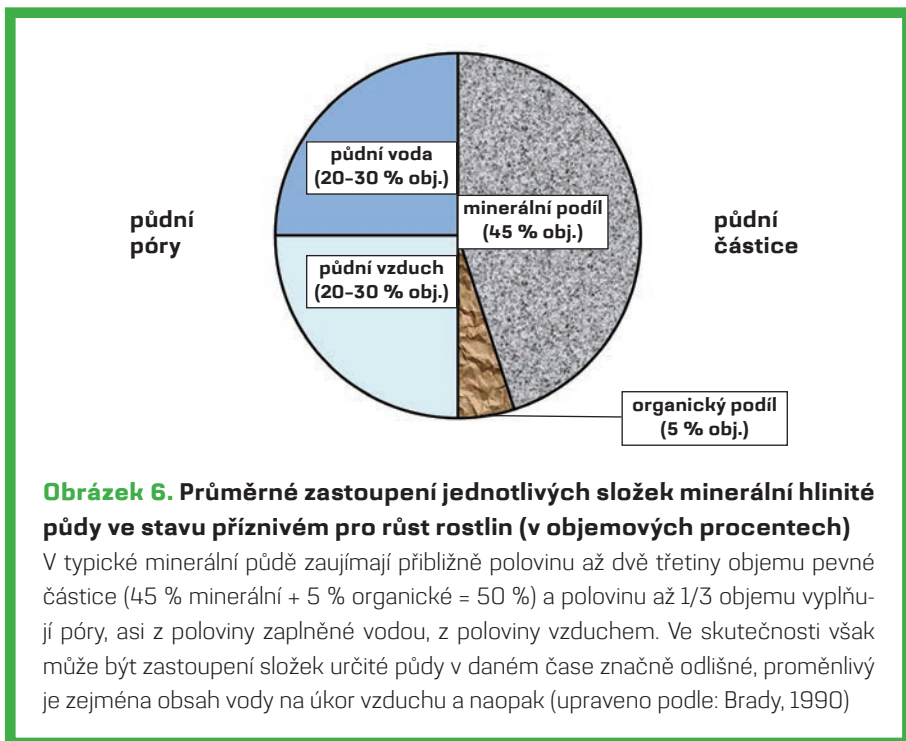
Obrázek 5. Půdní profil nedaleko Helsinek, Finsko

Při studiu půdy v terénu je třeba odkrýt půdní profil, ideálně až na matečnou horninu (a). Půda na obrázku je vytvořena na jílovitých mořských sedimentech, jejichž svrchní část sahá cca 120 cm pod povrch půdy (b), jak je vidět na měřicí tyči (každý dílek má délku 10 cm). Tyto šedomodré jíly jsou vlastně C horizontem této půdy (srovnej obrázek 3) (foto M. Šimek)

půd se rozlišuje orniční vrstva, svrchní asi 20–30 cm mocná vrstva půdy pravidelně zpracovávaná (kypřená, oraná) při tzv. klasickém způsobu kultivace půdy. Pod ní leží podorničí, také nazývané spodina. Obě vrstvy se navzájem ovlivňují.

Existence různých půdních horizontů a jejich různý výskyt v jednotlivých půdách vytvářejí **vertikální heterogenitu** velké většiny půd. Pro půdy je kromě toho typická i velká **horizontální (plošná) heterogenita** vznikající plošně nerovnoměrným působením rozmanitých půdotvorných faktorů na heterogenní podloží – matečné horniny. Vzhledem ke stále probíhajícímu vývoji půd, při němž se mění nejrůznější půdní vlastnosti, přetvářejí se, vznikají a zanikají půdní horizonty a mění se struktura i textura půd, jsou půdy také proměnlivé v čase. **Značná prostorová heterogenita a časová proměnlivost jsou tedy charakteristické pro většinu půd.**

Většina půd se označuje jako **půdy minerální**. Jejich pevný podíl je tvořen především minerálními částicemi, obsah organických látek nepřesahuje několik (hmotnostních) procent. Půdy obsahující 15 a více % hm. organických látek se nazývají **půdy organické**. Kromě minerálních částic a organické hmoty tvoří neživou část půdy voda a vzduch. Možná bude pro někoho překvapivé, že v běžné půdě připadá na vodu a vzduch (které vyplňují půdní póry) kolem poloviny objemu (**obrázek 6**). **V půdě je tedy hodně vzduchu a vody!** Kromě neživých složek obsahuje půda i **půdní organismy**, které mají zásadní význam pro většinu funkcí půdy a bude jim věnována



podstatná část této brožury. **Bez organismů půda přestává být půdou a stává se pouhým neživým substrátem.**

Minerální podíl půdy je tvořen nejrůznějšími anorganickými sloučeninami a částicemi různé velikosti, od velkých úlomků hornin a balvanů až po koloidní částice. Určité zastoupení jednotlivých velikostních skupin minerálních částic definuje **zrnitostní složení (texturu) půdy (rámeček 3)**. Půdní částice jsou vždy uspořádány určitým způsobem, vyskytují se v půdě izolovaně nebo častěji tvoří společně s jinými částicemi agregáty, které mohou mít např. tvar granulí, desek, bloků, hranolů či sloupců. Vzniká tak **struktura půdy**.

Rámeček 3. Textura půdy

Každá půda má určité zrnitostní složení (texturu). Velikost minerálních částic půdy, respektive relativní zastoupení jednotlivých velikostních kategorií, zásadně ovlivňuje mnoho vlastností půdy. Proto je **textura půdy** důležitý parametr, jenž se také běžně stanovuje jako jedna ze základních charakteristik půdy.

Podle velikosti třídíme půdní částice takto:

- Písek – částice o velikosti 0,05–2 mm. Částice písku jsou často tvořeny křemenem a úlomky křemičitanových hornin a živců. Písčítá složka půdy zajišťuje dobrou propustnost půdy, voda se mezi částicemi rychle vsákne, ale také se v půdě dlouho neudrží. Při vysokém obsahu písku jsou půdy dobře propustné a provzdušněné, za sucha však rychle vysychají.
- Prach – částice o velikosti 0,002–0,05 mm. Prachové částice, které se nacházejí hlavně v půdách vytvořených na spraších, zajišťují dobré fyzikální vlastnosti a optimální poměr mezi obsahem vody a vzduchu pro organismy a procesy v půdě.
- Jíl – částice o velikosti pod 0,002 mm. Půdy s vyšším obsahem jílu (jílovité půdy) jsou méně propustné pro vodu a málo vzdušné.

V českém prostředí se tradičně používalo rozdělení půd podle obsahu tzv. **jílnatých částic** (částic menších než 0,01 mm) na kategorie: jíl (nad 75 % hmotnostních jílnatých částic), jílovitá půda (60–75 %), jílovitohlinitá půda (45–60 %), hlinitá půda (30–45 %), písčitohlinitá půda (20–30 %), hlinitopísčítá půda (10–20 %) a písčítá půda (0–10 %).

Praktické je třídění půd na kategorie lehké (písčité a hlinitopísčité půdy), střední (písčito-hlinité a hlinité půdy) a těžké (půdy jílovitohlinité, jílovité, jíly). Toto označení nijak nesouvisí s jejich hmotností, ale je dáno zpracovatelností půdy, což je parametr významný v zemědělské praxi (lehké půdy se snadno obdělávají, těžké naopak, atp.).

Poznámka. Velikostní kategorie, tedy písek, prach a jíl, mají podle různých systémů klasifikace různou velikost, a to zejména pokud jde o hranici mezi prachem a pískem – ta je stanovena např. na 0,05 mm, jak je uvedeno v klasifikaci výše, nebo také 0,06 mm či dokonce 0,02 mm. Při uvádění určité textury půdy je tedy třeba uvést i použitý klasifikační systém.

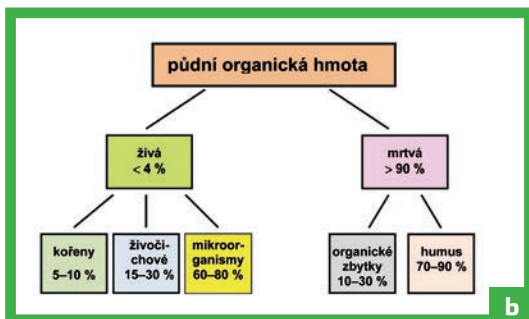
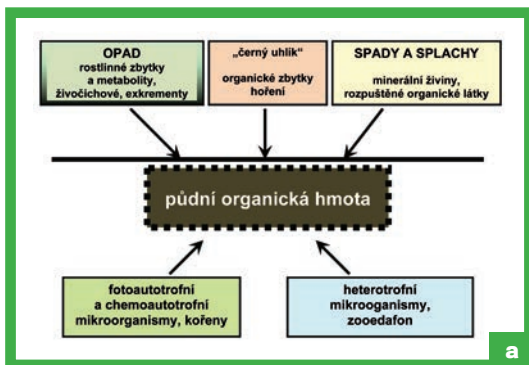
Další složkou půdy je **organická hmota (obrázek 7)**. Je tvořena rostlinnými a živočišnými zbytky a odumřelými buňkami mikroorganismů, které jsou v různém stadiu rozkladu a přeměny na nové látky. Část organické hmoty v půdě, která prošla procesy přeměn zahrnujících rozkladné i syntetické procesy, se nazývá **humus**. Humusové látky napomáhají tvorbě agregátů minerálních částic, jsou zásobárnou živin pro rostliny i mikroorganismy a zdrojem energie. Významně ovlivňují vodní režim půdy.

Půdní voda představuje kapalnou fázi půdy. Ve skutečnosti se jedná o půdní roztok, o vodný roztok nejrozličnějších minerálních a organických látek, jenž zabezpečuje zásobování rostlin vodou a živinami a ovlivňuje i celou půdu (**obrázek 8**). Celková koncentrace látek v půdním roztoku většinou nepřesahuje 1 % a často je mnohem nižší (cca 0,05 %). Kromě elementárního složení půdního roztoku je důležitou charakteristikou jeho pH (acidita nebo alkalita) a pochopitelně celkový obsah vody v půdě.

Půdní vzduch představuje plynnou fázi půdy. Nachází se v půdních pórech, které nejsou zaplněny půdní vodou. Kromě celkového obsahu vzduchu v půdě je důležité jeho složení, které je odlišné od složení nadzemního atmosférického vzduchu. Půdní

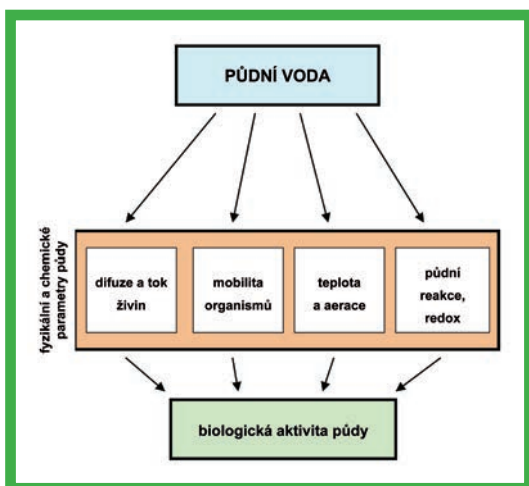
Obrázek 7. Zdroje (a) a složení (b) organické hmoty v půdě (v hmotnostních procentech)

Zastoupení jednotlivých frakcí je v různých půdách různé. Na živé organismy však obvykle připadají méně než 4 hmotnostní %, zatímco neživá organická hmota tvoří většinou více než 90 % organického podílu půd. V mnoha půdách je také vyšší obsah organických zbytků v různých fázích rozkladu a přeměn a nižší obsah humusových látek oproti uvedeným údajům (upraveno podle: White a kol., 1992; Theng a kol., 1989, cit. in Wood, 1995)



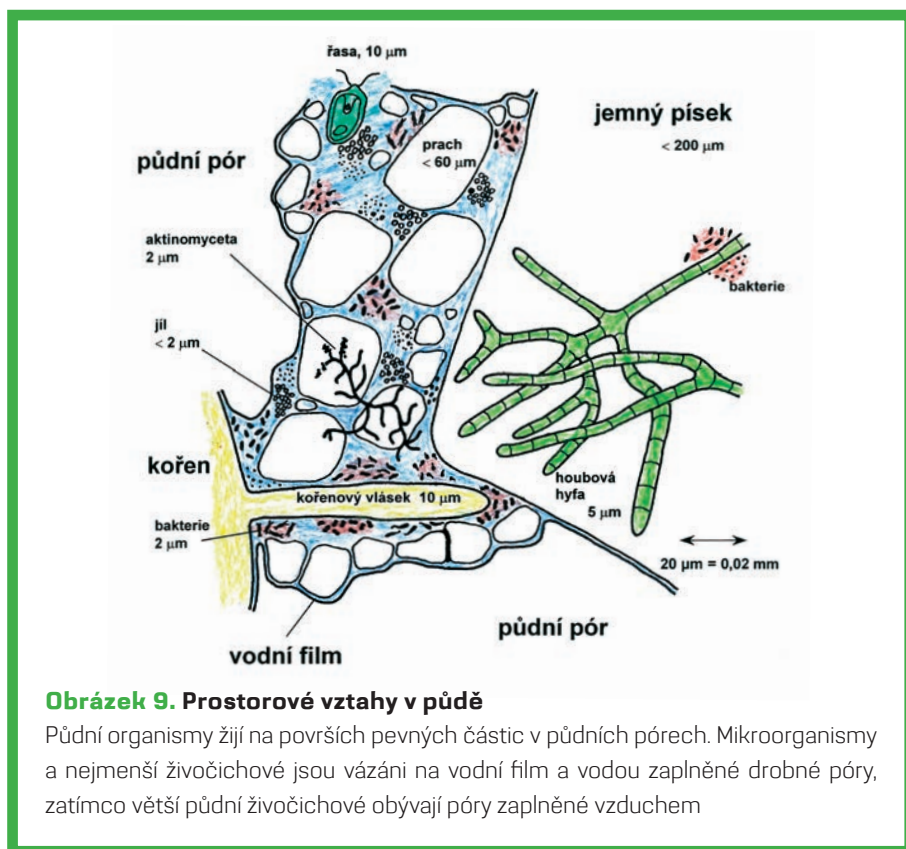
Obrázek 8. Půdní voda je velmi významnou složkou půdy

Ovlivňuje řadu fyzikálních i chemických vlastností půdy a přímo i nepřímo půdní organismy a jejich aktivity (upraveno podle: van Elsas a kol., 2007)



vzduch má často až 100% relativní vlhkost, obsahuje více CO_2 a méně O_2 než nadzemní vzduch a někdy značná množství dalších plynů: metanu a jiných uhlovodíků, oxidů dusíku a síry, sirovodíku, aj.

Půdní organismy jsou živou složkou půdy (**obrázek 9**). Půda, její neživé složky, je pro ně životním prostředím, a na druhou stranu právě **půdní organismy vytvářejí z půdy unikátní přírodní dynamický systém obdařený charakteristickými vlastnostmi a schopností zabezpečovat růst a vývoj rostlin**, a nejen to. Půdní organismy zahrnují nejrůznější formy a stupně organizace od virů, archeí, bakterií, mikroskopických hub, sinic a řas přes prvky a nižší živočichy až po drobné obratlovce. **Půdní mikroorganismy v interakcích s půdními živočichy zabezpečují nepřetržitý tok látek a energie půdou: rozkladné a syntetické procesy, procesy přeměn jednotlivých prvků a živin, interakce mezi půdou a jejím okolím.** V tom je jejich naprosto nenahraditelná úloha.



Obrázek 9. Prostorové vztahy v půdě

Půdní organismy žijí na površích pevných částic v půdních pórech. Mikroorganismy a nejmenší živočichové jsou vázáni na vodní film a vodou zaplněné drobné póry, zatímco větší půdní živočichové obývají póry zaplněné vzduchem

Vlastnosti a funkce půdy

Rozmanitost (diverzita) půd, podobně jako diverzita rostlin a živočichů, představuje přírodní bohatství daného území. Půda je neobnovitelnou složkou tohoto prostředí, navíc nutnou pro přímé zajištění výživy lidstva.

Půda má mnoho **fyzikálních vlastností**. Je to např. textura – zrnitostní složení neboli zastoupení jednotlivých velikostních frakcí v minerálním podílu půdy, viz **ráměček 3**, struktura – prostorové uspořádání částic v půdě, velikost a tvar agregátů, tvar a distribuce půdních pórů, specifická hmotnost půdních částic, barva a teplota půdy, vlhkost půdy a dále např. pohyb vody půdou a provzdušňenost půdy. Některé fyzikální vlastnosti půd jsou poměrně stálé (např. specifická hmotnost, textura), avšak jiné jsou velmi proměnlivé (např. vlhkost, aerační status). Některé vlastnosti se mění působením člověka, často nechťeně.

Pro zvědavé: Proč je Mars červený? A proč jsou půdy v tropech červené?

Mars je planetou zemského typu, jejíž suchý povrch podléhá větrné erozi. Povrchové horniny jsou většinou pokryty pískem a prachem, v němž se vyskytuje velké množství oxidu železitého načervenalé barvy. V přírodě na Zemi se oxid železitý vyskytuje jako minerál hematit (také červený) a je důležitou součástí rovněž načervenalé železné rzi. Proto má povrch Marsu na snímcích z kosmických sond načervenalou barvu. Do marsovské atmosféry se neustálými větry dostává velké množství jemných prachových zrn, která účinně rozptylují červenou barvu. Na snímcích pořízených přistávacími moduly kosmických sond z povrchu Marsu pak vidíme žlutavou (je-li Slunce vysoko nad obzorem) až červenavou (je-li Slunce nízko) barvu oblohy. (zdroj: <http://www.stoplusjednicka.cz/zahady-vesmiru-proc-je-mars-cervený-proc-druzi-ce-nespadnou; přečteno 16. 7. 2015>).

Na Zemi se půdy vyvíjejí působením půdotvorných faktorů, jak jsme si již řekli dříve. Trvá-li vývoj půdy dosti dlouho a je víceméně nerušený, dochází postupně k přeměně původních půdotvorných minerálů na jiné a v tomto procesu zvětrávání a přeměně se nakonec tvoří zcela nové minerály. Podle mineralogického složení půdy se dá dokonce odhadnout její stáří. Po dlouhé době vývoje začíná v půdě převládat jen několik málo minerálů. Jsou to některé tzv. jílové minerály, typicky např. kaolinit, a dále oxidy železa a několika dalších prvků. Tyto procesy můžeme nejlépe pozorovat v tropech. V kombinaci s intenzivním vymýváním některých jiných minerálů a prvků (vápníku, hořčíku, draslíku, aj.) zde proto vznikají půdy červeně zbarvené, jejichž barvu určuje vysoká koncentrace zmíněných minerálů a absence jiných.

Pro zemědělskou praxi jsou důležité různé **technologické vlastnosti** půdy, ke kterým patří např. koheze (soudržnost půdních částic), adheze (přilnavost, lepivost půdních částic na povrch těles vnikajících do půdy), konzistence (označuje určitý stav půdy daný její kohezí a adhezí a momentální vlhkostí), uléhavost a hutnost (projevují se zvýšením objemové hmotnosti a snížením pórovitosti), tření půdy a orební odpor, bobtnání (zvětšování objemu půdy při zvyšování vlhkosti), smršťování (zmenšování objemu při vysychání), kornatění čili tvorba povrchového škráloupu, hrudovatění (k němu dochází zejména při orbě za nevhodné vlhkosti) a rozprašování (rozpad strukturních agregátů).

K **chemickým vlastnostem půd** patří elementární složení půdy (obsah jednotlivých prvků v pevné složce půdy), minerální složení půdy (včetně obsahu tzv. jílových minerálů), složení půdního roztoku a složení půdního vzduchu, obsah a složení půdní organické hmoty, stav půdních koloidů a stav půdního sorpčního komplexu. Běžně se měří půdní reakce (pH půdy), někdy vodivost půdy a půdního roztoku a také redox potenciál.

Za **biologické vlastnosti půd** se považují nejrůznější charakteristiky společenstev půdních organismů a biologických procesů (např. početnost, biomasa a aktivity jednotlivých skupin půdních organismů, rychlost respirace, rychlost přeměn sloučenin dusíku, enzymatické aktivity, ale i složení a struktura půdního mikrobiálního společenstva, obsah DNA, aj.).

Některé vlastnosti (charakteristiky) nelze snadno měřit a někdy ani jejich definice není jednoduchá; tyto vlastnosti se nazývají **atributy půdy** a patří k nim úrodnost, produktivita, resilience, biodiverzita, kvalita a zdraví půdy. **Úrodnost půdy** byla např. definována jako „schopnost půdy uspokojovat požadavky rostlin na vodu a živiny v optimálním množství, soustavně a po celou dobu jejich růstu a vývoje“, **resilience půdy** byla definována jako „schopnost obnovit vlastnosti po nějaké změně“, **biodiverzita** je „bohatost života vyjádřená rozmanitostí organismů a biochemických procesů v daném prostředí“ (Elliot a Lynch, 1994), atd. Další atributy obtížněji definovatelné jsou např. **kvalita půdy a zdraví půdy**.

Nejdůležitější funkce půdy (viz též **rámeček 1** na str. 3) lze shrnout tak, že kvalitní půda

- **zabezpečuje růst rostlin** včetně zásobování rostlin minerálními živinami a vodou, čím umožňuje **tvorbu biomasy**, jež se posléze stává zdrojem pro další komponenty potravního řetězce; v mnoha ekosystémech je půda hlavním zásobníkem organické hmoty,
- má schopnost zadržovat vodu a hospodařit s ní v ekosystému,
- má **filtrační funkci** pro vodu, umožňuje zasakování srážek a mění chemické složení vody ze srážek; přispívá k vodní a tepelné **rovnováze atmosféry**,
- reguluje vzájemnou **výměnu plynů** mezi půdou a atmosférou; výpar vody z půdy ovlivňuje obsah vody v atmosféře,

- má **ekologickou funkci**, zabezpečuje většinu procesů cyklů živin a látek v prostředí,
- pokrývá povrch Země, je místem pro stavby, budovy, silnice atd.

Využívání půdy pro různé účely může vést ke konfliktním situacím. Např. zemědělské využívání půdy zahrnující hnojení vede nevyhnutelně ke zvýšení koncentrace živin, zejména minerálních forem dusíku, v povrchové i podzemní vodě. Tato voda může být současně využívána jako pitná, v níž je žádoucí co nejmenší obsah dusíku. Pro optimální režim tedy musí být definovány priority a využití půdy a krajiny podřízeno těmto prioritám.

Narušení některé z funkcí půdy znamená degradaci půdy. **Degradace půdy** je významovým opakem atributů „kvalita půdy“ nebo „zdraví půdy“ v tom smyslu, že půda ztratila některé své kvality a funkce a tím i atributy zdravé půdy. Tak jako půdy nejsou jen kvalitní nebo nekvalitní (tj. nejedná se o dva různé stavy, ale o kontinuum, na jehož jednom pólu je půdotvorný substrát či naprosto zničená půda a na druhém pólu v nejvyšší možné kvalitě), také degradace půdy nabývá různého stupně: jsou půdy silně degradované i půdy málo degradované; měřit stupeň nebo míru degradace půdy může být ovšem stejně svízelné, jako měřit kvalitu půdy. **Schopnost obnovy** vlastností a atributů narušené či degradované půdy je dlouhodobý proces daný **resiliencí půdy**; při silném stupni degradace je naneštěstí někdy obnova již nemožná a půda se pak jen postupně dále degraduje a stává se z ní mrtvý substrát. Je příznačné pro naši současnost, že této závažné problematice je věnováno velmi málo pozornosti, a to jak v oblasti výzkumu, tak bohužel nikoli překvapivě i na úrovni společenské a politické.

Co je edafon?

V půdě žije a doslova pro nás pracuje „neviditelný tým“ fascinujících organismů, jejichž schopnosti v mnoha směrech předčí naši nejbujnější fantazii. Většina z nich zůstává našemu zraku skryta zejména pro své nepatrné rozměry. Souhrnně nazýváme všechny organismy, které v půdě žijí, a to bez ohledu na to, zda v půdě žijí trvale nebo dočasně, **edafon**.

Každá alespoň průměrně kvalitní půda obsahuje obrovské množství organismů. Kromě podzemních částí rostlin se v půdě nachází půdní mikroorganismy a půdní živočichové. O jejich hmotnosti dává hrubou představu **obrázek 7b**; nabere-li na lopatku 1 kg půdy, která obsahuje řekněme 3 % organické hmoty, tedy 30 g, z toho průměrně bude kolem 4 % organismů (tedy asi 1,2 g). Podíl mikroorganismů na živé hmotě bude 75 % (tedy 0,9 g), zatímco na živočichy bude připadat 20 % (0,24 g) a na kořeny 5 % (asi 0,06 g). Edafon sice představuje malý dílek z půdní masy (zhruba tisícinu hmotnosti z celku, jak ilustruje předchozí příklad), je ale naprosto nepostradatelný pro

fungování celého půdního ekosystému a všech ekosystémů na půdu navazujících; to je sice těžko uvěřitelné, ale o to pravdivější.

Podle hmotnosti (ale i podle počtů, jak uvidíme za chvíli) jsou hlavní složkou edafonu **mikroorganismy, tj. pouhým okem neviditelná část edafonu**. Je jich v půdě tak obrovské množství, že si to jen stěží dokážeme představit. Ačkoliv o půdních mikroorganismech máme mnoho cenných informací a poznatků, přesto je dnes naprosto jisté, že velkou většinu z nich zatím stále vůbec neznáme – a nevíme nic o jejich vlastnostech a funkcích, které v půdě zřejmě mají.

Půdy jsou velmi pestré, pokud jde o zastoupení hlavních složek, jak jsme si již ukázali v úvodní kapitole, a jsou také velmi rozmanité, pokud jde o skladbu organismů a početnost jejich jednotlivých skupin. Jeden z možných příkladů uvádí **tabulka 1**.

Z příkladu uvedeného v tabulce 1 vidíme, že na ploše 1 hektaru (100 × 100 m) je ve svrchní vrstvě půdy asi 5 tun půdních organismů (nepočítaje 10 tun kořenů rostlin), z nichž asi 2,6 tuny připadá na bakterie a 2 tuny na půdní houby, dále např. 0,1 tuny na žížaly a roupice atd. Zatímco ale žížaly jsou na jednom hektaru v půdě stovky až tisíce, mikroorganismů je zde nepředstavitelně velké množství jedinců (kdybychom počítali s průměrnou hmotností bakteriální buňky 1 pikogram (tj. 10^{-12} g), pak by počet bakterií na jeden hektar odpovídal hodnotě 10^{18} bakterií). Co všechny tyto mikroorganismy v půdě dělají? A jaké jsou, jak vypadají, jak se navzájem ovlivňují, jak spolupracují či jak se požívají, jak koexistují se živočichy? Na tyto otázky se pokusíme odpovědět v dalších částech této brožury.

Pro zvědavé: Jaký je největší a nejmenší organismus na Zemi?

Jednoduché otázky, složité odpovědi... Začněme s těmi malými – a hned se dostaneme do problému. Jak definovat život a jeho reprezentanty, tedy organismy? Plnohodnotným organismem je jistě již i zcela nepatrná bakteriální nebo archeální buňka. Jejich buňky mají obvykle velikost několika mikrometrů (μm ; 10^{-6} m), ale jsou známy i o řád menší, tedy o průměru cca 100–200 nanometrů (nm; 10^{-9} m; viz např. <http://www.osel.cz/8096-nejmensi-zivy-organismus.html>, autor J. Pazdera, přečteno 27. 7. 2015). Menší než tyto miniaturní buňky jsou např. viry a viroidy, jenže ty jsou někde na rozhraní mezi neživou přírodou a životem – neumějí se např. samy množit.

A jak je to s těmi největšími organismy? Internetové vyhledávače nabídnou hned několik odpovědí, např. plejtváka obrovského o hmotnosti až 200 tun nebo z říše rostlin obrovské druhy stromů, sekvoje a blahovičníky vysoké snad až 150 m a fíkovníky kořenící do hloubky 120 m nebo „osikový klon o 47 000 kmenech rostoucí ve Wasatch Mountains v americkém Utahu. Geneticky totožné osikové kmeny váží společně na 6500 tun, přičemž všechny mají společný kořenový systém. Nad zemí vypadají

Tabulka 1. Množství organické hmoty a organismů na ploše 1 hektaru ve svrchní 15cm vrstvě půdy ve vlhčích podmínkách mírného pásma

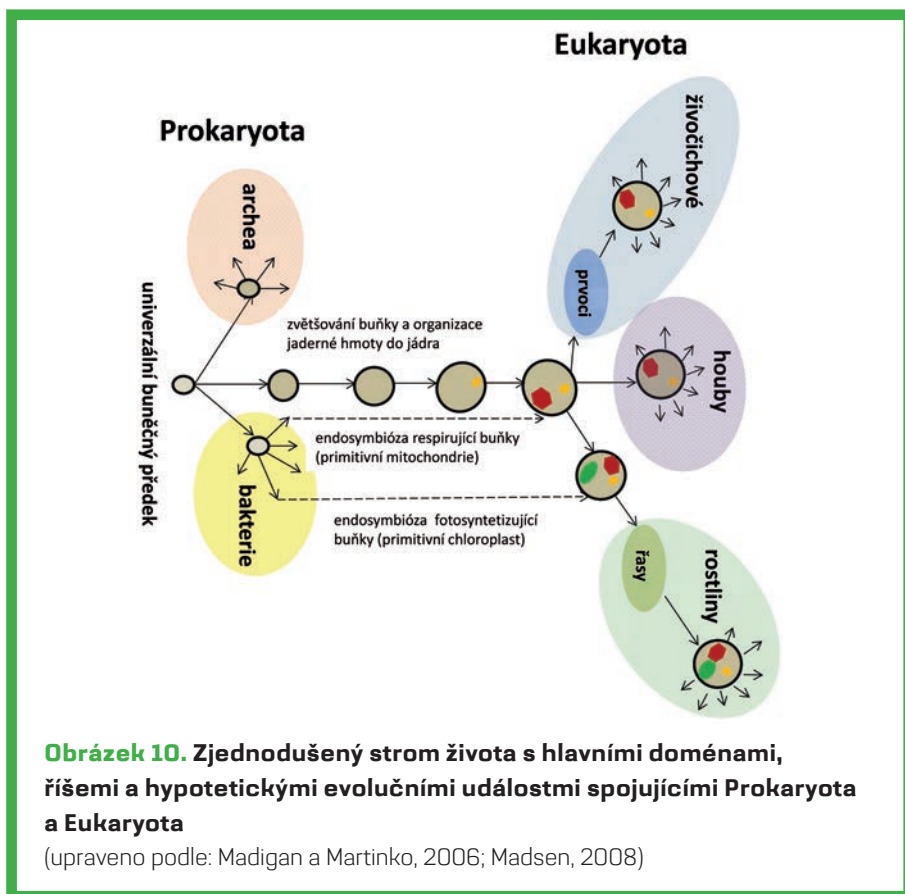
(upraveno podle: Buol a kol., 1972, cit. in Foth, 1990)

Skupina	Podskupina	Suchá hmotnost		Počet jedinců
		(%)	(kg ha ⁻¹)	
organická hmota živá i mrtvá		6	120 000	–
	mrtvá organická hmota	5,28	105 400	–
	kořeny rostlin	0,5	10 000	–
mikroorganismy	bakterie	0,10	2 600	2 × 10 ¹⁸
	houby	0,10	2 000	8 × 10 ¹⁶
	aktinomycey	0,01	220	6 × 10 ¹⁷
	řasy	0,0005	10	3 × 10 ¹⁴
	prvoci	0,005	100	7 × 10 ¹⁶
nečlenovci	hlístice	0,001	20	2,5 × 10 ⁹
	žížaly a roupice	0,005	100	7 × 10 ³
členovci	chvostokoci	0,0001	2	4 × 10 ⁵
	roztoči	0,0001	2	4 × 10 ⁵
	stonožkovci	0,001	20	1 × 10 ³
	sekáči	0,00005	1	2,5 × 10 ⁴
	mravenci	0,0002	5	5 × 10 ⁶
	mnohonožky, stonožky	0,0011	25	3,8 × 10 ⁷
	hmyz	0,0015	35	5 × 10 ⁷
	stejnonožci	0,0005	10	4 × 10 ⁷
obratlovci	myši, krtci	0,0005	10	4 × 10 ⁵
	králíci, veverky	0,0006	12	10
	lišky, medvědi aj. zvěř	0,0005	10	< 1
	ptáci	0,0005	10	100

kmeny jako jednotlivé stromy, ale rostou ze společných základů“ (<http://21stoleti.cz/2005/05/07/zazraky-ze-sveta-rostlin/>, přečteno 27. 7. 2015). Podle jiných údajů jsou největším (=největší plochu zabírajícím) organismem některé druhy hub, např. václavek, jejichž mycelium se rozprostírá na plochách jednotek až snad desítek kilometrů čtverečních (<http://zivagaia.cz/2014/11/30/znote-nejvetsi-zijici-organismus-sveta/>, přečteno 27. 7. 2015). Můžete si tedy vybrat...

V půdě nalezneme reprezentanty všech domén a říší života v celé jeho rozmanitosti.

Nejjednodušší rozdělení organismů je na **(1) buněčné organismy**, tedy organismy v pravém slova smyslu, které vykazují základní charakteristické rysy: mají metabolismus (příjem látek z vnějšího prostředí, jejich přeměna a vylučování jiných látek do okolí, získávání energie k buněčným procesům), vykazují růst, diferenciaci a reprodukci (např. rozdělení buňky na dvě dceřiné), mají schopnost komunikace (výměna informace s jinými buňkami), často jsou pohyblivé a mohou se vyvíjet, atd.; **(2) nebuněčné struktury**, které postrádají základní výše uvedené charakteristiky buněk, ale jsou tvořeny podobnými látkami (makromolekulami) a jsou tak či onak svázaný s buněčnými organismy – patří sem např. viry a priony.



Buněčné organismy se klasicky zařazovaly do 5 říší: Prokaryota, jednobuněčná Eukaryota a mnohobuněčná Eukaryota členící se na říše rostliny, houby a živočichové. Toto rozdělení, založené primárně na morfologii organismů, je ovšem dnes překonáno a všechny buněčné organismy se dělí na **3 skupiny (domény): bakterie, archea a eukaryota**. **Obrázek 10** zachycuje zjednodušený strom života s hlavními doménami, říšemi a hypotetickými evolučními událostmi spojujícími Prokaryota a Eukaryota.

Následující text obsahuje jen velmi stručný přehled nejdůležitějších skupin půdních organismů, tzn. **edafonu**; pojednává o **bakteriích, archeích a některých skupinách eukaryot významných v půdě, včetně půdních bezobratlých živočichů**. Nezmiňuje ale další živočišné skupiny, které svůj život nebo jeho část prožívají v půdě, jako jsou např. drobní obratlovci. Nezmiňuje také viry a subvirové částice (virusoidy, viroidy, priony, aj.). I když o jejich ekologii není mnoho známo, je např. jisté, že půdy i vody obsahují nepředstavitelně obrovské množství virů v dormantním stavu. Viry jsou zřejmě vůbec nejpočetnější „organismy“ v půdě (a na Zemi vůbec). U některých virů je třeba, aby prošly cestou skrze některé půdní organismy před tím, než se stanou infekčními pro vyšší živočichy a člověka. Viry ani jiné nebuněčné „organismy“ nehrají významnější samostatnou roli v půdních procesech; jejich význam a nepřímý vliv na půdní organismy a půdní procesy je v tom, že jsou patogeny a souputníky mnoha jiných (buněčných) organismů včetně člověka. Jako stále významnější role virů v přírodě se ukazuje virový přenos genetické informace horizontálně mezi hostiteli, čímž viry jistě ovlivňují celou řadu vlastností a schopností buněčných organismů.

Vlastnosti a přehled edafonu

Mikroorganismy

Jak již bylo řečeno, mikroorganismy jsou nejpočetnější a zároveň okem neviditelná složka půdních organismů. Můžeme je charakterizovat takto:

- organismy, které se dovedou adaptovat na jakékoliv prostředí, včetně extrémních přírodních podmínek i toxických podmínek vytvořených člověkem,
- organismy, které si udrží životaschopnost i několik milionů let,
- organismy, které dovedou rozložit jakoukoliv organickou látku,
- organismy, bez nichž by nebylo možné zahájit rozklad složitých organických polymerů ani dokončit závěrečnou mineralizační fázi rozkladu organické hmoty,
- organismy, které zahrnují veškeré metabolické kombinace při získávání energie a biogenních prvků,
- mistři v transformacích organické hmoty i biogenních prvků,
- všudypřítomné, neoddělitelně spjatý s půdou a přeměnami látek v půdě,

- pionýrské organismy při kolonizaci neživého substrátu v prvních fázích půdotvorných procesů; schopné fixace atmosférických prvků a jejich účinné akumulace v biomase.

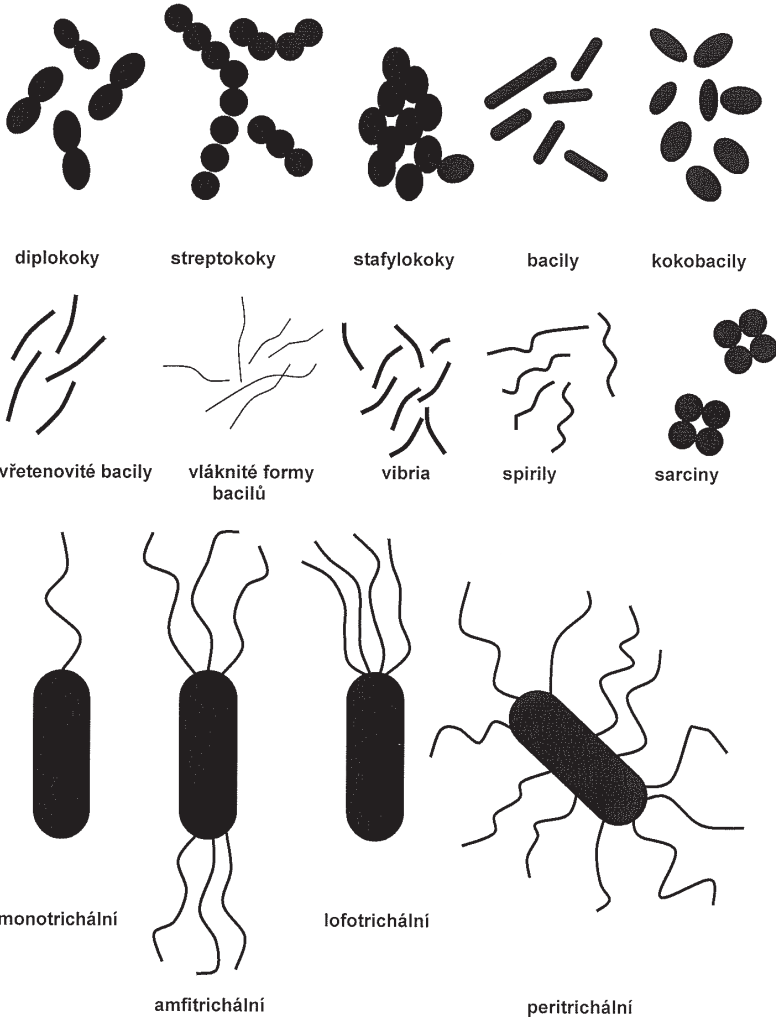
Většina, tj. nejméně asi 90 a možná až 99 % půdních mikroorganismů zůstává prozatím neprostudována z toho důvodu, že jsou nekultivovatelné, tzn. jsou ve stavu, kdy je nelze dostupnou kultivační technikou rozmnožit v laboratorních podmínkách a dále studovat jejich vlastnosti.

Bakterie – první doména organismů

Bakterie tvoří samostatnou doménu organismů; jsou to jednobuněčné organismy s prokaryotickou organizací buněk: nukleotid tvoří jedna makromolekula kružnicové DNA neohrazené jadernou membránou, v buňce nejsou mitochondrie ani plastidy. Většina bakteriálních buněk má buněčnou stěnu. Bakterie se rozmnožují jen nepohlavně, dělením nebo pučením. Jsou metabolicky velmi plastické, na základě studia izolovaných kmenů se rozlišuje kolem 20 různých skupin bakterií. Většina z nich se vyskytuje v půdě a v sedimentech, ve většině půd v rozmezí 10^6 – 10^{10} buněk na 1 gram půdy, biomasa bakterií činí 300–3000 kg na ploše 1 hektaru. Prozatím je popsáno přes 7000 druhů bakterií, avšak jejich počet je mnohem vyšší, některé odhady uvádějí až několik milionů.

Tyto jednobuněčné mikroorganismy mají celou řadu specifík: Jsou to organismy s nejpestřejším spektrem metabolismu (tato skupina zahrnuje všechny způsoby získávání energie a uhlíku), organismy s největším aktivním povrchem těla, organismy schopné nejrychleji se reprodukovat, jsou nepostradatelné pro finální mineralizační fázi rozkladu organické hmoty.

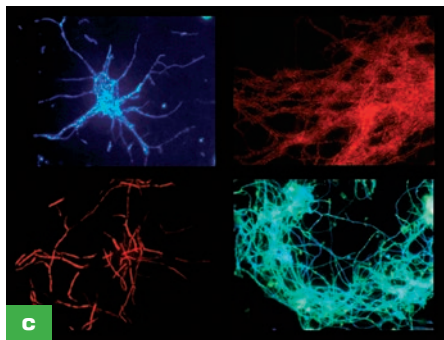
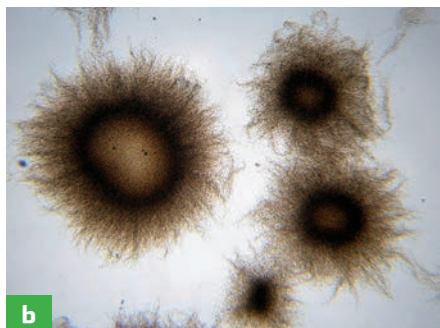
Bakterie mají nejčastěji tvar tyčinek nebo koků (**obrázek 11**). Tyčinky jsou někdy rovné, jindy zakřivené nebo vytvářející spirálovitý tvar. Typická velikost tyčinkovitých bakterií je 0,5–1,5 μm v průměru a 1–4 μm délky; průměr kulovitých bakterií (koků) je do několika μm . Vlákňité bakterie a spirily mohou mít buňky dlouhé desítky μm . Velikost buněk bakterií také souvisí s jejich statusem: rostoucí bakterie mají větší buňky než bakterie nerostoucí. V poslední době byly v půdě i vodě objeveny velmi malé bakteriální buňky (tzv. trpasličí buňky). O jejich funkci v prostředí není známo téměř nic, dá se předpokládat, že budou hrát významnou úlohu v podmínkách s limitovanými zdroji uhlíku a živin, kdy jejich malé rozměry poskytují výhodný poměr aktivního povrchu k celkovému objemu organismu (tj. buňky). Koky se někdy spojují do shluků a balíčků až o několika stovkách buněk. Některé bakterie mají vláknité buňky – typický vláknitý tvar mají aktinomycey. Vlákna jsou tvořena řetězci buněk. Některé bakterie vytvářejí kolem buněk zvláštní útvary – pochvy, zatímco jiné tvoří různé výběžky. Některé druhy bakterií jsou pleiomorfní, jejich buňky mohou mít různý tvar v závislosti na různých faktorech vnějšího prostředí.



Obrázek 11. Morfologie bakteriálních buněk

Bakterie mají jen několik morfologicky odlišitelných tvarů; naproti tomu jsou vybaveny velkým množstvím různých typů metabolismu. To jim dává obrovské možnosti při rozkladu látek – na Zemi patrně neexistuje látka, kterou by bakterie a jiné mikroorganismy nedokázaly rozložit.

Ačkoliv je tvarová rozmanitost bakterií malá, jejich funkční (metabolická) diverzita je obrovská a odpovídá velké genetické diverzitě. Nejvýznamnější úlohou a funkcí bakterií v půdě je jejich nesmírně plastická **schopnost rozkládat nejrůznější organické sloučeniny** včetně přirozených makromolekul i umělých (xenobiotických) sloučenin. Spolu s půdními houbami a v menší míře i jinými skupinami edafonu mají nezastupitelnou roli rozkladačů odumřelé biomasy. Významná je však i schopnost půdních bakterií produkovat různé bioaktivní látky. Snad neznámější jsou látky využívané jako antibiotická léčiva v humánní i veterinární medicíně. K neznámějším producentům antibiotik patří rod *Streptomyces*, jehož zástupce zachycuje **obrázek 12**. Podobně jako i jiní zástupci aktinobakterií mají streptomycety silně rozvinutý sekundární metabolismus, podílejí se na tvorbě humusových látek, ale jsou významné i pro jejich rozklad a rozklad těžce rozložitelných sloučenin. Tuto skupinu proslavilo první účinné antibiotikum proti tuberkulóze, streptomycin. Streptomycety jsou přirozenými producenty celé řady dalších významných antibiotik, např. chloramfenikolu, erytromycinu, tetracyklinu, vankomycinu a neomycinu a stále stojí ve středu zájmu při vyhledávání nových účinných antibiotik i jiných léčiv.

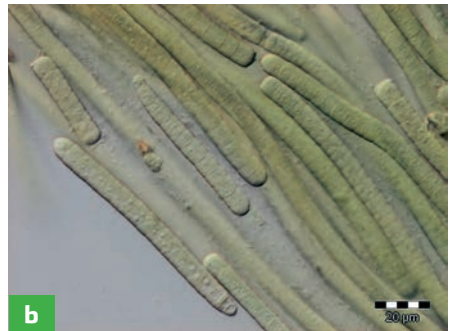
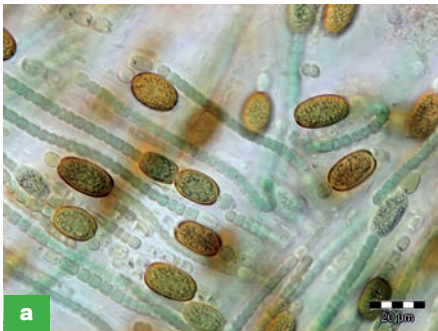


Obrázek 12. Půdní vláknité aktinobakterie rodu *Streptomyces* na kulturační agarové půdě (a; foto L. Cibulková), v tekuté kultuře (b; foto J. Jirout) a ve formě mikroskopických preparátů zvýrazněných fluorescenční technikou CARD-FISH a DAPI (c; foto J. Petrásek a M. Šestauberová)

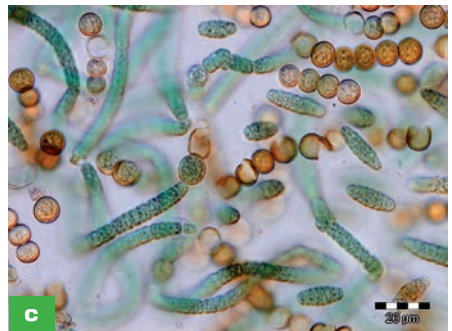
Mnoho bakterií má i další významné funkce: jsou hybateli cyklů všech biogenních elementů. Zvláštní význam má bakteriální fixace molekulárního dusíku i schopnost litotrofního metabolismu či bakteriální respirační denitrifikace. Bakterie tak obsazují specifické niky v prostředí a díky jejich metabolické aktivitě probíhají neustálé přeměny látek v prostředí. Řada autotrofních i heterotrofních bakterií patří mezi první organismy osidlující půdotvorné substráty a podílející se na **vzniku půd**. Také vývoj mnoha půd těsně souvisí s bakteriální aktivitou. Mnohé bakterie, v čele s fotosyntetickými sinicemi (**obrázek 13**), jsou významnými partnery v řadě symbióz s jinými organismy.

Pro zvědavé: Kolik je na Zemi druhů organismů?

Je asi obecně známo, že biologové třídí organismy do systému, jehož základem je druh. Pokud pomíneme otázku definice druhu (která není vůbec jednoduchá, respektive definice druhu odvozená pro vyšší organismy selhává částečně nebo zcela u mikroorganismů), nabízí se otázka, jaká je tedy biodiverzita na Zemi? Kolik zde



Obrázek 13. Půdní sinice (Cyanobacteria) r. *Cylandrospermum* (a), *Phormidium* (b) a *Nodularia* (c) pozorované světelnou mikroskopií. Černobílá úsečka v pravém dolním rohu měří 20 μm (foto A. Lukešová)

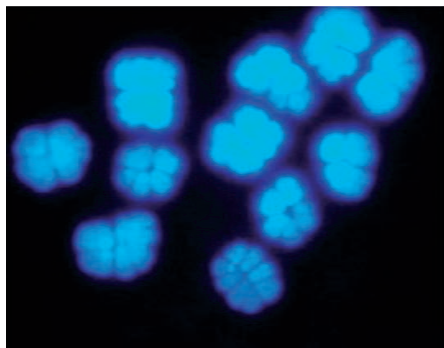


žije druhů? Švédský přírodovědec Carl Linné se v polovině 18. století dobral počtu necelých 10 tisíc druhů rostlin a živočichů. Dodnes se vědci nemohou shodnout, kolik druhů na Zemi máme – ne že by byli tak nesnášenliví a nemohli se prostě dohodnout, ale problém je v tom, že je naprosto jisté, že většinu druhů vlastně zatím neznáme, čekají na své objevení, popis a charakteristiku a zařazení do systému organismů. Doposud je takto definováno kolem 2 milionu druhů, ale to je možná jen několik procent všech druhů na Zemi! Poslední odhady hovoří o cca 10 milionech druhů, avšak do toho se nepočítají bakterie a archea, u nichž koncepce biologického druhu selhává, jak jsme se již zmínili.

Archea – druhá doména organismů

Archea představují vzhledem k unikátní stavbě buňky druhou doménu buněčných organismů na Zemi. Morfologicky připomínají bakterie, buňky mají tvar koků i tyčinek, někdy tvoří shluky buněk (**obrázek 14**). Velikost buněk je v zásadě podobná jako u bakterií. Hlavním znakem, který odlišuje archea a bakterie, je **stavba cytoplazmatické membrány a buněčné stěny**, která představuje významně odolnější povrchovou bariéru chránící vnitřní prostředí před okolními vlivy a umožňující život i v extrémních podmínkách prostředí. Archea se množí většinou dělením nebo pučením, stejně jako bakterie.

Známa a dobře popsaná archea patří do tří fenotypických skupin, které zahrnují metanogeny, extrémní termofily a extrémní halofily. Archea, ačkoliv byla dlouho považována za mikroorganismy typické pouze pro extrémní prostředí vřídelních pramenů, jsou podobně jako ostatní mikroorganismy všudypřítomná a tvoří významnou součást edafonu. Unikátní schopností archeí je **metanogeneze**, schopnost redukovat mnohé organické sloučeniny a produkovat metan. O jejich úloze v půdě a terestrickém ekosystému je ale známo stále relativně málo. Metanogenní archea by mohla být velmi důležitým článkem rozkladu a mineralizace organických látek v půdě,



Obrázek 14. Příklad půdních metanogenních archeí (*Methanosarcina barkeri*) zviditelněných mikroskopickou technikou CARD FISH

Velikost jednotlivých buněk je v řádu μm
(foto M. Stehlíková)

uplatňující se v anoxických mikroprostředích běžných v mnoha půdách, kde aerobní mikroorganismy nemohou účinně metabolizovat. Archea se účastní transformace organické hmoty a prvků podobně jako bakterie, významná je jejich schopnost vypořádat se s extrémními podmínkami a anaerobiózou. Jsou také významnou složkou mikrobiomu zaživacích traktů půdních živočichů. Na rozdíl od bakterií nejsou mezi archei známé žádné patogenní druhy.

Eukaryota – třetí doména organismů

Do domény Eukaryota se zahrnují všechny organismy, které nepatří do domén bakterie a archea. Eukaryota tedy představují velmi heterogenní skupinu organismů, neboť k nim patří jak jednobuněčné organismy mnohdy velmi malých rozměrů, tak i např. houby, rostliny a živočichové. Na rozdíl od prokaryot není ale u eukaryot příbuznost jednotlivých skupin organismů tak jednoznačná a zřejmějše a existuje více variant fylogenetických stromů.

Rosypal a kolektiv (2003) uvádějí kompromisní systém eukaryot založený na 5 podskupinách (řících):

1. **Prvoci (Protozoa)**, jednobuněční živočichové, zahrnují ale např. i krásnoočka a obrněnky, uváděné někdy ve skupině řas, a hlenky, uváděné u hub.
2. **Chromista (Chromista)**, většinou jednobuněčné organismy převážně fototrofní, ale i chemotrofní, zahrnují i mořské hnědé řasy Oomycota, uváděná také u hub, a některé prvoky.
3. **Rostliny (Plantae)**, jednobuněčné i mnohobuněčné organismy, fotoautotrofní, obsahující chloroplasty uložené v cytoplazmě. Patří sem různé skupiny řas (Glaucophyta, Rhodophyta, Chlorophyta), parožnatky, mechorosty a všechny vyšší rostliny.
4. **Houby (Fungi)**, jednobuněčné i vícebuněčné organismy s chemoheterotrofním osmotrofním typem výživy. Některými znaky jsou bližší živočichům než rostlinám.
5. **Živočichové (Animalia)**, jednobuněčné (trubénky) ale ve velké většině mnohobuněčné chemoheterotrofní organismy bez typické buněčné stěny, živící se pohlcováním soust potrav.

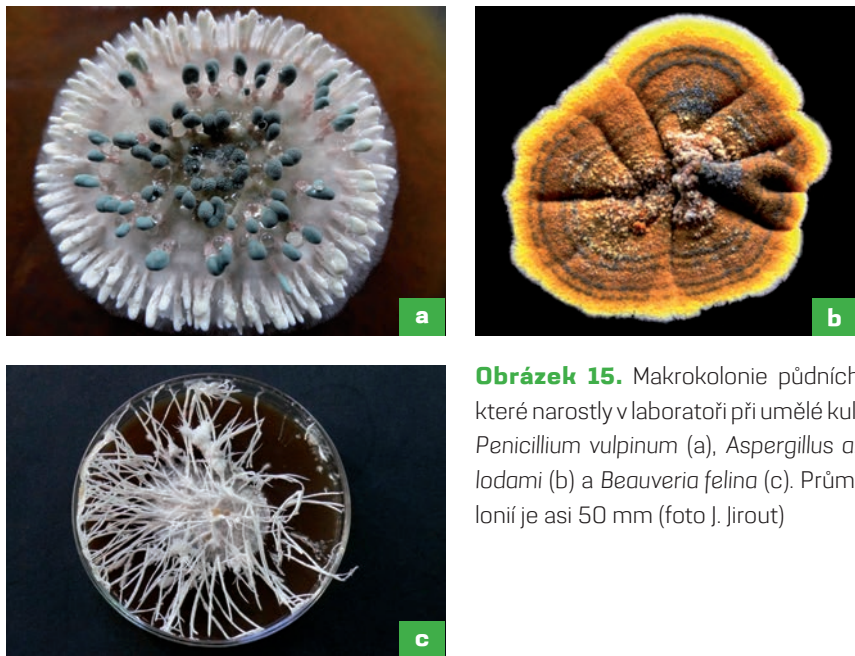
Základní rozdíl mezi prokaryotními organismy (bakterie a archea) a eukaryotními organismy (houby, rostliny, živočichové, ...) spočívá v tom, že v eukaryotních buňkách jsou jádro i jiné organely odděleny od cytoplazmy jaderným obalem (membránou). Kromě toho je pro eukaryotní buňky typická přítomnost dalších struktur neznámých u buněk prokaryotických: Golgiho komplexu, peroxisomů aj. Podobně jako prokaryota i některá eukaryota mají buňky s buněčnou stěnou (např. rostliny, houby), zatímco jiné eukaryotické buňky buněčnou stěnu postrádají (živočichové a většina protozoí).

Zvláštní postavení v eukaryotní buňce zaujímají mitochondrie a chloroplasty, jejichž morfologická i biochemická podobnost s bakteriemi a sinicemi vedla k formulování tzv. endosymbiotické teorie. Podle této evoluční teorie byly jisté bakterie schopné využívat kyslík pohlceny eukaryotní buňkou a vyvinuly se v mitochondrie a podobně pohlcené sinice si eukaryotní buňka osvojila jako dnešní chloroplasty (viz **obrázek 10**).

Houby

Houby jsou eukaryotní organismy, a to velmi rozmanité jak morfologicky, tak funkčně i svým způsobem života a nároky na prostředí. Některé druhy jsou sladkovodní, několik druhů je mořských; většina hub ale patří mezi suchozemské organismy a jejich typickým prostředím je půda. Houby jsou **heterotrofní** organismy, žijí tedy z organických látek vytvořených jinými organismy; jsou buď **saprofytické** (využívají odumřelou biomasu) nebo **parazitické**. Mnohé druhy jsou **symbiotické, zásadní význam mají mykorhizní houby vstupující do symbiózy s kořeny rostlin**. Metabolická diverzita hub není tak velká jako diverzita bakterií. Prozatím je popsáno přes 75 000 druhů hub, avšak odhaduje se, že jich existuje přes 1,5 milionu druhů (**obrázek 15**).

Půdní houby patří vedle bakterií k nejhojnějším půdním organismům. Vzhledem k vláknité povaze mycelia většiny půdních hub je praktické uvádět u hub délku



Obrázek 15. Makrokolonie půdních hub, které narostly v laboratoři při umělé kultivaci: *Penicillium vulpinum* (a), *Aspergillus amstelodami* (b) a *Beauveria felina* (c). Průměr kolonií je asi 50 mm (foto J. Jirout)

či biomasu mycelia: gram půdy může obsahovat stovky metrů houbových hyf a biomasa může dosahovat několika tun na ploše jednoho hektaru. **Biomasa hub je tedy stejná nebo často větší než biomasa bakterií v půdě.** Existují odhady o extrémní biomase mycelia jedinců půdních hub přesahující 10 tun a zaujímající plochu stovek hektarů. Houby by tak patřily k největším, nejtěžším a nejstarším (věk mycelia je až několik tisíc let) organismům na Zemi vůbec.

Hyfy hub mají obvykle 2–10 μm v průměru, ale často jsou i širší, a tak se houbová vlákna v půdě vyskytují jednak ve větších pórech, jednak obalují agregáty půdních částic (na rozdíl od bakterií, jejichž buňky se typicky nacházejí v malých pórech). Kromě sítí mycelia se v půdě nachází spory a části mycelia hub schopné vytvořit novou kolonii houby (propagule, též CFU = *colony forming units*) v množství 10^4 – 10^6 na gram půdy.

Zásadní význam hub v půdě a prostředí vůbec souvisí s jejich **schopností rozkládat složité vysokomolekulární látky** včetně celulózy, hemicelulózy, ligninu, pektinů a jiných biomolekul. Vylučují do prostředí enzymy, které extracelulárně štěpí tyto, pro většinu jiných organismů nedostupné, polymery. Vzhledem k vyšší toleranci k nízkému pH představují houby hlavní rozkladače odumřelé biomasy i humusových látek v kyselějších půdách.

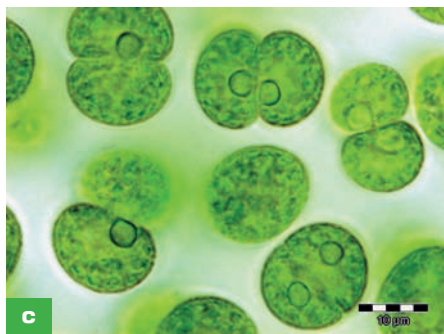
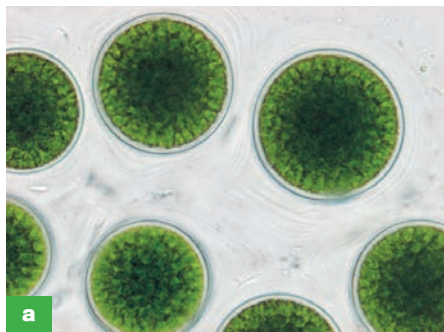
K dalším významným funkcím půdních hub patří jejich schopnost **kumulovat ve své biomase živiny** (které jsou po odumření uvolněny pro jiné organismy); vzhledem k obrovské biomase hub se jedná o velké množství živin. Hyfy a metabolity hub významně přispívají ke stmelování půdních částic a k tvorbě agregátů a tím podporují **vznik a zachování půdní struktury** příznivé pro růst rostlin. Obrovský a patrně zatím nedoceněný význam mají **mykorhizní houby** pro své hostitele, tedy rostliny. Rozsáhlá síť mycelia zpřístupňuje symbiontům vodu a živiny.

Řasy

Abundance řas ve svrchní vrstvě půdy může být značná; půdy běžně obsahují 10^3 – 10^6 CFU na gram půdy. Biomasa řas v půdě dosahuje 10–300 kg na hektar plochy, výjimečně až ca 1500 kg / ha (viz Coyne, 1999). Hlavním kontrolním mechanismem ovlivňujícím abundanci řas v půdě je voda. Po deštích se často povrch půdy zazeleňuje – společenstvo řas se rozvíjí a dosahuje značné biomasy. Zatím **je popsáno přes 30 000 druhů řas (obrázek 16).**

Význam volně žijících řas v půdě spočívá v několika aspektech. Řasy, společně s již zmíněnými prokaryotickými sinicemi, především představují jednu z hlavních **primárních cest vstupu uhlíku do půdy** ve formě fotosynteticky fixovaného CO_2 zabudovaného do organických látek, a to zejména v některých prostředích s extrémními podmínkami, které neumožňují rozvoj vyšších autotrofních organismů: v aridních podmínkách polopouštních a pouštních oblastí i v jiných ekosystémech chudých na živiny. Řasy slouží jako potrava mnoha jiným organismům v půdě a tak se jejich

biomasa stává zdrojem organických látek pro chemotrofní, organotrofní a heterotrofní organismy. Jsou tak v těchto extrémních prostředích také nezastupitelným zdrojem látek esenciálních pro vývoj živočichů. V některých půdách může být významná **produkce polymerních látek** s tmelícím účinkem – řasy tak vedle mnoha jiných půdních organismů podporují vznik a uchování určité struktury půdy. Endolitické druhy (žijící uvnitř hornin v prasklinách) mohou být významné při **vzniku půd**. Jejich význam je zde patrně mnohem větší, než se donedávna předpokládalo. Mnoho řas vstupuje do symbiotických spojení s houbami (=lišejníky), ale i s některými prvky aj.

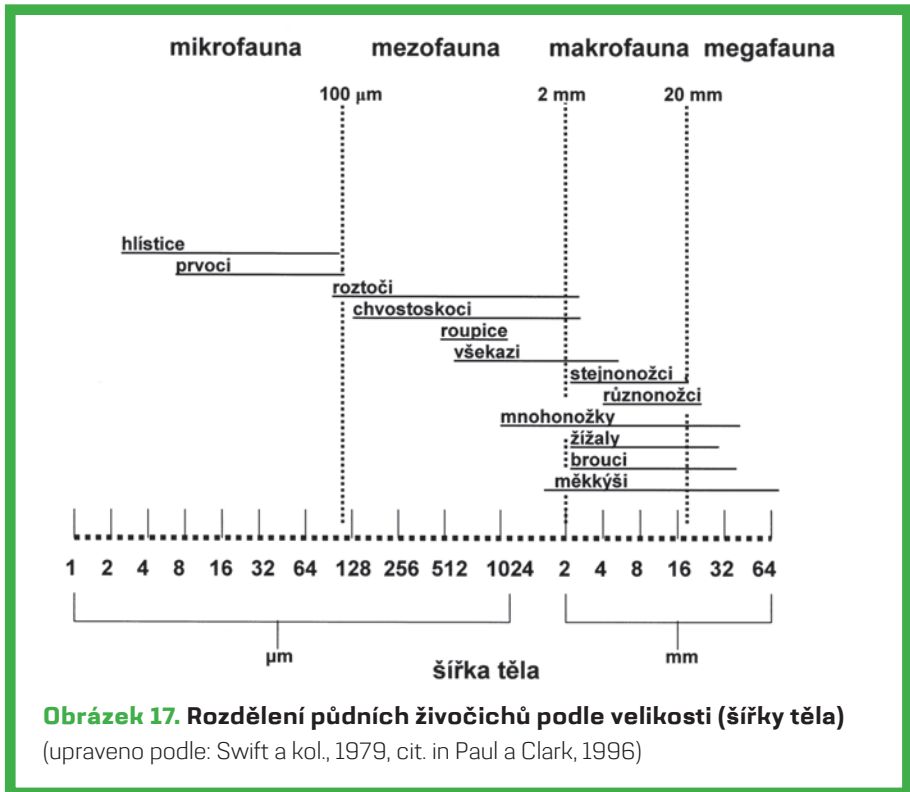


Obrázek 16. Příklady půdních druhů řas

(a) *Follicularia ettlia*, (b) *Klebsormidium crenulatum*, (c) *Floydiella terrestris*; pozorovány světelnou mikroskopií. Velikost zobrazených buněk řas je mezi 10–40 µm (foto A. Lukešová)

Půdní fauna

Půda je obývána nepřehledným množstvím živočichů. Pro jejich základní klasifikaci je půdní zoologové třídí podle efektivní šířky jejich těla do tří či čtyř základních skupin: mikrofauna, mezofauna a makrofauna a případně i megafauna (**obrázek 17**). Toto třídění je navíc i hrubým měřítkem schopnosti půdních živočichů pronikat do různých velikých půdních prostor (pórů).

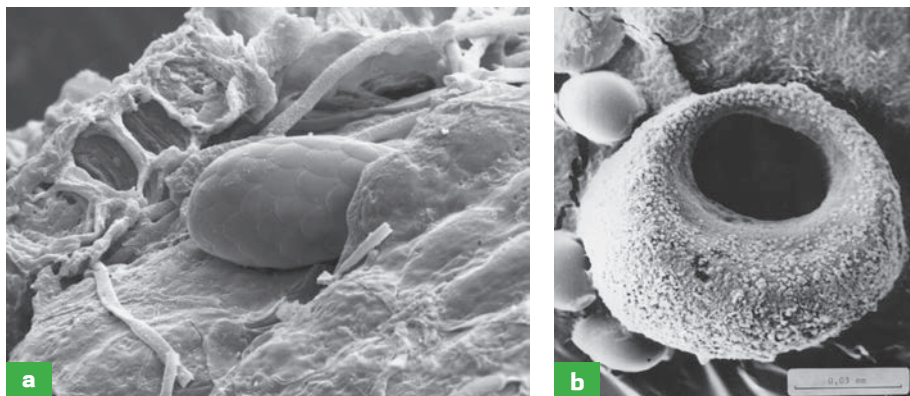


Mikrofauna

K nejmenším patří čtyři základní skupiny půdních živočichů. Z hlediska jejich početnosti a rolí v půdě jsou nejvýznamnější **prvoci a hlístice**. Podstatně menší skupinou jsou **vířníci**, jejichž význam v půdě je dosud málo probádán. Ještě méně je pak známo o významu půdních **želvušek**, živočichů, kteří se vyznačují schopností přecházet do tzv. kryptobiózy, klidových stadií, ve kterých mohou dlouhodobě přečkat i ty nejextremnější podmínky (teploty nad 100 °C, silný mraz a dokonce i vakuum).

Prvoci

Prvky jsou v této publikaci pro zjednodušení označovány jednobuněčné nebo vzácněji jednoduché vícebuněčné organismy z říší Protozoa a Chromista, kterých je dosud známo více než 30 000 druhů. Jsou to převážně vodní živočichové, avšak řada z nich žije i v půdě nebo jsou symbionty či parazity vyšších živočichů (**obrázek 18**).

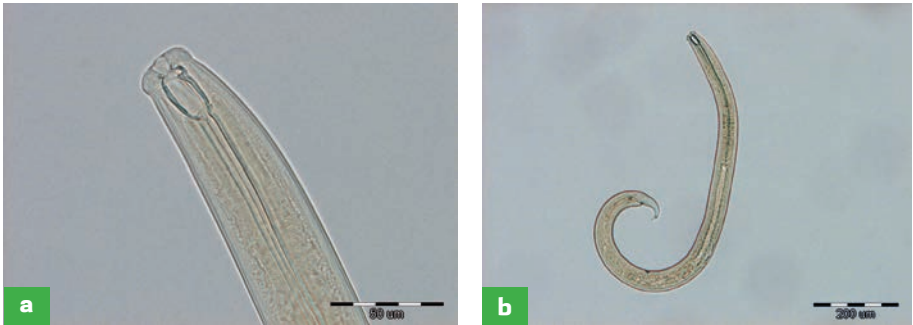


Obrázek 18. Krytenky rodu *Trinema* (a) a *Arcella* (b) patří k půdním prvokům vytvářejícím pevné schránky. Velikost schránek těchto krytenek je asi 20 μm (foto K. Tajovský)

V půdě se můžeme setkat s **měňavkami, bičíkovci a nálevníky**, kteří žijí ve vodní blance na povrchu půdních částic nebo v pórech mezi nimi, i s různými **vývojovými stadii parazitických výtrusovců**. Volně žijící půdní prvoci jsou ve srovnání s vodními mnohem menší a většinou dosahují velikosti od několika do jednoho sta mikrometru. S většími druhy se můžeme setkat pouze v opadové vrstvě půdy. **Živí se především bakteriemi**, v případě jejich nedostatku i mikroskopickými houbami, řasami, jinými prvoky nebo částčkami organické hmoty. Někteří prvoci, např. **krytenky**, vytvářejí pevné schránky. Nepříznivé podmínky mohou přežívat přechodem do klidových stadií (cyst), jejichž prostřednictvím se také mohou velmi dobře šířit. Počet prvoků v půdě je často závislý na dostupnosti potravy, tedy početnosti bakterií či jiných mikroorganismů. Jejich průměrná početnost může kolísat v rozmezí od 10 milionů až po miliardu na čtvereční metr a jejich biomasa od 50 do 3000 mg/m^2 (Petersen a Luxton, 1982). Jako predátoři bakterií stimulují dynamiku bakteriálního růstu a aktivity a hrají významnou roli v cyklech živin v půdě a výživě rostlin, jelikož při predaci uvolňují snadno přístupné formy dusíku. Prvoci slouží jako potrava dalším organismům. Mnoho prvoků je spolu s půdními částicemi pohlceno většími živočichy, typicky žížalami nebo roupicemi, a zahyne v jejich trávicím traktu.

Hlístice

Hlístice jsou volně i paraziticky žijící živočichové s obylým válcovitým tělem dlouhým až několik desítek cm (**obrázek 19**). Půdní hlístice jsou však většinou malé, dosahují délky od cca 0,15 do 5 mm. Dosud bylo popsáno přes 28 000 druhů hlístic, celkový počet druhů je však odhadován na mnoho set tisíc. Jejich průměrná početnost se pohybuje



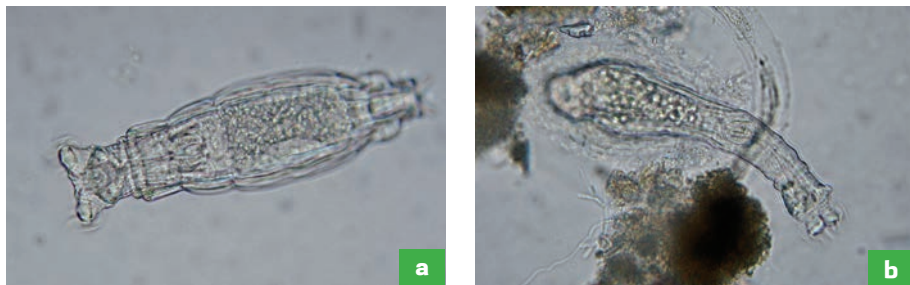
Obrázek 19. Dravý druh půdní hlístice, *Clarkus papillatus* (Mononchida, Mononchidae) tak, jak vypadá v optickém mikroskopu: detail (a) a celé tělo (b) (foto L. Háněl)

v řádu několika milionů jedinců na metr čtvereční, ale v místech s vysokou biologickou aktivitou (např. na vlhkých loukách) může dosahovat až desítek milionů jedinců na metr čtvereční. To odpovídá jejich celkové biomase 0,1–10 g/m². Hlístice obývají zejména svrchní vrstvy půdy a na ploše se často vyskytují ohniskově, v závislosti na dostupnosti potravních zdrojů a příznivých podmínek prostředí i na vlastnostech jednotlivých druhů (pohyblivosti, rychlosti rozmnožování). V závislosti na potravních zvycích rozeznáváme **šest základních ekologických skupin hlístic, tj. druhy fytofágní (= fytoparazitické), bakteriofágní, mykofágní, fyto-mykofágní, dravé a všežravé**. Zastoupení těchto skupin ve společenstvu je různé v různých ekosystémech. Např. bakteriofágní a mykofágní hlístice jsou více zastoupeny v lesích a na polích (50 %), než na loukách (30–40 %) a predátoři, kteří se živí jinými hlísticemi a dalšími zástupci mikrofauny, téměř chybí v jehličnatých lesích, ale jsou hojně zastoupeni (> 10 %) v půdách travinných ekosystémů. Hlístice patří k velmi významným půdním organismům zapojeným do koloběhu látek a energie. V některých ekosystémech mohou být **klíčovou skupinou zoedafonu**, která přímo i nepřímo ovlivňuje dekompozici opadu a mineralizaci organických látek. Výskyt fytoparazitických druhů v půdách agroekosystémů je však nežádoucí, neboť zvyšuje škody na pěstovaných plodinách.

Vířníci

Vířníci jsou nejmenší (40 μm až 2 mm) mnohobuněční půdní živočichové s orgánovými soustavami (**obrázek 20**). Jsou převážně sladkovodní, ale také mořští a velmi často obsazují intersticiální vodní prostředí – půdu nebo psammon. Ve vodách jsou součástí zooplanktonu nebo řidčeji žijí přisedle. Běžně se vyskytují v povrchových vrstvách půdy, v mechových polštářích a na jiných vlhkých místech. Někdy vytvářejí kolonie až několik mm velké. Je jich známo přes 2000 druhů, z půdy bylo prozatím popsáno okolo 250 druhů. **Vířníci se živí drobnými živočichy, řasami, bakteriemi a detritem.** Jejich

význam v půdě je znám jen málo; spočívá v podílu na osidlování některých vlhkých biotopů, v tvorbě biomasy a tím ve vlivu na koloběh uhlíku, v rozkladu opadu a v tom, že slouží jako potrava větším živočichům.



Obrázek 20. Půdní vířníci *Macrotrachela plicata* (a) a *Habrotrocha pusilla* (b) (foto M. Devetter)

Mezofauna

Půdní mezofauna zahrnuje celou řadu živočišných skupin, z nichž nejvýznamnější jsou **roupice, roztoči a chvostokoci** (viz níže). Dále sem patří i několik zástupců drobných kroužkoců (olejnušky, nitěnky, pijavky a mnohoštětinatci), několik dalších skupin členoců (hmyzenky, vidličnatky, drobnušky, stonožkeny a třásněnky) a drobné larvy much a brouků.

*Pro zvidavé: Víte, že se v Evropě vykytují dva drobné druhy půdních kroužkoců, **Pargodrilus heideri** (a) a **Hrabeiella periglandulata** (b), jejichž taxonomické postavení (vzájemné i v rámci kroužkoců jako takových) je dosud zcela nejasné?*

Půda stále skrývá mnohá tajemství... (obrázek 21a, b; foto J. Schlaghamerský).



Rouvice

Rouvice patří mezi kroužkovce (Annelida) a jsou blízkými příbuznými žížal, od kterých se odlišují menší velikostí (1–50 mm), bělavým až žlutavým zbarvením a větším počtem štětín ve svazcích (**obrázek 22**). Většina roupic je půdních, mnoho druhů však žije i v mořském litorálu a sladkovodních sedimentech. Celosvětově je známo zhruba 900 druhů, počet objevených a popsanych druhů však neustále narůstá.

Rouvice najdeme v půdě téměř všech ekosystémů a jejich početnost může kolísat od několika set jedinců na metr čtvereční až po 300 000 jedinců/m² v kyselých půdách jehličnatých lesů a v rašeliništích. Průměrné hodnoty biomasy roupic se pohybují v rozmezí 0,02–4 g sušiny na čtvereční metr. **V jehličnatých lesích a rašelinných půdách je význam roupic největší, neboť zde do jisté míry nahrazují aktivitu žížal, které se kyselým půdám vyhýbají, a rouvice tak mohou hrát dominantní roli v degradaci rostlinného opadu.** Většina roupic se zpravidla zdržuje v horních 10 cm půdy, kde požírají odumřelou organickou hmotu i minerální částice půdy. Co přesně jim slouží za potravu a do jaké míry jsou rozkladači primárními (saprofágy trávícími rozložené organické zbytky) či sekundárními (mikrobiofágy trávícími živé mikroorganismy) je stále předmětem výzkumu. V každém případě se **rouvice významně podílejí na rozkladu odumřelé biomasy a utváření půdní mikrostruktury.** Spásáním mikroflóry ovlivňují její složení a aktivitu. Představují rovněž významný zdroj potravy pro další půdní živočichy.



Obrázek 22. Půdní rouvice *Cernosvitoviella minor* (foto J. Schlaghamerský)

Roztoči

Roztoči jsou spolu s chvostokoky nejpočetnější skupinou půdních členovců a jejich početnost dosahuje hodnot v rozmezí tisíců až statisíců jedinců na jeden čtvereční metr půdy (**obrázek 23**). Vyskytují se ve všech typech půd na všech kontinentech a početní jsou i v nadzemních částech ekosystémů. Řada roztočů obývá i vodní prostředí a mnoho jich patří mezi parazity. Půdní roztoči jsou velmi malí (20–80 μm až 1 mm), některé parazitické druhy však mohou dosahovat délky až 2 cm. Dosud je celosvětově

popsáno více než 48 000 roztočů, ale odhadována je existence 400–900 tisíc druhů. **Různé druhy roztočů jsou adaptovány na život v téměř všech prostředích, která na Zemi existují**, a mají vyvinuty snad všechny potravní strategie. Draví roztoči regulují populace své kořisti a parazitičtí se živí na kořenech rostlin a tělech půdních i nadzemních živočichů včetně člověka. Většina druhů se však podílí na dekompozici odumřelé organické hmoty. Mezi těmito druhy můžeme rozlišit makrofytofágy pohlcující větší částičky rostlinných tkání a mikrofytofágy, kteří se živí jemným detritem a mikroorganismy. Většina roztočů (zejména však skupina pancířníků) se přímo nebo nepřímo podílí na tvorbě půdní mikrostruktury a na všech hlavních půdních procesech včetně koloběhu živin. Významně přispívají i k šíření mikroskopických hub a bakterií v opadu a půdním prostředí.



Obrázek 23. Půdní roztoči *Achipteria coleoptrata* (a) a *Labidostoma (Nicoletiella)* sp. (b) (foto P. Krásenský a J. Starý)

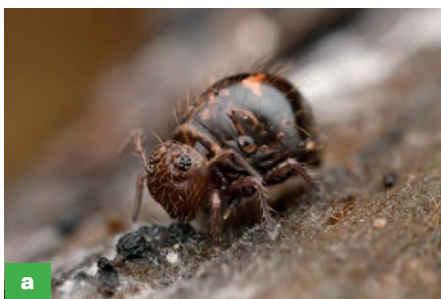
Chvostoskoci

Chvostoskoci jsou drobní členovci dosahující velikosti od 0,5 mm do 1 cm a živé hmotnosti 3–60 μg (**obrázek 24**). Jejich jméno je odvozeno od přítomnosti speciálního skákacího aparátu na konci těla, který je však u mnoha druhů zakrnělý a nefunkční. V současnosti je známo více než 8000 druhů a dlouho bylo odhadováno, že celkový počet by mohl činit cca 50 000 druhů. Moderní molekulární studie (Cicconardi a kol., 2013) však naznačují, že skutečný počet druhů by mohl být o více než řád vyšší. Početnost chvostoskoků kolísá od 100 až do 670 000 jedinců na metr čtvereční, obvyklá biomasa pak od 200 do 600 mg/ m^2 . **Nejpočetnější jsou jejich společenstva v travinných ekosystémech a smrkových lesích chladných oblastí mírného pásma**, naopak velmi chudá jsou společenstva v půdě tropických savan a pouštních oblastech. Chvostoskoci jsou saprofytové živíci se zejména mikroskopickými houbami, bakteriemi a řasami. Na základě morfologických znaků a biologických charakteristik rozdělujeme chvostoskoky do **tří hlavních ekologických skupin: epiedafické, hemiedafické a euedafické**.

Epedafické druhy žijí na povrchu rostlin nebo v opadové vrstvě půdy, mají rychlý metabolismus a jsou odolné vůči vyschnutí. Euedafičtí chvostoscoci obývají pórovité prostory ve svrchních půdních horizontech do hloubky cca 15 cm, některé druhy však můžeme najít i v hlubších vrstvách půdy. Jsou většinou velmi malí a mají zakrnělé končetiny i skákací aparát. Hemiedafické druhy představují přechod mezi oběma výše uvedenými skupinami. **Chvostoscoci významně ovlivňují mikrobiální společenstva a rychlost dekompozice** a tak hrají významnou roli v koloběhu živin. Některé epiedafické druhy jsou považovány za významné škůdce zemědělských plodin.

Pro zvědavé: Víte, že i u nás žije největší chvostoscok světa, larvénka obrovská – Tetrodontophora bielansensis?

Je šedomodře zbarvená, skoro jeden centimetr velká. Nejnápadnější jsou larvénky na podzim, kdy jich za deštivého počasí po kamenech a kmenech stromů v bukových a smrkových lesích často lezou stovky až tisíce. Je rozšířena především v horských



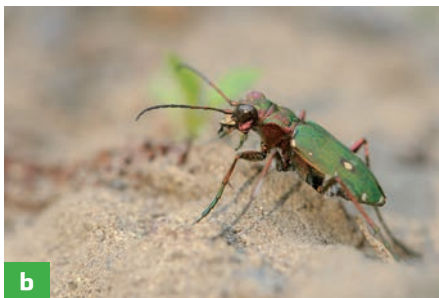
Obrázek 24. Chvostoscoci zahrnují druhy s rozdílným vzhledem i ekologií. Na obrázcích jsou *Alacma fusca* (a), *Hypogastrura* sp. (b), *Bilobella* sp. (c) a *Orchesella bifasciata* (d) (foto P. Krásenský)

a podhorských oblastech. V naší republice se s ní můžeme setkat ve všech horách na východ od Vltavy a Labe, po nichž probíhá západní hranice jejího rozšíření (obrázek 25; foto P. Krásenský).



Makrofauna/Megafauna

Ze zástupců půdní makrofauny jsou nejvýznamnější **žížaly, mravenci, mnohonožky, stonožky a suchozemští stejnonožci**. Mimo Evropu jsou velmi významní i **termiti**. Méně či jen lokálně významné skupiny makrofauny zahrnují larvy i dospělé brouků (zejména střevlíků, drabčičků a vrubounovitých; **obrázek 26**), larvy much, larvy cikád, cvrčky, pavouky, sekáče, štíry, štirky, solifugy, měkkýše a další. Půda je rovněž trvalým nebo dočasným prostředím pro řadu obratlovců, od obojživelníků a plazů až po ptáky a savce.



Obrázek 26. Z brouků využívají půdní prostředí k úkrytu a rozmnožování například chrobák révový *Lethrus apterus* (a) a larvy svižníka polního *Cicindella campestris* (b) (foto V. Pižl)

Žížaly

Názvem „žížala“ se označuje více než 5000 dnes známých druhů (odhaduje se, že dalších nejméně 2000 je dosud nepopsáno) větších a převážně suchozemských kroužkovců (Annelida), kteří jsou v současném systematickém pojetí řazeny do podřádu Lumbricini, zahrnujícího třiadvacet čeledí. Jejich tělo je válcovité, zadní část však může být hranatá či zploštělá. Nejmenší žížaly jsou v dospělosti dlouhé asi 1–2 cm a široké 1–1,5 mm, největší dosahují délky přes 1 metr a šířky 2–4 cm. Přestože jsou žížaly rozšířeny na všech kontinentech, většina čeledí obývá tropické či subtropické oblasti, případně mírné pásy mimoevropských kontinentů. **Ve střední Evropě se téměř výhradně vyskytují jen zástupci čeledi žížalovitých – Lumbricidae** s více než 100 druhy. Bohatá společenstva žížal obývají lužní lesy, eutrofní prameniště či zachovalé louky, zatímco chudá společenstva najdeme v jehličnatých lesích, rašeliništích a v orných půdách. Početnost a biomasa žížal dosahují v přirozených i člověkem vytvořených či ovlivňovaných ekosystémech severního mírného pásma cca 30–400 jedinců/m² a 2–50 g/m² a podobné hodnoty byly zjištěny i u původních společenstev žížal v tropech a subtropích (Lee, 1985). Evropské druhy žížalovitých, které byly člověkem zavlečeny na jižní polokouli, však mohou na pastvinách a loukách dosahovat početnosti vyšší než 2000 jedinců/m² a biomasy až 350 g/m² (**obrázek 27**).

Žížaly jsou saprofágní živočichové a představují nejvýznamnější skupinu půdní makrofauny, některé druhy však mohou obývat i sladkovodní ekosystémy či nadzemní části suchozemských ekosystémů. K nejdůležitějším požadavkům žížal na prostředí patří dostatek a kvalita potravních zdrojů, vhodná vlhkost, teplota, půdní reakce a půdní textura. Základním zdrojem potravy pro žížaly je odumřelá organická hmota rostlinného (a někdy i živočišného) původu a půdní mikroorganismy, méně významnou složku potravy tvoří drobní půdní živočichové. **Z hlediska potravních zvyků můžeme rozlišit dvě skupiny žížal – detritofágní a geofágní.** Detritofágní druhy se živí rostlinnými zbytky, případně exkrementy savců na půdním povrchu a v nejsvrchnějších horizontech půdy, zatímco druhy geofágní pohlcují velká množství půdy a tráví v ní obsažené organické zbytky a mikroflóru.

Jednotlivé druhy žížal se výrazně odlišují svými životními strategiemi a adaptacemi. Na základě korelací s morfologickými, demografickými, etologickými a environmentálními charakteristikami **jsou žížalovití rozdělováni do tří základních ekologických skupin na: epigeické, endogeické a anektické.** V rámci epigeických žížal můžeme rozeznat několik podskupin: druhy straminikolní žijící v opadu, subkortikolní žijící pod kůrou padlých dřevin, fleofilní obývající místa nad povrchem půdy, detritofágní žijící v hnoji a nahromaděných rostlinných zbytcích, koprofágní žijící se exkrementy savců a druhy amfibické žijící v zamokřené půdě a pod vodní hladinou. Do podskupin jsou rozdělovány i žížaly endogeické, mezi nimiž můžeme najít druhy epiendogeické žijící ve svrchních vrstvách minerální půdy, saprorhizofágní žijící se kořeny rostlin a druhy hypoendogeické vytvářející horizontální chodby v hlubších



Obrázek 27. Hygrofilní žížala *Octodrilus argoviensis* (a), ve dřevě žijící žížala svítivá *Eisenia lucens* (b), naše největší žížala *Allolobophora hrabei* (c) a hnojní žížala *Eisenia andrei* (d) (Foto V. Pižl)

minerálních horizontech. Anektické žížaly vytvářejí hluboké horizontální chodby, po travu však získávají na půdním povrchu.

Žížaly ovlivňují půdní prostředí především produkcí exkrementů (během jednoho roku může zaživacím traktem žížal projít i více než čtvrtina svrchní vrstvy půdy) a tvorbou chodeb, které svými rozměry (1 až >10 mm) patří k největším půdním póram a může jich být až 200–800 na čtvereční metr.

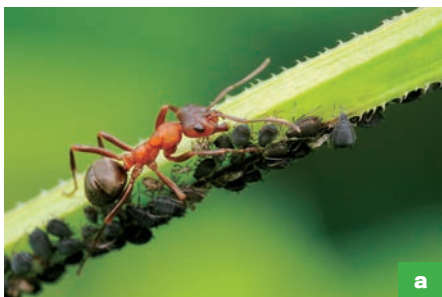
Chodby žížal ovlivňují hlavně vodní a plyný režim půdy. Na žížaly bohaté půdy se vyznačují obecně lepší jímavostí půdní vláhý než půdy bez žížal. Vertikálně probíhající chodby většinou přečkávají záplavy a významně zvyšují rychlost infiltrace vody do půdy. Půda je pak méně náchylná k podmáčení a vyšší podíl srážkové vody je přiváděn přímo ke kořenům rostlin. Následně se zvyšuje odolnost půdy vůči erozi. Exkrementy žížal mají vyšší podíl jílovitých a naplaveninových frakcí než okolní půda. Příznivě ovlivňují provzdušnění půdy a zvětšují povrchy v půdě, čímž zvyšují dostupnost prostorů pro mikrobiální činnost. Řada prací ukázala, že rychlost mineralizace

organické hmoty, denitrifikace a dalších procesů je v exkrementech žížal podstatně vyšší než v okolní půdě.

Žížaly rovněž představují významný zdroj potravy mnoha obratlovců od obojživelníků, plazů a ptáků až po savce a živí se jimi i celá řada bezobratlých živočichů. Kromě řady hmyzích skupin najdeme predátory-specialisty lovcí především žížaly i mezi suchozemskými ploštěnkami, měkkýši, pijavkami a stonožkami. Žížaly jsou též hostiteli mnoha parazitů.

Mravenci

Mravenci jsou, spolu s žížalami a termity, řazeni k tzv. ekosystémovým inženýrům, neboť mohou svou aktivitou zcela přetvořit okolní prostředí a přímo či nepřímo řídit dostupnost zdrojů pro jiné organismy (**obrázek 28**). Všichni jsou taxonomicky řazeni do jediné čeledi blanokřídlého hmyzu, mravencovitých. Celosvětově je dnes známo více než 12 500 druhů mravenců, které obývají obrovskou škálu ekosystémů na všech kontinentech s výjimkou Antarktidy. Odhaduje se, že mravenci se podílejí z 15 až 25 % na celkové biomase suchozemských živočichů. Velikost mravenců kolísá od 0,75 mm až po 5,3 cm. Patří k sociálnímu hmyzu a jejich jednotlivé kolonie mohou zahrnovat od několika desítek jedinců žijících v malých štěrbinách až po miliony jedinců. Jsou známy případy, kdy příbuzné kolonie vytvářejí **superkolonie** dosahující délky až několika tisíc kilometrů. Příkladem je invazní mravenec argentinský (*Linepithema humile*), původem z argentinských pamp, který je dnes rozšířen takřka po celém světě. V jižní Evropě sahá jeho superkolonie od pobřeží Portugalska přes severovýchodní Španělsko a jižní Francii až do Itálie a je tvořena mnoha miliardami jedinců v milionech spolupracujících hnízd. Někdy jsou kolonie mravenců pro svůj vysoký stupeň organizace označovány jako **superorganismus**. Mravenci jsou součástí různých trofických úrovní. Jsou jak detritofágy, herbivory a predátory, tak i kořistí mnoha živočichů. **Přítomnost mravenčích kolonií výrazně ovlivňuje mnoho fyzikálních i chemických změn v půdě, koloběh živin a tok**



a



b

Obrázek 28. Mravenci rodu *Formica* (a) a *Messor* (b) (foto V. Pižl a P. Krásenský)

energie. Na mravencích je závislá i řada živočichů (myrmekofilní druhy) a rostlin (myrmekochorní druhy).

Mnohonožky

Mnohonožky jsou členovci s délkou těla od 2 do téměř 300 mm, kteří obývají opad a svrchní vrstvy půdy (**obrázek 29**). Řada druhů však žije i hluboko pod zemí a v jeskyních. Dosud bylo popsáno okolo 10 000 druhů. Jejich početnost je velmi závislá na vlastnostech prostředí a kolísá od několika až po několik stovek jedinců na metr čtvereční. Jejich biomasa může dosahovat 4–8 g/m². Většina mnohonožek se živí odumřelým rostlinným materiálem, který rozměňují a tím přispívají k první fázi jeho rozkladu. Preferují potravu s vyšším obsahem vápníku a nízkým obsahem polyfenolů. Existují mezi nimi ale i dravé druhy, které loví malé zástupce hmyzu a stonožek, či dokonce žížal. Mezi mnohonožkami nalezneme i několik poměrně významných škůdců zemědělských plodin.



Obrázek 29. Mnohonožky *Polydesmus complanatus* (a) a *Polyxenus lagurus* (b) (foto P. Krásenský)

Stonožky

Dravé stonožky žijí v opadu i hlubších vrstvách půdy a podobně jako některé mnohonožky je můžeme nalézt i pod kůrou padlého dřeva a pařežů. Od mnohonožek je rozeznáme podle toho, že na jednom tělním článku mají jen jeden pár končetin, zatímco mnohonožky páry dva (**obrázek 30a**). Dosahují velikosti od několika milimetrů až do 30 centimetrů. Dosud bylo popsáno asi 3000 druhů, odhadována je však existence nejméně 8000 druhů. Vyskytují se v celé škále ekosystémů od lesů a luk až po skalnatá území a pouště. Jejich početnost v půdě a opadu kolísá od 20 do 300 /m². **Kořistí stonožek jsou zejména jiní půdní a epigeičtí bezobratlí včetně např. žížal.** Existují však doklady, že největší druhy stonožek mohou ulovit i obojživelníky, ptáky či netopýry. Zároveň jsou však stonožky kořistí velkého množství jiných predátorů.



Obrázek 30. Stonožka *Lithobius forficatus* (a) a stínka *Trachelipus ratzeburgii* (b) (foto P. Krásenský)

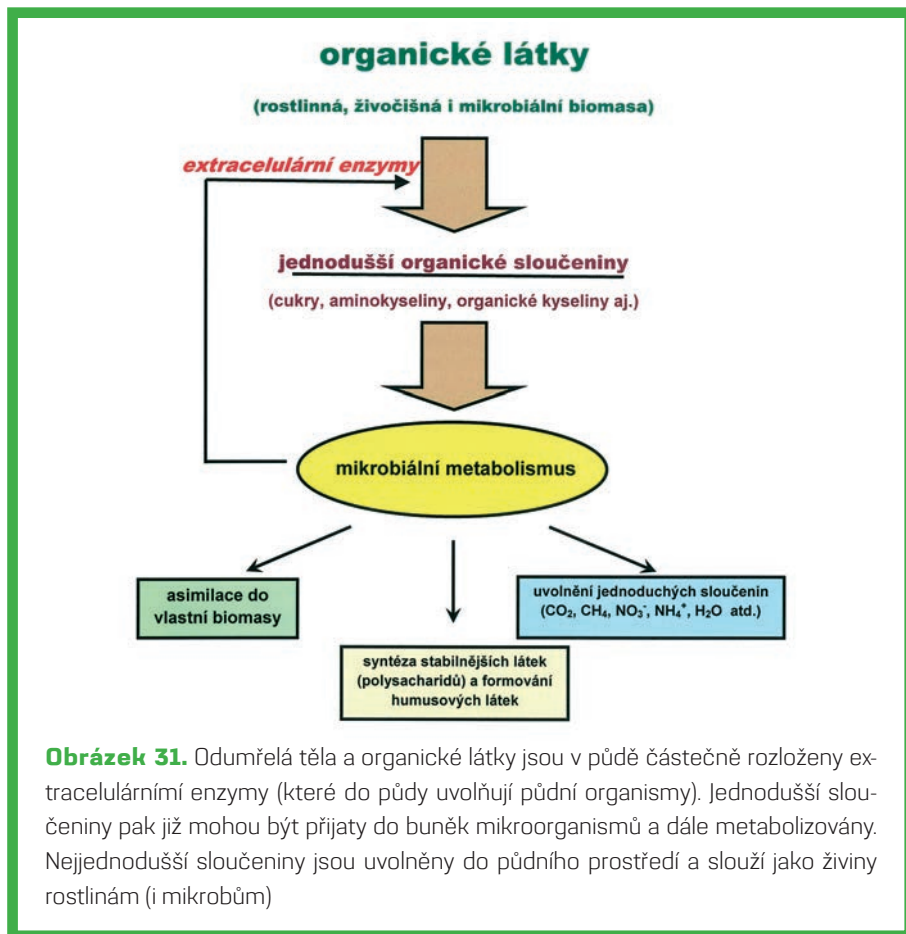
Suchozemští stejnonožci

Suchozemští stejnonožci patřící do monofyletického řádu Oniscidea **jsou jedinou skupinou korýšů, která se plně přizpůsobila k životu na souši (obrázek 30b)**. V současnosti je jich známo přes 3600 druhů a toto číslo se neustále zvyšuje. Velikost suchozemských stejnonožců kolísá od 1,5 mm do 60 mm, většina z nich však není větších než 20 mm. Vyskytují se v nejrůznějších typech ekosystémů, od lesů až po polopouště a pouště, od nížin až do hor. Najdeme je nejčastěji pod kameny či padlým dřevem či v opadové vrstvě půdy. Některé druhy jsou synantropní, jiné pak žijí v jeskyních nebo v korunách stromů a několik druhů žije v symbióze s mravenci či termity. Obecně se živí odumřelým rostlinným materiálem, ale mohou požírat i bakterie a mikroskopické houby nebo mrtvou hmotu živočišného původu. Většina z nich se tak významně **podílí na rozkladu půdní organické hmoty**.

Poznámka. Větší živočichové, např. krtonožky, krtci, hadi, jezevci, medvědi, ... kteří také částečně nebo dočasně žijí v půdě nebo v ní mají svá hnízda a pelechy, se k edafonu většinou nepočítají. Ovlivňují sice zásadně své bezprostřední okolí, ale celkově mají pro funkce půdy jen malý význam.

Schopnosti a služby edafonu

Živé půdní organismy jsou většinou pouhým okem neviditelnou složkou půdy, nicméně tvoří nesmírně důležitý funkční tým (biocenózu) rozkládající odumřelou hmotu a navracející živiny do oběhu; uvolněné živiny slouží zejména rostlinám, ale imobilizují se také ve vlastních tělech půdních organismů (**obrázek 31**).



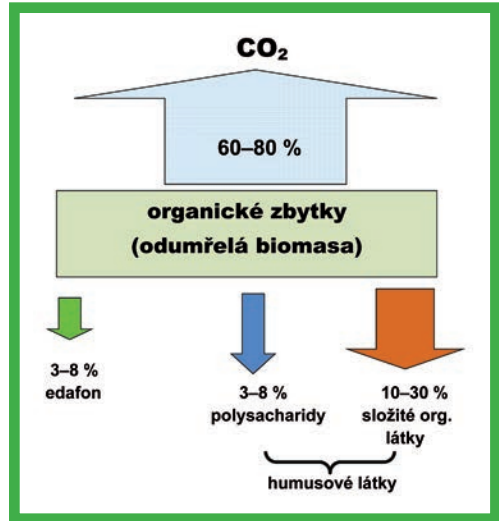
Obrázek 31. Odumřelá těla a organické látky jsou v půdě částečně rozloženy extracelulárními enzymy (které do půdy uvolňují půdní organismy). Jednodušší sloučeniny pak již mohou být přijaty do buněk mikroorganismů a dále metabolizovány. Nejjednodušší sloučeniny jsou uvolněny do půdního prostředí a slouží jako živiny rostlinám (i mikrobům)

Je zajímavé si uvědomit, že bez rozkladné funkce edafonu by nemohl život na Zemi dlouhodobě existovat. Edafon také propojuje půdu s dalšími složkami prostředí, s vodou i ovzduším. Naprostá většina uhlíku vázaného v organismech a poté v jejich odumřelých tělech se po mikrobiálním rozkladu uvolní zpět do ovzduší (**obrázek 32**), odkud byla ve formě oxidu uhličitého odčerpána rostlinami ve složitém procesu fotosyntézy (jímž rostliny a některé mikroorganismy vytvářejí organické látky z nejjednodušších látek anorganických, CO₂ a H₂O).

Přítomnost, aktivita a součinnost půdních organismů jsou nesmírně důležité pro zdraví půdy – tedy pro správné a plnohodnotné fungování půdy – a následně pro

Obrázek 32. Osud organických látek v půdě

Většina poutaného uhlíku se dostane zpět do atmosféry ve formě oxidu uhličitého a v menší míře i metanu, zatímco menší část zůstává dočasně v půdě a v tělech mikrobů. Pokud se za vhodných podmínek utvoří stabilní humusové látky, tyto mohou v půdě přetrvávat desítky i stovky let (upraveno podle: Brady, 1990)



ostatní složky ekosystému. Hlavní funkce, které půdní organismy zajišťují, shrnuje **rámeček 4**. Při porovnání informací, které udávají rámeček 1 a 4, je dobře zřetelné, jak zásadní roli hraje edafon pro funkce, které v ekosystému zajišťuje půda. **Velikost, rozmanitost a stabilita živé sítě půdních organismů je společně s uloženou půdní organickou hmotou základem i pro stabilitu celého ekosystému.**

Rámeček 4. Nepostradatelné funkce půdních organismů a jejich význam pro ekosystém

Rozklad a koloběh organické hmoty

Regulace dostupnosti a příjmu živin a vody

Detoxikace půdy

Udržování struktury půdy a regulace půdních hydrologických procesů

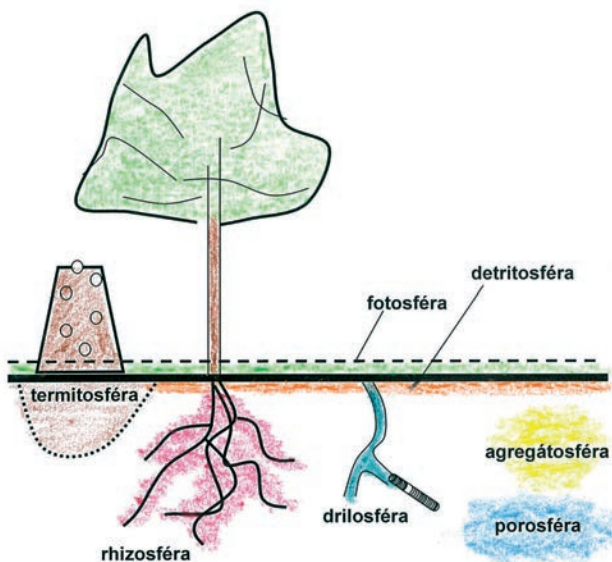
Výměna plynů a ukládání uhlíku

Kontrola růstu rostlin

Kontrola škůdců a chorob

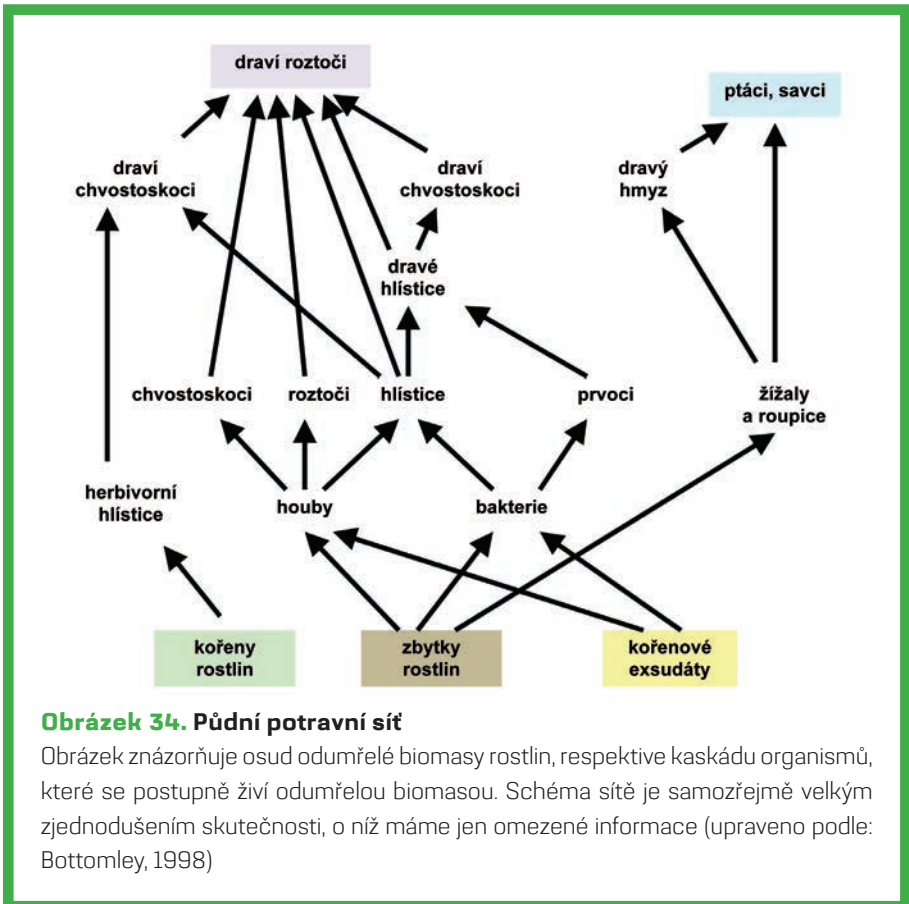
Síť vztahů v půdě

Rozmanitost (diverzita) půdních organismů je vzhledem k jejich množství i vzhledem k heterogenitě a proměnlivosti půdního prostředí stále velmi vzdálená našemu hlubšímu poznání. Velmi málo jsou dosud poznány i vztahy mezi půdními organismy. Půda není homogenní, naopak je silně heterogenní a jsou v ní rozlišitelné jednotlivé „sféry“ vlivu (**obrázek 33**).



Obrázek 33. Život v půdě je organizován v různých subsystémech, sférách, v nichž se nějakým způsobem výrazněji projevují určité skupiny organismů a jejich vztahy. Tak např. v rhizosféře, tj. sféře vlivu kořenů rostlin, žije mnohonásobně více mikroorganismů než ve volné půdě; ve fotosféře se uplatňují fotosyntetizující řasy; v detritosféře probíhají intenzivní rozkladné procesy; v termitosféře dominuje vliv termitů; podobně specifické vztahy panují v drilosféře – sféře zahrnující chodbičky žížal; porosféra, čili část půdy vyplněná póry, je zvláštním druhem prostředí pro mnoho příslušníků edafonu; agregátosféra zahrnuje půdní agregáty rozmanité velikosti, atd. Taková zjednodušení umožňují popsat a lépe pochopit nesmírně komplikovaný svět v půdě (upraveno podle: Lavelle a Spain, 2001)

Pro lepší pochopení složitých vztahů mezi organismy v půdě se používají popisy prostřednictvím půdní potravní sítě; ačkoliv nezahrnují zdaleka všechny vzájemné interakce, jsou potravní sítě užitečné z pedagogického i vědeckého hlediska (obrázek 34). Specifitou půdní potravní sítě a její hlavní rolí, jak už bylo řečeno, je rozklad odumřelé organické hmoty a zpřístupnění živin rostlinám, tj. nejvýznamnějším primárním producentům v terestrických ekosystémech. Půdní potravní síť se proto nazývá rozkladnou (někdy také detritovou nebo saprotrofní) potravní sítí. V závislosti na typu rozkládané organické hmoty se uplatňují různé typy funkčních **společenstev rozkladačů**. Jedná se zejména o specialisty na rozklad odumřelých rostlinných zbytků, které představují v přirozeném prostředí hlavní zdroj organické



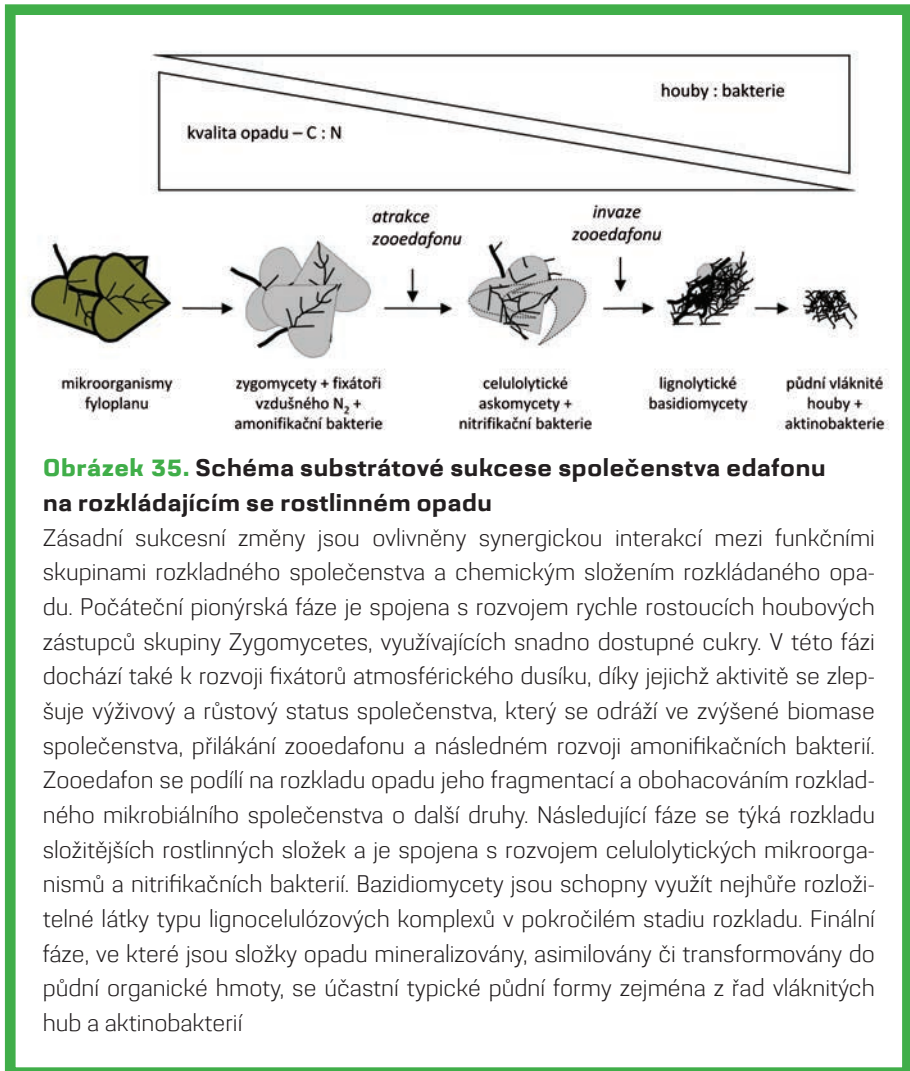
Obrázek 34. Půdní potravní síť

Obrázek znázorňuje osud odumřelé biomasy rostlin, respektive kaskádu organismů, které se postupně živi odumřelou biomasou. Schéma sítě je samozřejmě velkým zjednodušením skutečnosti, o níž máme jen omezené informace (upraveno podle: Bottomley, 1998)

hmoty, či specialisty na rozklad organické hmoty živočišného původu, a to buď mrtvá těla živočichů (**kadaverní společenstva**) nebo živočišné exkrementy (**koprofágní společenstva**).

Při rozkladu organické hmoty se postupně mění složení rozkladného společenstva tak, jak se mění i kvalita rozkládaného substrátu. Tomuto procesu říkáme **substrátová sukcese** a celý proces končí úplným rozkladem substrátu. Ve zjednodušené podobě je substrátová sukcese znázorněna na **obrázku 35**. Substrátová sukcese (rozklad substrátu) je důsledkem sekvenčního působení hub a bakterií, kdy je počáteční fáze oxidace zahájena houbovým organismem. Sukcesní změny mikrobiálního společenstva rozkládajícího substrát jsou dány kvalitou substrátu a okolním půdním prostředím. Jedná se o relativně krátkodobý proces v řádu měsíců až roků. Substrátová sukcese vede k úplnému rozkladu substrátu, nikoliv ke vzniku stabilizovaného společenstva.

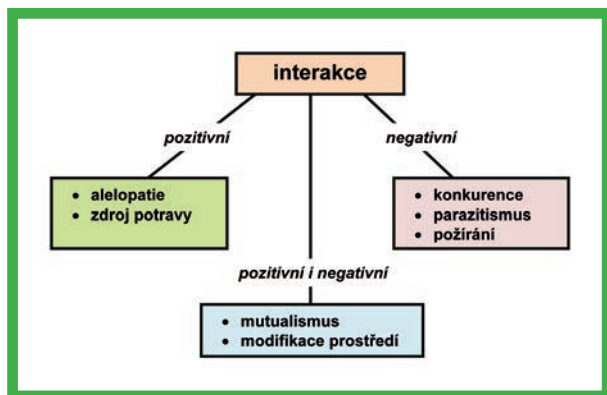
Obecně platí, že základnu vztahů v dobře fungující rozkladné potravní síti tvoří vzájemná spolupráce rozkladných živočichů a mikroorganismů. Tento **vzájemně prospěšný vztah** se nazývá **mutualismus**. Živočichové v něm především fragmentují organickou hmotu, tzn. porcují ji a tak ji zpřístupňují dalším členům společenstva k jejímu jemnějšímu zpracování. Mikroorganismy se účastní rozkladu organické hmoty od počátku až do konečné nejjemnější fáze, tj. mineralizace živin, ve které hrají nezastupitelnou úlohu. V průběhu rozkladu kolonizují naporcovaný substrát a pomáhají rozkládat zejména těžce rozložitelné polymery, jako jsou celulóza, lignin, chitin. Naporcovaná, mikroorganismy natrávená a obohacená organická hmota je stravitelnější a lákavější pro další živočichy. Intenzivní spolupráce mezi živočichy a mikroorganismy se odehrává také v zažívacím traktu živočichů, a to zejména u živočichů konzumujících obtížně rozložitelné polymery. V zažívacím traktu, často v určitých částech jejich střeva, mají živočichové zásobník prospěšných mikroorganismů. Tyto mikroorganismy napomáhají trávit potravu a spolu s nestrávenými zbytky (exkrementy, trusem) se také dostávají do prostředí. U zvláště obtížně stravitelné potravy dochází k její opětovné konzumaci, ať týmiž jedinci, nebo jejich potomstvem. Dochází tak k efektivnějšímu rozkladu a využití potravy, ale také k sdílení prospěšných rozkladných mikroorganismů. Relativně nedávné výsledky přinesly informace o součinnosti mezi určitým druhem termitů a mikroorganismy. Potravu termitů neboli dřevokazů představuje těžce rozložitelná dřevní hmota, jejíž rozklad je bez mikroorganismů nemožný. Pro tyto účely si jistý druh termitů ve svém zažívacím traktu nosí spory houby *Termitomyces*. Mladí termity mají za úkol rostlinou potravu nechat projít svým zažívacím traktem, kde se rozmělní a promíchá se sporami houby, poté ji rozprostřou na speciální zahrádce v termitišti a nechají houbu růst, posléze ji sklízí a konzumují. Houba, která je nezbytná pro počáteční rozklad potravy, termitům kromě toho významně vylepšuje jídelníček. Rozložené zbytky dřevní hmoty ze zahrádky nakonec termity spasou. V zažívacím traktu mají další rozkladné specializované



mikroorganismy, které potravu víceméně beze zbytku zpracují. Takto úzkému typu mutualismu mezi organismy říkáme **symbióza**.

Zajímavé jsou také interakce mikroorganismů přímo v zažívacím traktu např. již zmíněných termitů. Rozklad složitých látek vyžaduje skutečné specialisty a velmi těsný kontakt mezi nimi, což je důležité pro snadnou a rychlou vzájemnou výměnu

metabolitů. Takovému těsnému seskupení organismů říkáme **konsorcium** a danému typu mutualismu **syntrofie**. Syntrofie je způsob využívání téhož zdroje potravy více organismy za tak těsné spolupráce, že se jeden organismus neobejde bez produktu metabolismu toho druhého (ostatních). Vybrané vztahy mezi organismy znázorňuje **obrázek 36**.



Obrázek 36. Vztahy mezi organismy v ekosystému můžeme rozdělit na negativní (škodlivé), pozitivní (prospěšné) a neutrální (upraveno podle: Gliessman, 2007)

Nevyvážený, **jednostranně výhodný vztah** má různé formy od **komensalismu** (pouze jeden organismus má ze vztahu výhodu, aniž by to však druhému vadilo) po **parazitismus** (výhodu má jen jeden a druhý na to doplácí). Kategorie se však mohou do značné míry i překrývat, záleží, co všechno do vzájemných vztahů zahrnujeme a z jakého úhlu vztah hodnotíme. Při širším studiu tak může být symbióza vyhodnocena jako určitá forma parazitismu a naopak.

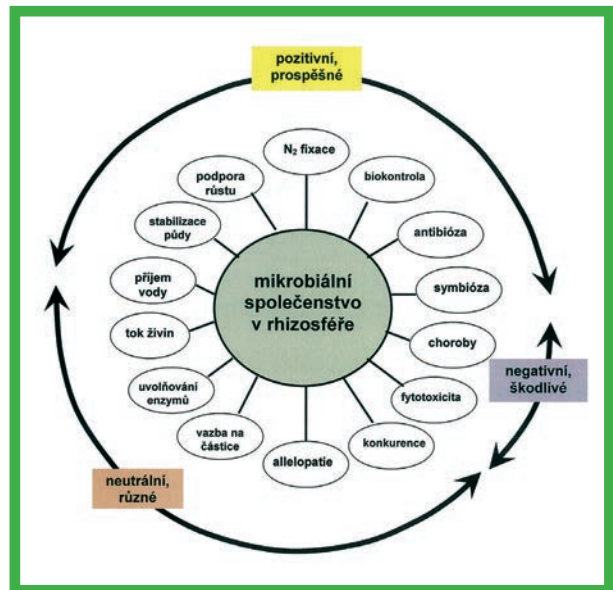
Na základnu rozkladačů v různé úrovni navazují **požírači ostatních organismů**, kteří představují obdobu pastevně kořistnické potravní sítě. Ta zahrnuje jak pastvu, tak lov. V případě „pastvy“ (tj. konzumace produktů fotosyntetizujících organismů) v půdě se jedná zejména o požírání nárůstů řas a sinic na povrchu půd, kořenových exsudátů (látek bohatých na snadno dostupné zdroje uhlíku a uvolňovaných zdravými a nepoškozenými kořeny rostlin do půdy) a rostlinných semen. Lovce (**predátory**) zastupuje v půdě několik druhů mikroorganismů, převážně však zahrnují různé skupiny živočichů. Loveny jsou veškeré formy heterotrofních organismů od mikroorganismů přes mezofaunu, makrofaunu až po megafaunu. Všichni požírači z této potravní sítě, stejně tak i jejich exkrementy, skončí nakonec opět v rozkladné potravní síti.

Rostliny, jak už bylo řečeno, zásobují půdní potravní síť odumřelou hmotou (opadem), stimulují rozkladné mikroorganismy svými kořenovými exsudáty, a naopak z půdy odebírají minerální živiny zpřístupněné půdními rozkladači a završují

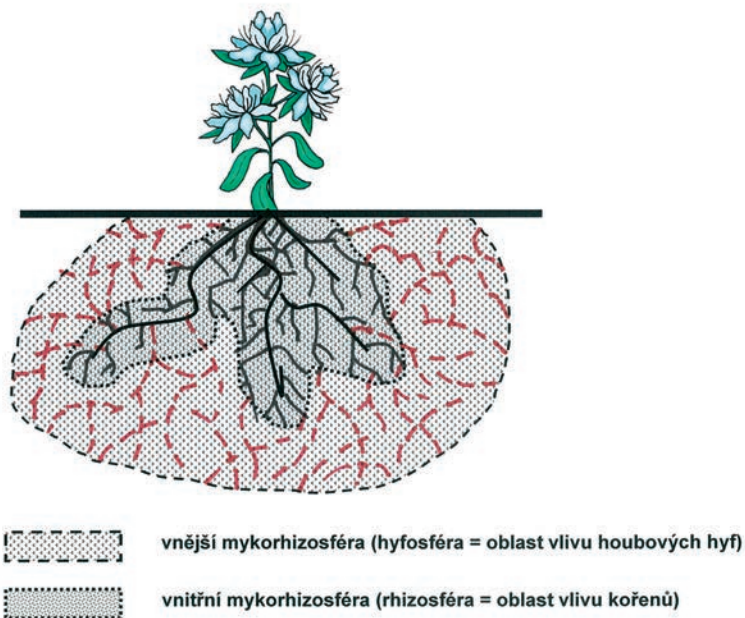
tak koloběh látek v půdě. Jelikož je příjem minerálních látek z půdy pro rostliny zcela zásadní, vyvinula se mezi kořeny rostlin a mikroorganismy řada úzkých symbiotických vztahů, ve kterých mikroorganismy přímo rostlinu zásobují nejžádanějšími živinami, jako je dusík a fosfor. Patří sem **symbióza kořenů s hlízkovými bakteriemi a aktinobakteriemi** schopnými fixovat atmosférický dusík ve zvláštních kořenových útvarech (hlízkách) nebo **symbióza s mykorhizními houbami**, které svým jemným podhoubím umí k rostlině dotáhnout vodu s rozpustěnými minerály z velké vzdálenosti. Rostliny těmto symbiotickým mikroorganismům poskytují dostatek energeticky bohatého uhlíkatého substrátu. Uvádí se, že je rozšířena mezi 70 až 90 % vyšších rostlin. Některé vztahy jsou i negativní nebo neutrální (**obrázek 37**).

Obrázek 37. Vzájemné působení rostlin a mikroorganismů v rhizosféře

(upraveno podle: Kennedy, 1998)



Mykorhizní síť je dalším neviditelným divem fascinujícího světa pod zemí. Vytváří komunikační síť mezi rostlinami, které jsou například schopné díky ní podporovat mladé klíčící rostlinky (tzv. efekt chůvy) a nepochybně tato síť funguje jako informační médium mezi světem nad a pod zemí (**obrázek 38**). Různé druhy organismů, které se vzájemně potřebují, na sebe působí selekčními tlaky, podporují se a přizpůsobují se navzájem a dochází tak k jejich společnému evolučnímu vývoji, **koevoluci**.



Obrázek 38. Mykorhizní síť významně zvětšuje prostor vzájemné komunikace rostlin v půdě (upraveno podle: Timonen a Marschner, 2006)

Adaptace organismů na půdní prostředí

Každé prostředí poskytuje specifické podmínky pro život, kterým se organismy musí přizpůsobit. Život v půdě je doslova tvrdý, neboť, jak už bylo vysvětleno, živé organismy přetvářejí původní matečnou horninu na úrodnou půdu. V půdě dochází k relativně velkým výkyvům podmínek zejména v pionýrských stádiích vývoje půdy, kdy půdotvorný substrát nechrání rostlinný pokryv, a je tak vystaven intenzivnímu záření, velkým teplotním výkyvům, nedostatku vody, živin a organické hmoty.

Pokud jsou podmínky příliš nehostinné, půdní organismy je mohou přečkat **v dormantním stadiu**, tj. přechodně zastavit či omezit fyziologické procesy. Zvláštním případem dormance je **kryptobióza** („skrytý život“), kdy životní procesy jsou již neměřitelné, jejich zastavení se děje zejména snížením obsahu vody v organismu pod určitou

kritickou mez (uvádějí se hodnoty 0,1–0,3 g vody na gram sušiny). Dobře je známa u spor mikroorganismů a rostlinných semen, ale i u hlístic, vířníků, želvušek, a dokonce hmyzu. V anhydrobiotickém stavu proběhla například mise želvušek do vesmíru. Mistry v přežívání jsou ovšem mikroorganismy, přičemž některé jsou v extrémních podmínkách schopné i běžného vegetativního fungování. Výjimečně vysoké dávce ionizujícího záření (> 5000 Gy) například odolá typická půdní bakterie *Deinococcus radiodurans*, a to díky vysoce účinnému opravnému mechanismu své DNA. Spory bakterie *Moorella thermoacetica*, vzdálené příbuzné klostridií, zase bez problémů přežijí teplotu 121 °C. Zástupcům archeí rodu *Picrophilus*, žijících v půdě kolem sirných vřídelních pramenů, vyhovuje extrémně kyselé prostředí (pH < 1).

K běžným podmínkám v půdě, se kterými se mikroorganismy musí umět čas od času vypořádat, patří nepřístupnost kyslíku, malá dostupnost zdroje uhlíku (C), energie a živin a nedostatek vody. Výhodu mají vláknité mikroorganismy (mikromycety a aktinomycety), které umí svým vláknitým tělem přemostit suchá místa v půdě a dostat se k vodě a živinám. Této schopnosti využívají také rostliny prostřednictvím svých mykorhizních hub, jak už jsme zmínili. Některé organismy se uchylují ke snížení aktivity, jiné přeladí na jiný typ metabolismu či nerovnováhu řeší tvorbou nejrozličnějších typů rezervních látek z aktuálních přebytků. Např. prokaryota nerovnováhu při nadbytku uhlíku a nedostatku dalších biogenních stavebních prvků, zejména dusíku či fosforu, elegantně řeší akumulací uhlíku v podobě polymerních sloučenin typu poly-beta-hydroxyalkanoátů. Naopak ideálním zásobníkem dusíku sinic a heterotrofních bakterií je cyanophycin, polymer aminokyselin, který však nevzniká složitou cestou v ribosomech. Fosfor, třetí nepostradatelný bio-stavební kámen, je hromaděn ve formě anorganických i organických polyfosfátových sloučenin bakteriemi, sinicemi, archei, kvasinkami a samozřejmě vláknitými houbami. Díky těmto schopnostem jsou půdní mikroorganismy schopné odolávat nepříznivým podmínkám včetně silných účinků toxických látek (jako jsou např. organické polutanty, těžké kovy, ale také léčiva s antibiotickými účinky).

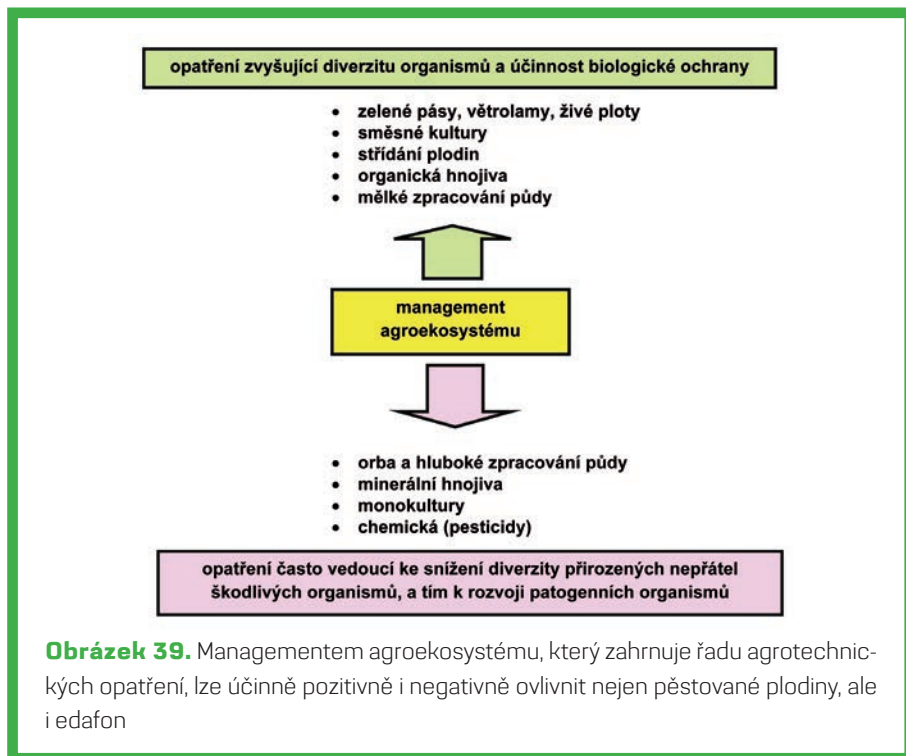
Další z velmi účinných strategií mikroorganismů v prostředí je **schopnost vytvářet biofilm**. Jedná se o organizovanou strukturu jedné, ale i více skupin mikroorganismů (od bakterií přes houby po prvoky), které pojí extracelulární polymerní látky vytvářející strukturální kostru a ochranu mikroorganismů a zajišťující přichycení k pevnému povrchu. Biofilmy se nacházejí na rozhraní tekutého a pevného prostředí. Tato struktura poskytuje mikroorganismům řadu výhod: vyšší odolnost k působení chemických toxinů, vysychání, atakům predátorů i UV záření. Těsná blízkost buněk poskytuje výhodu snadné výměny genetické informace (dobře známý je přenos genů v konjugačním procesu bakterií zajišťující přenos odolnosti k látkám s antibiotickým účinkem) či kometabolismu (nespecifickou enzymovou aktivitou mikroorganismů dochází k transformaci toxických látek a jejich meziproduktů, aniž by tyto mikroorganismy látku využívaly jako zdroj energie). Mikroorganismy v biofilmu se brání proti

útokům také produkcí toxinů; dalším projevem biofilmu může být také zvětrávání hornin, ke kterým je biofilm přichycen. Tyto vlastnosti jsou významné při biodegradaci kontaminovaného prostředí, naopak jsou velkou komplikací, pokud se nežádoucí mikrobiální biofilm vytvoří na povrchu nebo uvnitř těla vyšších organismů.

Tam, kde jsou podmínky vhodné pro život, se hlavní adaptační mechanismy zaměřují na strategii, jak s co nejmenší námahou získat potřebné živiny a energii pro růst, tj. jak nejefektivněji využít dostupné zdroje. Jednou z růstových strategií je obsazení prostředí, kde jsou takové zdroje více méně neustále k mání, tj. například špičky kořenů, z kterých unikají již zmíněné na uhlík bohaté kořenové exsudáty.

Při zaujetí výhodné pozice hraje roli reprodukční rychlost, ale také schopnost mikroorganismů vstupovat do již zmíněných symbiotických vztahů, kdy kromě minerální výživy a vody zprostředkují také ochranu kořene před napadením cizorodými mikroorganismy či před mechanickým poraněním.

V agroekosystémech se edafon musí přizpůsobovat i změnám, které vyvolává člověk (**obrázek 39**).



Obrázek 39. Managementem agroekosystému, který zahrnuje řadu agrotechnických opatření, lze účinně pozitivně i negativně ovlivnit nejen pěstované plodiny, ale i edafon

Máme půdy dost?

Lidstvo má na Zemi k dispozici asi 8 700 000 000 ha (= 87 milionů km²) půdy, což představuje 67 % povrchu kontinentů (bez Arktidy a Antarktidy) (**tabulka 2**). Relativně velká část této půdy byla však již obděláváním a jinými vlivy postižena natolik, že se považuje za více či méně poškozenou (degradovanou) půdu.

Problém udržení vysoké kvality půdy a problematika setrvalého využívání půdy představují jeden z nejzávažnějších problémů lidstva; je s podivem, že se mu věnuje stále tak málo pozornosti politiků a dalších vlivných činitelů.

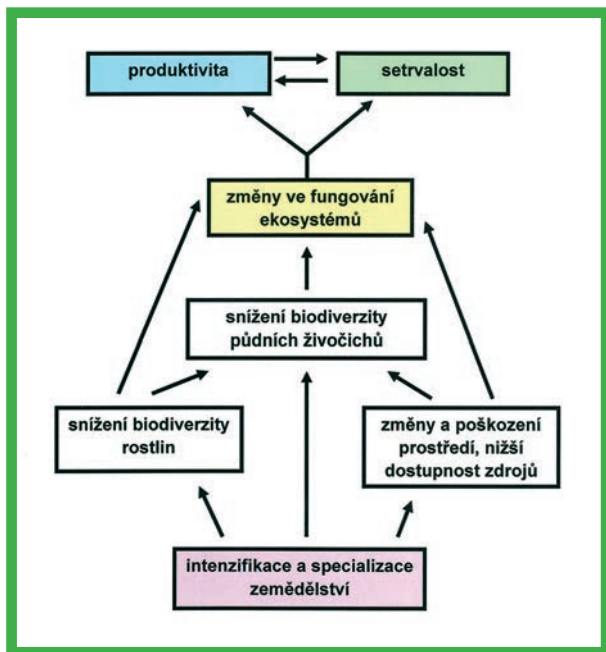
Tabulka 2. Celková plocha kontinentů, celková plocha půdy, plocha půdy využívané pro zemědělství, jako pastviny a lesy či křoviny a podíl degradované půdy (DGR)

(miliony hektarů) (upraveno podle: FAO 1989 aj., cit. in Oldeman, 1994)

Kontinent	Plocha			Zemědělská půda bez pastvin		Trvalé pastviny		Lesy a křoviny	
	Celkem	Půda	%	Celkem	% DGR	Celkem	% DGR	Celkem	% DGR
Afrika	2964	1663	56	187	65	793	31	683	19
Asie	4375	2787	64	536	38	978	20	1273	27
Jižní Amerika	1753	1516	86	142	45	478	14	896	13
Střední Amerika	300	198	66	38	74	94	11	66	38
Severní Amerika	1832	1131	62	236	26	274	11	621	1
Evropa	1002	796	79	287	25	156	35	353	26
Austrálie a Oceánie	842	644	76	49	16	439	19	156	8
Svět	13 069	8735	67	1475	38	3212	21	4048	18

Zvýšenou degradaci půd vyvolávají rozmanité činnosti člověka, zejména pak:

- odlesnění a odstranění původní vegetace (odlesnění pro zemědělské účely, velkoplošné komerční lesnictví, výstavba dopravních cest a sídel),
- nadměrné využívání půdy pro pastvu (neřízená a nadměrná pastva vede nejen k poškození vegetace, ale i k utužení půdy a vystavení půdy erozi),
- zemědělské technologie (nedostatečné nebo nadměrné používání hnojiv, používání znečištěné závlahové vody, používání těžké mechanizace, chybné načasování kulturních zásahů, nevhodně zvolené plodiny, ignorování protierozních opatření aj.) (**obrázek 40**),



Obrázek 40. Schéma znázorňuje dopady intenzivního zemědělství. To má za následek změny ve fungování (agro)ekosystémů a v důsledku snižuje jak produktivitu půdy, tak její míru setrvalosti využívání – půda postupně degraduje a snižuje se její schopnost zajišťovat kvalitní produkci v dlouhodobé perspektivě (upraveno podle: Swift a Anderson, 1991, cit. in Leakey, 1998)

- nadměrné využívání přirozené vegetace (např. jako palivo; zbylá vegetace nedostatečně chrání půdu před erozí a jinými degradačními mechanismy),
- průmyslové technologie (zejména výroba, těžba surovin, skladování odpadů aj.).

V České republice máme asi 4 220 000 ha (= 42 200 km²) zemědělské půdy, což představuje 55,4 % výměry státu (**tabulka 3**). Stejně jako v jiných zemích je část půdy v ČR degradována erozí, škodlivinami, zhutněním a dalšími negativními jevy. Výměra zemědělské půdy se stále snižuje v důsledku záborů pro stavbu sídel, komunikací, průmyslových podniků aj., ale v poslední době i převodem do lesní půdy; část půdy dnes leží ladem.

Máme tedy půdy dostatek? Odpověď zní **zatím ANO, ale...** Vzhledem k tomu, že každý hektar alespoň průměrně kvalitní půdy užíví několik lidí, představuje 4,2 milionu hektarů zemědělské půdy dostatečnou výměru pro současných asi 10,5 milionu obyvatel České republiky. Jsme v tomto smyslu soběstační a pokud bychom si odpustili tropické ovoce, kávu, čaj, koření a další plodiny a pochutiny, které u nás nerostou a nevyrábí se, a pokud nás nijak zásadně nepřibude, naše půda nám zhruba postačuje. Jenže problém tkví v té zmíněné „průměrné kvalitě“ půdy. Jak jsme si ukázali výše, půdy na celém světě, Českou republiku nevyjímaje, postupně degradují. „Stará“ se o to samo lidstvo tím, že půdu neužívá s rozmyslem a s náležitou péčí. Postupující degradace půdy a nemožnost rozšířit její výměru představují pro lidstvo smrtelné

Tabulka 3. Plocha a využití půdy v České republice v roce 2013

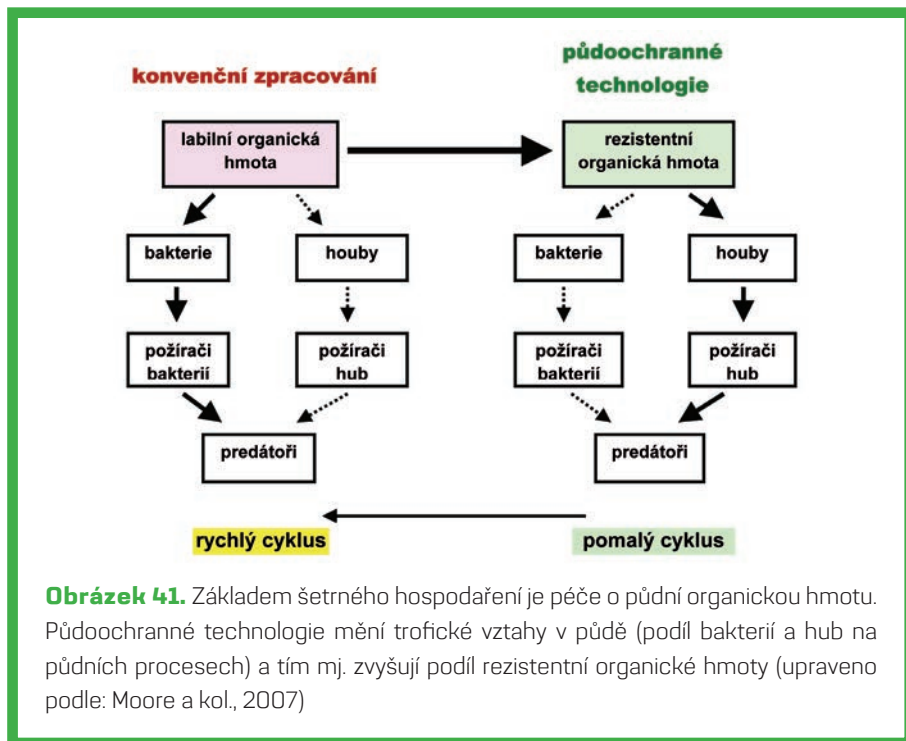
(upraveno podle: Statistická ročenka ČR, 2014)

Kategorie	Plocha (ha)	%
celková výměra státu	7 887 000	–
zemědělská půda celkem	4 220 000	100
z toho: orná půda	2 986 000	70,8
louky a pastviny	994 000	23,6
zahrady	163 000	3,9
ovocné sady	46 000	1,1
vinice	20 000	0,5
chmelnice	10 000	0,2
nezemědělská půda celkem	3 667 000	100
z toho: lesní pozemky	2 664 000	72,6
ostatní plochy	707 000	19,3
rybníky a ostatní vodní plochy	164 000	4,5
zastavěné plochy	132 000	3,6

nebezpečí, a to doslova. Je třeba půdu mnohem lépe chránit a pečovat o ni, jinak nebude schopna zabezpečit stále rostoucí nároky na zemědělskou produkci k výživě našich dětí a následujících generací. Osud naší půdy (a tím i našich potomků) máme ve svých rukou: existuje řada opatření, která lze např. shrnout do termínu půdoochranné technologie (některé viz **obrázek 41**), a jejich důsledným dodržováním a aplikací i dalších opatření lze půdu využívat rozumně a šetrně.

Pro zvědavé: Víte, že jedním z principů trvale udržitelného vývoje je ekologické zemědělství?

Česká republika patří k zemím s nejvyšším podílem půdy obhospodařované v režimu ekologického zemědělství na světě. Podíl ekologicky obhospodařované půdy i počet ekofarem se u nás dlouhodobě zvyšuje. V současné době se ekologicky obhospodařuje kolem 12 % zemědělské půdy na rozloze 500 tis. hektarů a počet farem převyšuje 4000. Největší podíl této půdy připadá na trvalé travní porosty, tedy louky a pastviny (83 %), dále na ornou půdu (12 %), zbytek připadá na sady, vinice, chmelnice aj. Současný podíl biopotravin na celkové spotřebě potravin a nápojů v ČR je však jen necelé procento.



Obrázek 41. Základem šetrného hospodaření je péče o půdní organickou hmotu. Půdochranné technologie mění trofické vztahy v půdě (podíl bakterií a hub na půdních procesech) a tím mj. zvyšují podíl rezistentní organické hmoty (upraveno podle: Moore a kol., 2007)

Jak přispíváme v Biologickém centru AV ČR k lepšímu poznání a správnému využívání půdy?

Poznáváme zákonitosti sukcese půdních organismů

Vznik nové půdy je velmi dlouhodobý proces, ve kterém hraje nezastupitelnou roli rozvoj společenstev půdních organismů, jak mikroorganismů, tak bezobratlých živočichů, tzv. sukcese. Ta je definována jako změna druhového složení organismů nebo struktury jejich společenstev v čase po buď významném narušení území vedoucím k odstranění většiny organické hmoty (primární sukcese), nebo po méně závažné disturbanci, kdy jsou v ekosystému některé biologické struktury a procesy zachovány (sekundární sukcese). Spontánní sukcesí pak rozumíme sukcesní procesy probíhající bez antropogenních intervencí, zatímco během řízené (usměrňované) sukcese jsou sukcesní procesy záměrně ovlivňovány člověkem s cílem sukcesi podpořit, urychlit nebo nasměrovat její průběh žádoucím směrem, tj. ke vzniku společenstev blízkých

požadovanému stavu. Poznání sukcesního vývoje ekosystémů je významné i z praktických hledisek souvisejících s obnovou (rekonstrukcí) lidskou činností degradované krajiny a jejích funkcí. Řada studií sukcese je proto úzce spjata s problematikou ekologie obnovy (restoration ecology).

Vědci z Biologického centra AV ČR (ÚPB) se výzkumu sukcese půdních organismů a jejich vlivům na tvorbu a vývoj půd věnují dlouhodobě, a to jak u nás, tak i v dalších evropských zemích a v USA. Zaměřují se zejména na poznání zákonitostí primární sukcese na plochách vzniklých v souvislosti s těžbou nerostných surovin uhlí a na studium sekundární sukcese na opuštěných orných půdách. Vzhledem k dlouhé době vývoje půd a společenstev je výzkum většinou založen na tzv. chronosekvenčním přístupu, tj. jsou srovnávány parametry prostředí na plochách různého stáří, které měly co nejpodobnější historii.

Vývoj společenstev půdních organismů **během spontánní a řízené sukcese** byl v rámci několika projektů studován zejména na výsypkách po těžbě hnědého uhlí v oblasti Sokolova. Výsledky rozsáhlé studie, ve které bylo sledováno více než 50 parametrů vegetace, substrátu a půdní fauny na 27 plochách nerekulitovaných výsypek různého stáří (1–41 let), ukázaly, kromě jiného, že žádná ze studovaných skupin půdních bezobratlých živočichů nepreferovala nejmladší stadia sukcese a že hustota většiny skupin půdní mikrofauny a mezofauny, jakož i epigeických žížal, signifikantně vzrostla na plochách starých 15–22 let charakterizovaných rozvojem křovinné vegetace. Stabilní společenstva dalších skupin půdní mezofauny, např. vidličnatek a dravých či fungivorních hlístic, a makrofauny, např. saprofágních larev dvoukřídlých a endogeických žížal, však byla zjištěna až na nejstarších (24 až 41letých) výsypkách s rozvinutým stromovým patrem vegetace. Hustota společenstev řady skupin (dravých hlístic, roupic, hmyzenek, pancířníků, endogeických žížal a saprofágních dvoukřídlých) přitom byla pozitivně korelována s tloušťkou humusové vrstvy půdy.

Porovnání hustot půdních organismů na stejně starých plochách rekulitovaných a nerekulitovaných výsypek ukázalo, že rychlost sukcese saprotrofních mikroskopických hub, krytenek, pancířníků a larev dvoukřídlých byla výrazně vyšší na výsypkách se spontánní sukcesí, a naopak lesnická rekulivace (kterou lze považovat za formu řízené sukcese) urychlila rozvoj společenstev hlístic a zástupců saprofágní makrofauny, tj. žížal, stejnonožců a mnohonožek. Rozdílná byla i struktura společenstev půdních biot, přičemž na nerekulitovaných plochách byla zjištěna řada druhů zcela chybějících či jen vzácně nalézáných na zalesněných výsypkách. Důvodem se zdá být, ve srovnání se zalesněnými plochami, daleko větší heterogenita spontánně se vyvíjejících území, která tak mohou hostit druhy s rozdílnými ekologickými preferencemi a strategiemi. Obecně lze tedy tvrdit, že zachování ploch bez rekulivace může významně podpořit celkovou biodiverzitu výsypek (Frouz a kol., 2013a).

Na význam vlastností výsypkového substrátu pro rychlost a směr sukcese půdních organismů poukázala studie, ve které byly porovnávány dvě kontrastní

chronosekvence. První zahrnovala výsypky v okolí Cottbusu (Německo) tvořené kyselými písčitými substráty a druhá výsypky u Sokolova s jílovitými substráty. Výsledky ukázaly, že nepříznivé fyzikální a chemické parametry substrátu společně s nižším množstvím a horší kvalitou opadu byly příčinou významně pomalejšího rozvoje společenstev půdních biot na plochách u Cottbusu než na plochách u Sokolova. Rozdíl se přitom projevily nejen v hustotách půdních biot na plochách podobného stáří, ale i v kvalitativních parametrech jejich společenstev. Ve srovnání s výsypkami u Cottbusu byla na výsypkách u Sokolova iniciální stadia sukcese kolonizována výrazně vyšším počtem pionýrských druhů a odvozenější stadia byla charakterizována společenstvy s výrazně vyšší druhovou diverzitou.

V jedné z recentních studií výzkumníci ÚPB srovnávali vývoj společenstev půdních organismů v několika chronosekvencích ploch po těžbě uhlí nacházejících se podél klimatického gradientu napříč Středozápadem USA a objevili významné rozdíly v rychlosti a směru sukcese na plochách lišících se rozvojem vegetace. Zjistili, že na relativně vlhkých plochách na východě porostlých lesy nebo vysokostébelnou prérií



Obrázek 42. Pracovníci Ústavu půdní biologie Biologického centra AV ČR odeírají půdní vzorky pro výzkum sukcese půdních organismů na výsypce s lesnickou rekultivací (foto V. Pižl)

tvoří vysoký podíl půdní fauny **saprotrofní makrofauna**, která se živí rostlinným opadem a hraje významnou roli při promíchávání organické hmoty s minerálním substrátem. Naopak na sušších plochách na západě porostlých krátkostébelnou préríí je půdní fauna tvořena zejména zástupci živíciemi se kořeny rostlin. V důsledku toho dochází na východě během sukcese k rozvoji poměrně složitých společenstev půdních živočichů a doba pro dosažení klimaxového stadia je velmi dlouhá, zatímco společenstva na západě jsou méně složitá, jejich vývoj je kratší a během sukcese téměř nedochází k obměně druhů (Frouz a kol., 2013b).

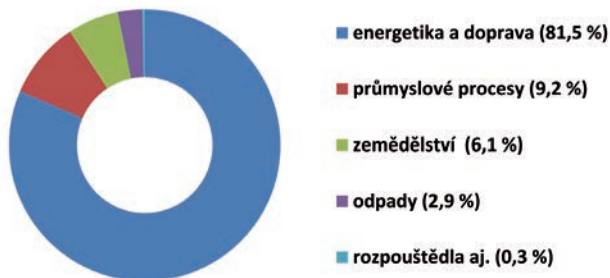
Hledáme cesty ke snížení emisí skleníkových plynů z půd

Emise tzv. skleníkových plynů a hlavně účinky těchto plynů v atmosféře Země a možné globální důsledky zvyšování koncentrace skleníkových plynů v atmosféře patří v poslední době k mediálně vděčným tématům. Z odborného a vědeckého tématu se nenápadně, ale o to neodbytněji, stalo téma politické. Pojmy „globální oteplování“, „globální změny“ nebo „skleníkové plyny“ tak známe díky médiím všichni, což ovšem nebrání tomu, aby se nepoužívaly často nesprávně nebo v nesprávných souvislostech.

Za **hlavní plyny se skleníkovým efektem v atmosféře** a s přímou návazností na lidské aktivity včetně zemědělství se pokládají tři plyny: **oxid uhličitý**, jehož antropogenní produkce je odpovědná za 60 % globálního potenciálního oteplujícího účinku, **metan** (20 %) a **oxid dusný** (6 %); zbývajících 14 % připadá na **freony**.

Notoricky známé zdroje skleníkových plynů jsou energetika, průmysl a doprava. Dnes je však jisté, že také půdy a zemědělství produkují velká množství skleníkových plynů. Podíl zemědělství na celosvětových antropogenních emisích skleníkových plynů se odhaduje na 22 % (zatímco v ČR pouze 6 %; **obrázek 43**); je tedy podobný jako celkové emise z průmyslové výroby a dokonce vyšší než emise z dopravy. Kolem 80 % globálních emisí ze zemědělství jsou emise spojené s chovem hospodářských zvířat. Zemědělství je přitom jedním z hlavních zdrojů metanu a oxidu dusného, a to jak v celosvětovém měřítku, tak i v podmínkách ČR. Odhaduje se, že globálně vzniká v zemědělství přes 50 % antropogenních emisí N_2O a přes 80 % antropogenních emisí CH_4 . V podmínkách ČR jsou hlavním zdrojem N_2O zemědělské půdy a dále spalování fosilních paliv a průmyslová výroba, zatímco u metanu je nejvýznamnějším zdrojem spalování tuhých paliv následované zemědělstvím (chov dobytka, organická hnojiva) a odpadovým hospodářstvím. Hlavní zdroje emisí skleníkových plynů ze zemědělství v ČR představují půdy, tzv. enterická fermentace v trávicích traktech chovaných zvířat a statková hnojiva.

Skleníkové plyny vznikají v zemědělství zejména tam, kde je nadbytek dusíku (vzniká N_2O) nebo kde se aktivují mikroorganismy a rozkládá se organická hmota (vzniká CO_2 a CH_4). Mohli bychom říci, že v podmínkách určitého nedostatku půda s dusíkem dobře hospodaří a jen velmi málo dusíku uniká z půdy do okolí, ať již ve formě plynů do ovzduší, nebo v jiných formách do podzemních i povrchových vod.



Obrázek 43. Podíl jednotlivých sektorů na antropogenních emisích skleníkových plynů přepočtených na CO₂ eq. v České republice v roce 2012

V grafu nejsou uvedeny tzv. záporné emise (tedy poutání skleníkových plynů) související s využitím půdy a krajiny a lesnictvím, které dosáhly výše -7,2 Mt CO₂ eq. na rok 2012, tedy cca -5,8 % všech emisí (131,5 Mt CO₂ eq.) (podle Národní inventarizační zprávy – National greenhouse gas inventory report of the Czech Republic, Praha, April 2014)

Pokud je však dusíku více, hospodaření s ním není tak přísné a mnohem více dusíku může z půdy unikat. Zemědělské půdy mívají celkem často dusíku nadbytek. Dusík se totiž do nich přidává ve formě průmyslových i organických hnojiv, aby byla zajištěna výživa pěstovaných plodin. Plodiny ale všechny dusík využít nemohou a tím vznikají dobré podmínky pro tvorbu plynných forem dusíku včetně skleníkového plynu N₂O. Např. v hospodářském roce 2012/2013 se v zemědělství ČR spotřebovalo přes 260 000 tun dusíku ve formě průmyslových hnojiv a lze se oprávněně domnívat, že část tohoto dusíku posléze unikla do ovzduší ve formě oxidu dusného. Jaká část není jisté – odhady kolísají mezi několika procenty až desítkami procent v těch nejhorších případech.

V půdách je obsaženo obrovské množství uhlíku; v přepočtu na jeden hektar plochy jde o desítky až stovky tun uhlíku, a to ve velké většině ve formě organických (humusových) látek. Při mikrobiálních přeměnách se část uhlíku obsaženého v organických sloučeninách a v humusu mineralizuje – vznikají jednoduché sloučeniny včetně oxidu uhličitého (CO₂) a metanu (CH₄). Můžeme zjednodušeně říci, že pokud v dané půdě a v daném čase převažují aerobní poměry (tj. je v ní dostatek kyslíku), vzniká převážně oxid uhličitý, zatímco při nedostatku kyslíku vzniká podstatně více metanu. Využívání půd pro zemědělství a jejich obdělávání vede ve velké většině případů ke zvýšeným emisím uhlíkatých plynů a k poklesu obsahu organické hmoty v půdě v důsledku zvýšené mineralizace organických látek. Obdělávání totiž spočívá

v mnoha činnostech, které půdu celkově provzdušňují a které zvyšují intenzitu mikrobiálních pochodů. Také dočasné zaplavení půdy při pěstování rýže a některých jiných plodin nebo špatné hospodaření, které umožňuje vznik dočasně zamokřených půd, vedou ke zvýšené tvorbě a následným emisím metanu.

Druhým významným zdrojem emisí skleníkových plynů ze zemědělství je ve-dle půd chov hospodářských zvířat. I když nelze zanedbat ani oxid uhličitý uvolňova-ný respirací, jedná se hlavně o metan. Metan produkují mikroorganismy ze skupiny archea, které tvoří normální součást mikroflóry v trávicím traktu mnoha živočichů včetně přežvýkavců. Vedle přímé produkce metanu říháním a větry vzniká metan v souvislosti s chovem dobytka ve skládkách organických hnojiv (tedy ve skládkách exkrementů dobytka, v hnojištích, v jímkách kejdy a močůvky apod.), v průběhu jejich zrání a po jejich aplikaci i v půdě; spolu s metanem zde mikrobiálními procesy vzniká i nezanedbatelné množství N_2O .

Pracovníci Biologického centra AV ČR řešili a řeší projekty zaměřené na pro-blematiku vzniku tzv. skleníkových plynů v půdách a na emise těchto plynů z půd.

Naše skupina se v poslední době zaměřila na produkci skleníkových plynů v půdách ovlivněných skotem (**obrázek 44**) (např. Šimek a Cooper, 2002; Šimek a kol., 2004, 2006, 2010, 2014; Hynšt a kol., 2007; Radl a kol., 2007, 2014; Brůček a kol., 2009; Chroňáková a kol., 2009; Phillipot a kol., 2009; Čuhel a kol., 2010; Elhottová a kol., 2012; Koubová a kol., 2012; Jirout a kol., 2013). Zaměření na pastevní půdy není náhodné. Je známo, že dobytek svojí přítomností na pastvině podstatně ovlivňuje půdní vlastnosti a přímo i nepřímo i společenstvo půdních organismů. Nejde jenom o vnášení živin (a obrovského množství mikroorganismů) ve formě exkrementů, ale i o sešlapávání půdy a změny půdní struktury a mnoha odvozených půdních vlastností. Změna podmínek v půdě může znamenat změny v emisích skleníkových plynů z půdy. V tomto případě – na travních porostech využívaných pro pastvu – bohužel můžeme očekávat spíše zvýšení emisí. Naším cílem je detailní poznání zákonitostí mikrobiální produkce metanu a oxidu dusného v takto využívaných půdách. To by mělo umožnit nalezení cest ke snížení nebo zamezení emisí. Jak? Na to není v současnosti lehké odpovědět: je evidentní, že cílená regulace mikrobiálních procesů v půdě je i teoreticky obtížná, natož pak v provozních podmínkách. Máme nicméně určité představy a v našem současném výzkumu si je ověřujeme (**tabulka 4**). Dobře například víme, že kromě toho, že některé mikroorganismy metan vytvářejí, jiné mikroorganismy jej dokáží využít a metabolizovat na oxid uhličitý. Kdyby se tedy podařilo „ovládnout“ tuto skupinu mikroorganismů a zařadit, aby se metan produkovaný v půdě ještě v těžce půdě odboural, bylo by to skvělé. V případě oxidu dusného existuje možnost cílené stimulace mikroorganismů, které jej umí redukovat na zcela neškodný molekulární dusík – zde se např. nabízí regulace půdní reakce (pH) (**obrázek 45**). Přes určité náznaky praktického využití zmíněných (a dalších) poznatků je ale zřejmé, že k efektivní a účinné regulaci mikrobiálních procesů v půdách *in situ* je ještě dlouhá cesta.



Obrázek 44. Pastevní půdy jsou velkým zdrojem skleníkových plynů

Jeich emise z půdy do ovzduší studujeme pomocí speciálních komor, které jsou částečně zapraveny do půdy a lze v nich zachytit plyny, které z půdy emitují. Komory jsou jednoduché konstrukce, a tak jich lze najednou použít i větší množství (a). V určitých časových intervalech se z komor do injekčních stříkaček odebírají vzorky plynů (b), které se posléze analyzují v laboratoři na obsah skleníkových plynů s využitím plynové chromatografie (c) (foto M. Šimek)

Tabulka 4. Příklady opatření ke snížení emisí skleníkových plynů ze zemědělsky využívaných půd studovaných v Biologickém centru AV ČR, v. v. i.

Efekt	Mechanismus	Potenciální opatření
snížení emisí metanu ze zemědělské půdy	podpora anoxické a oxické oxidace metanu v půdě	manipulace se složením půdního mikrobiálního společenstva a podpoření aktivity metanotrofů (mikroorganismů spotřebovávajících metan)
snížení emisí metanu ze zemědělské půdy, z organických hnojiv a z exkrementů dobytka	omezení činnosti metanogenů (mikroorganismů produkujících metan)	manipulace s fyzikálními a chemickými parametry (např. provzdušněním půdy) za účelem omezení aktivity metanogenů
snížení emisí oxidu dusného z pastevní půdy	omezení procesů denitrifikace a nitrifikace, které produkují oxid dusný	management pastvy a organizace hospodářství vedoucí ke snížení akumulace exkrementů dobytka manipulace s půdní reakcí (pH) za účelem ovlivnění aktivity denitrifikátorů v půdě
snížení emisí oxidu dusného z orné půdy	omezení procesů denitrifikace a nitrifikace, které produkují oxid dusný	manipulace s půdní reakcí (pH) za účelem ovlivnění aktivity denitrifikátorů v půdě, respektive snížení produkce N_2O a zvýšení redukce N_2O na N_2
snížení emisí oxidu dusného z orné půdy	omezení procesů denitrifikace a nitrifikace, které produkují oxid dusný	management hnojení průmyslovými dusíkatými hnojivy s cílem omezení ztrát N z hnojiv včetně souběžné úpravy půdní reakce
snížení emisí oxidu uhličitého z půdy	omezení a zpomalení rozkladu půdní organické hmoty	půdoochranná agrotechnická opatření vedoucí ke snížení rychlosti oxidace organických látek v půdě a naopak ke zvýšení ukládání C v půdním humusu



Obrázek 45. Stádo skotu může výrazně ovlivnit místní podmínky, např. může dojít ke znečištění vod živinami z exkrementů nebo ke změnám půdních vlastností (a). Pomocí terénních manipulací lze studovat vliv podmínek prostředí na mikrobiální procesy v půdě – na obrázku (b) je zakládání experimentu, přesněji aplikace práškového vápna, s cílem zjistit vliv vápnění pastevní půdy na transformace dusíku v půdě a na tvorbu skleníkových plynů (foto M. Šimek)

Studujeme zdroje a způsoby šíření zdravotně rizikových mikroorganismů a genů v půdě

Zvyšující se odolnost (rezistence) patogenních mikroorganismů k antibiotickým léčivům je dalším globálním problémem současné civilizace. Antibiotická léčba u lidí i u zvířat je v důsledku vzrůstající bakteriální rezistence stále větším zdravotním problémem, který je spojený se zhoršením možností a prodlužováním doby léčby, snižováním kvality života, nárůstem úmrtnosti a závažnými hospodářskými důsledky. Ačkoliv na rizika vývoje bakteriální antibiotické rezistence (AB-r) spojená s aplikací antibiotik (AB) upozorňoval sám jejich objevitel Alexander Fleming, lidská společnost toto varování během minulých 70 let masivního užívání antibiotik více či méně ignorovala. Řada faktorů, které přispívají k šíření rezistence k antibiotikům je notoricky známá snad každému: nevhodně zvolená léčba (např. léčba antibiotiky při virovém onemocnění) a nevhodný přístup pacienta (nedobírání celé léčebné dávky antibiotik, užívání antibiotik při zvýšené fyzické námaze atd.). Poněkud menší povědomí má laická veřejnost o nevhodném používání antibiotik ve formě růstových stimulatorů v živočišné výrobě (v EU od roku 2006 již zakázáno) či jako preventivního prostředku před šířením nežádoucích bakteriálních infekcí v živočišné i rostlinné výrobě, včetně akvakultur a velkopěstíren okrasných květin a dřevin. Jednoznačně nejméně informací je k dispozici z oblasti odpadního hospodářství, kam spadají odpady z vlastní výroby antibiotik, dále čistírenské kaly, odpady z živočišné výroby, kompostáren a bioplynových stanic. Odpady, jejichž součástí jsou exkrementy živočišného původu, kromě **AB reziduí**, těžkých kovů a jiných toxických látek obsahují také **bakterie rezistentní k antibiotikům (ABB-r)** a mimobuněčné **geny kódují rezistenci k antibiotikům (ABG-r)**.

Tabulka 5 shrnuje biologické a ekologické faktory, které se uplatňují při vývoji a šíření bakteriální odolnosti k antibiotikům. Z přehledu vyplývá, že bakterie, pokud jsou soustavně vystaveny vlivu AB (podobně jako jiným pro ně toxickým látkám), přírodním výběrem selektují linie, které umí účinku AB odolat. Řekli jsme si, že bakterie patří mezi organismy s nejrychlejší schopností reprodukce (doba zdvojení může být i 20 minut), a tak přírodní selekce probíhá v porovnání s vyššími organismy velmi dynamicky. Rezistentní linie bakterií zpravidla modifikuje nějaký stávající buněčný mechanismus, aby se vypořádala s nežádoucím účinkem AB. Například tzv. effluxní pumpy, které slouží pro transport určitých látek z buňky ven, se přizpůsobí k vypuzování nežádoucího AB. Schopnost AB-r je geneticky kódována. Udržovat ABG-r je sice pro bakterie náročné, ale vyplatí se to v prostředí, kde se AB vyskytují. V takovém prostředí jsou ABG-r naopak výhodnou a potřebnou vlastností. Bakterie pro zajištění těchto genů navazují nejrůznější interakce se svým prostředím a ostatními organismy. Bakterie si ABG-r vyměňují (prostřednictvím procesu spájení neboli konjugace) s jinými, i nepříbuznými bakteriemi, umí je přijmout z odumřelých buněk a přenos ABG-r zajišťují také bakteriální viry (bakteriofágy). Těmto interakcím říkáme **horizontální nebo také laterální přenos genů (HGT)**. Jedná se o proces nesmírně

Tabulka 5. Biologické a ekologické faktory přispívající ke vzniku a šíření odolnosti bakterií k látkám s antibiotickým účinkem

Faktory umožňující vývoj a šíření odolnosti bakterií k antibiotikům
Schopnost bakterií za určitých podmínek vyvinout odolnost k jakémukoliv antibiotiku (AB)
Opakovaný nebo kontinuální vliv AB vede k selekci bakteriálních kmenů odolných k antibiotikům (ABB-r)
Rezistence k antibiotikům (AB-r) je geneticky kódována
Přítomnost AB (ale i dalších toxických látek) v prostředí vede k udržování a rozmnožování AB-r bakterií a obohacování AB-r genomu (rezistomu) bakterií
ABB-r si za určitých podmínek předávají AB-r geny (ABG-r)
ABG-r si předávají i nepříbuzné bakterie (odlišné druhy i rody)
Velká mobilita přenosu ABG-r mezi bakteriemi je zprostředkována tzv. mobilními genetickými strukturami (mobilom), kterých je velká škála
Nízké (sub-inhibiční) dávky AB napomáhají výměně ABG-r mezi bakteriemi
ABB-r mají tendenci rozšiřovat svůj rezistom, čímž dochází ke vzniku bakteriální AB-multirezistence

zajímavý jak z praktického hlediska šíření určité vlastnosti (např. AB-r), tak z hlediska evoluce. Víme, že pro HGT je důležitý tzv. mobilní genetický aparát (mobilom), který zprostředkuje přenos genů typu ABG-r. Víme, že ne všechny bakterie se HGT účastní a že kompatibility mobilomu mezi účastníky HGT hraje významnou roli, stejně jako podmínky, ve kterých může HGT probíhat. Jejich poznání je středem pozornosti současného výzkumu neboť slouží k identifikaci bariér, které mohou šíření AB-r zamezit. Mnoho informací o šíření ABG-r máme z klinické mikrobiologie, zaživačí trakt člověka je ideálním prostředím pro HGT, nicméně podobné, avšak daleko složitější prostředí představují právě výše zmíněné živočišné odpady. Představte si např. kal, který vzniká v čistírně odpadních vod. Směřují sem veškeré nestrávené zbytky potravy, ale i rezidua léků, fekální mikroorganismy, zbytky čisticích a kosmetických prostředků s antibakteriálními účinky atd. Dostatek živin, ale i toxických látek a vysoká koncentrace mikroorganismů skýtá nepředstavitelné možnosti pro výměnu ABG-r mezi bakteriemi, ale také prostředí pro vznik nových typů AB-r a nových kombinací AB-multirezistence, tj. odolnosti bakterií k velkému počtu různých antibiotik. Soubor všech genů zodpovědných za AB-rezistenci v daném prostředí se nazývá **rezistom** a skýtá mnoho nezodpovězených otázek. Další velkou neznámou a zároveň oblastí intenzivního výzkumu je reakce přirozeného prostředí na vstupy produktů odpadního hospodářství (voda z výtoku čistíren, kaly, komposty, digestáty z bioplynových stanic, atd.)

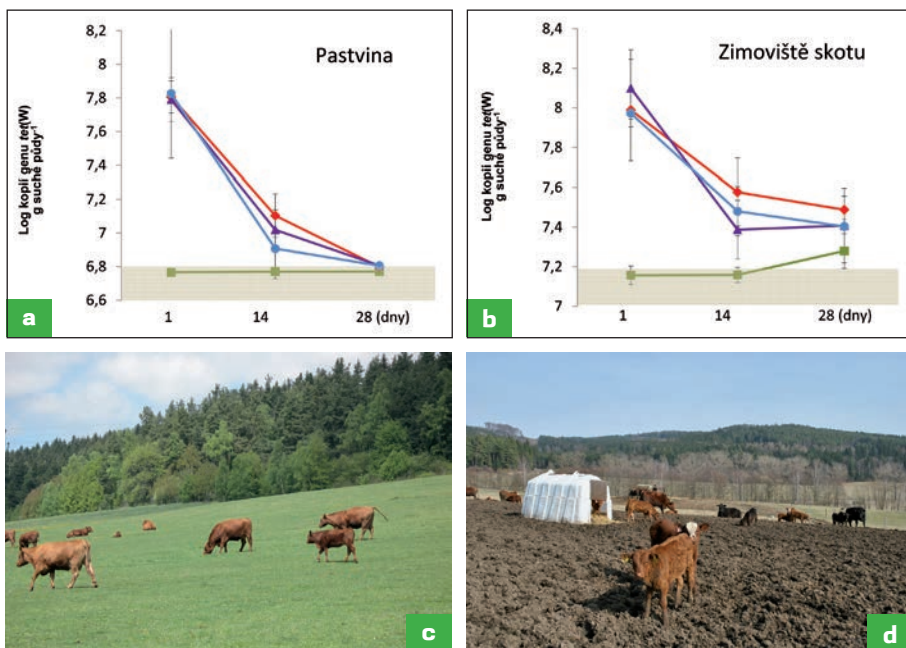
a zemědělské výroby (statková hnojiva) zpět do prostředí. Prostor je s ohledem na šíření AB rezistence doposud velmi málo prostudováno. Této oblasti výzkumu se intenzivně věnují pracovníci oddělení půdní mikrobiologie Biologického centra AV ČR. Část výzkumu se soustředí na rezistenci k tetracyklinovým antibiotikům (TET) používaným v živočišné výrobě, která následně skrze živočišné odpady obsahující TET rezidua, TET rezistom a mobilom ovlivňují mikrobiální složku zemědělských půd. Specifika a význam studia rezistence k tetracyklinu v zemědělské půdě shrnuje **tabulka 6**.

Tabulka 6. Hlavní charakteristiky tetracyklinových antibiotik a tetracyklinového rezistomu ve vztahu k půdnímu prostředí.

Tetracyklinová antibiotika (TET)	Tetracyklinový rezistom (TET-r)
Půdní aktinobakterie rodu <i>Streptomyces</i> jsou přirozenými producenty některých tetracyklinových antibiotik	Řada půdních bakterií (zejména producenti r. <i>Streptomyces</i>) nese přirozený tetracyklinový rezistom
TET jsou přirozená i polosyntetická antibiotika používaná v humánní i veterinární medicíně více než 70 let	V současnosti je známo více než 50 různých genových rodin zodpovědných za rezistenci k tetracyklinu, jedná se zejména o získanou rezistenci horizontálním transferem genů (HGT)
TET reprezentují první velkou skupinu antibiotik s širokospektrým účinkem	Mechanismy TET-r zahrnují effluxní pumpy, ribozomální protekci, inaktivaci TET
TET mají bakteriostatický účinek (zastavují růst, ale nezabíjejí; inhibují syntézu bakteriálních proteinů skrze zabránění interakce malé ribozomální podjednotky a aminoacyl-tRNA)	TET-r geny jsou velmi často přenášeny mobilními genetickými elementy, zejména konjugativními plazmidy
TET se masivně používají v živočišné výrobě (léčba, profylaxe i stimulace růstu)	TET-r determinanty jsou v současnosti nacházeny v genomu mikroorganismů lidského i zvířecího zažívacího traktu, v potravinách i přímo v prostředí
TET společně se sulfonamidy tvoří největší zátěž reziduí antibiotik zemědělských půd	TET-r v půdě je podceňovaným rezervoárem s potenciálem dalšího šíření mezi patogeny

Výsledky týmu půdních mikrobiologů Biologického centra AV ČR (Kyselková a kol., 2012, 2013a, b, 2015a, b; Chroňáková a kol., 2013) ukázaly, že zemědělské půdy jsou v porovnání s půdami mimo vliv intenzivní lidské činnosti průkazně významnějším prostředím výskytu TET-r genů; hnůj z velkochovů hospodářských zvířat

s aplikací antibiotik skutečně „obohacuje“ rezistom půdy; TET-r geny v půdě přetrvávají podle typu různě dlouhou dobu; pro perzistenci TET-r v půdě hrají významnou roli vlastnosti hnojené půdy. Výsledky kromě jiného také upozornily, že rizika spojená s hnojením živočišnými odpady z velkochově s profylaktickou aplikací AB jsou srovnatelná s riziky v důsledku aplikace AB pro růstovou stimulaci potravinových zvířat,



Obrázek 46. Detailní studium tetracyklinového rezistomu zemědělských půd zahrnuje polní monitoring i laboratorní inkubační pokusy. Grafy ukazují, jak se liší výskyt genu tet(W), jednoho z nejčastějších genů tetracyklinové rezistence v zemědělských půdách, v závislosti na zátěži půdy dobyt看em. Při běžné zátěži paseným dobyt看em (a, foto c) je výskyt tet(W) výrazně nižší než na půdě vystavené intenzivní zátěži dobyt看em (b, foto d), jak ukazují zelené čáry. Laboratorní pokusy za standardizovaných teplotních a vlhkostních podmínek ukázaly, že přetrvávání genu tet(W) v půdách s odlišným zatížením dobyt看em a s přidáním různých dávek tetracyklinového antibiotika (červené, fialové a modré přímkky), se lišilo: v půdě s běžnou zátěží (c) došlo po 1 měsíci k poklesu sledovaného genu na kontrolní hodnotu půdy bez přídavku antibiotik a v půdě silně zatížené dobyt看em a jejich exkrementy (b) gen tet(W) přetrvával. Vlastní dávka přidaného antibiotika nehrála tak významnou roli, jako vlastnosti půd a typ jejich obhospodařování (foto J. Jirout)

kerá je již v EU zakázána. A dále, že nejen hnůj, ale také digestát z bioplynových stanic využívajících zemědělské živočišné odpady je zdrojem AB-r genů, které představují rizikový faktor v případě použití digestátu za účelem hnojení zemědělských půd. Otázka genetické zátěže odpadních kalů a digestátů je významnou oblastí, která zasluhuje další intenzivní výzkum.

Výzkumná činnost je dále zaměřena na identifikaci bakteriálních taxonů, jejich rezistomu a mobilomu, které představují největší zdravotní rizika. Objasnění ekologie transferu a akumulace rizikových genů patří k prioritám výzkumu. Vzhledem k tomu, že tetracyklinová antibiotika jsou jedna z nejstarších, stále intenzivně používaná zejména v zemědělství a navíc s přirozenou vazbou na půdní prostředí, patří studium tetracyklinové rezistence v půdě k významnému modelu, který může kromě výše zmiňovaných praktických problémů objasnit také řadu eko-evolučních a obecně



Obrázek 47. V rámci výzkumu potenciálně rizikových bakterií pro šíření rezistence k antibiotikům v prostředí byl studován tetracyklinový rezistom rychle rostoucích zástupců rodu *Mycobacterium* izolovaných ze zemědělských půd a porovnáván s klinickými izoláty. Rod *Mycobacterium* zahrnuje řadu oportunních patogenů, ale také některé významné patogeny, jako je např. *M. tuberculosis* (původce TBC). Obrázky (a, b, c) zachycují detail tří kultur rychle rostoucích půdních mykobakterií na pevném agarovém médiu specificky upraveném pro jejich izolaci a kultivaci (foto J. Němec)



platných závislostí vzniku, sdílení, šíření bakteriální odolnosti k látkám s antibioticným účinkem v prostředí. **Důsledný výzkum faktorů** zahrnutých do výše zmíněných procesů **umožňuje hledat a identifikovat nejen rizika, ale také bariéry v prostředí, které by šíření ATB-r omezovaly a zabraňovaly mu.**

Vytváříme, udržujeme a využíváme sbírky půdních organismů

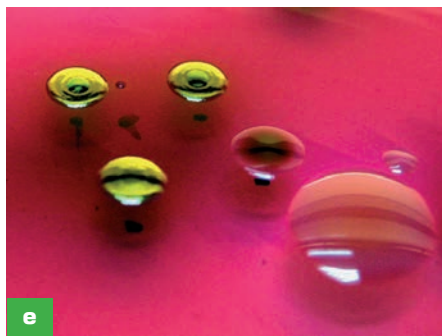
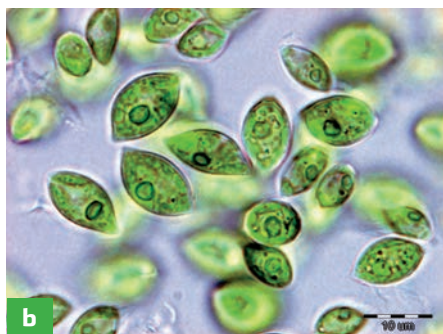
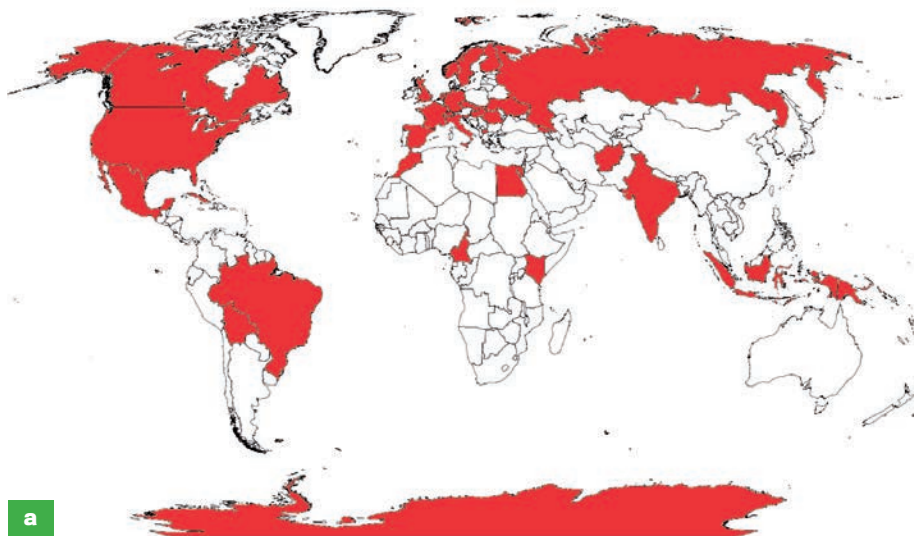
Velký význam pro výzkum edafonu v Biologickém centru mají také sbírky mikroorganismů a srovnávací zoologický materiál půdních živočichů.

Půdní mikroorganismy jsou klíčoví činitelé suchozemských ekosystémů. Jsou nepostradatelné pro procesy zajišťující úrodnost půdy, ale mají také významnou regulační funkci včetně detoxikace půdy od škodlivých látek a potlačování choroboplodných mikroorganismů. Navzdory tomu stále patří mezi nejméně prostudované složky života v půdě. Sběr půdních mikroskopických řas, sinic, mikromycet, aktinomycet a bakterií probíhá již několik desítek let během výzkumu půdní biodiverzity v různých ekosystémech. Řada získaných mikroorganismů pochází z jedinečných prostředí (**obrázek 48**), což významně rozšiřuje možnosti jejich praktického využití. Pracovní sbírky představují cennou banku živého materiálu, jejíž součástí jsou nejen informace o biologických a ekologických vlastnostech kultur, ale i o prostředí jejich původního výskytu.

Sbírkový materiál půdních bezobratlých živočichů obsahuje mnoho tisíc jedinců různých skupin, zejména roztočů, chvostoskoků, hmyzenek, vidličnatek, drobnušek, stonoženek, volně žijících hlístic, vířníků, žížal, mnohonožek, stonožek a suchozemských stejnonožců ze všech kontinentů. Tyto sbírky jsou nejen významným dokladovým materiálem nezbytným pro řadu faunistických a cenologických studií, ale obsahují i množství typového materiálu využívaného při morfologických pracích a taxonomických revizích.

Obrázek 48. Pracovní sbírky půdních mikroorganismů Biologického centra zahrnují více než 6000 kmenů půdních sinic a řas, vláknitých hub a půdních bakterií s významnou kolekcí půdních aktinobakterií. Tyto pracovní sbírky jsou v současnosti převáděny do oficiálních sbírek BC, za účelem bezpečného uchování unikátních položek a jejich zpřístupnění pro aktivní využívání vědeckou a odbornou veřejností. Mapa (a) představuje místa původu půdních mikroorganismů uložených v pracovních sbírkách ÚPB, příklady uchovávaných mikrobů jsou na dalších obrázcích: (b) řasa *Scotiellopsis terrestris*, velikost buněk je asi 10 um, foto A. Lukešová; (c) mikromyceta *Penicillium vulpinum*, velikost makrokolonie asi 50 mm, foto J. Jirout; d) aktinomyceta rodu *Streptomyces* sp., velikost makrokolonie asi 5 mm, foto J. Němec; e) zlaté zbarvené kolonie bakterií *Escherichia coli* na chromogenním Endově agaru, velikost kolonií asi 5 mm, foto J. Jirout





Slovníček pojmů

Agroekosystém: Funkční propojení zemědělské výroby s krajinou. Od přirozeného ekosystému se liší ovlivňováním jak biocenózy, tak příslušného prostředí.

Archea: Skupina prokaryotických jednobuněčných organismů, které se od bakterií liší složením cytoplazmatické membrány, buněčné stěny a některými metabolickými pochody.

Antibiotikum: Látka produkovaná organismem, která zastavuje růst jiného organismu nebo ho přímo usmrcuje. Ve formě léčiv se antibiotika používají zejména k potlačení bakteriálních infekcí.

Antibióza: Vzájemné potlačování růstu a jiných životních projevů jednoho organismu druhým, například produkcí látek s antibiotickým účinkem.

Autotrofní organismus: Organismus schopný přeměňovat dostupné anorganické sloučeniny na látky organické. Mezi autotrofy patří rostliny, mnoho mikroorganismů, aj.

Bakteriální effluxní pumpy: Proteinová čerpadla v bakteriální povrchové membráně, zprostředkující transport určitých látek dovnitř a ven z bakteriální buňky.

Bakteriální konjugace: Typ horizontální výměny genetické informace (DNA, zpravidla nesené na plazmidu) mezi dvěma bakteriálními buňkami, které jsou za tímto účelem dočasně spojené pomocí pili (dutého vlákna), kterým pronikne přenášená plazmidová DNA z jedné bakterie do druhé.

Bakteriofág: Virus infikující bakterie.

Biocenóza: Vyvážené společenství všech organismů obývajících určitý prostor, spojených vzájemnými vztahy mezi sebou a prostředím.

Biomasa: Souhrn látek tvořících těla všech organismů, tedy jak rostlin, sinic, hub, bakterií, tak i živočichů. Můžeme tak vyjádřit celkové množství daného organismu nebo společenstva.

Degradace půdy: Proces, při kterém dochází k znehodnocení půdy, ke snížení úrodnosti nebo využitelnosti půdy či k úplné ztrátě půdy (erozí).

Detritus/detrit: Mrtvá organická hmota.

Detritofág: Organismus živící se odumřelou organickou hmotou.

Dormance: Přečasná zastavení nebo omezení fyziologických procesů v živých organismech.

Edafon: Souhrnný název pro všechny půdní organismy.

Ekosystémový inženýr: Organismus, který svou činností zcela či velmi významně přetváří okolní prostředí.

Endogeický: Žijící v hlubších vrstvách půdy.

Epigeický: Žijící na půdním povrchu nebo v jeho blízkosti.

Extracelulární (enzym): Vylučovaný mimo buňku do prostředí, důležitý např. pro natravení složitých látek, které by se do buňky obtížně dostávaly.

Fotosyntéza: Biochemická reakce, při níž se energie světelného záření přeměňuje na energii chemické vazby. Z jednoduchých sloučenin (CO_2 , H_2O) vzniknou energeticky

bohaté sloučeniny (nejčastěji cukry), které dále slouží jako surovina k syntéze bezpočtu dalších látek.

Fytofág/herbivor: Býložravec, tj. živočich, který se živí pouze (či prakticky jen) živými tkáněmi rostlin.

Geofág: Živočich požírající minerální půdu a trávící v ní obsažené organické částice a mikroorganismy.

Halofil: Organismus preferující zasolené půdy.

Heterotrofní organismus: Organismus, který nedokáže syntetizovat uhlíkové skelety potřebné pro stavbu těla z anorganických látek; je v tomto odkázaný na autotrofní organismy. Mezi heterotrofy patří živočichové, houby, mnoho mikroorganismů aj.

Horizontální transfer genů: Proces, při němž jeden organismus přijímá genetický materiál (DNA) jiného jedince, ačkoliv není jeho potomkem. Tím může získávat nové vlastnosti.

Hygrofilní: Organismus preferující prostředí (např. půdy) s vysokou vlhkostí.

Humifikace: Proces spojený s tvorbou humusu.

Chronosekvence: Soubor různě starých sukcesních stadií. Porovnáním jejich vlastností můžeme predikovat dlouhodobý sukcesní vývoj (např. ekosystémů).

Kadáver: Mrtvola, uhynulý živočich.

Komenzalismus: Typ biologické interakce mezi dvěma organismy, kdy jeden má ze vztahu prospěch, zatímco druhý jím není ovlivněn.

Koprofág: Organismus živící se živočišnými výkaly.

Kořenový exsudát: Směs látek uvolňovaná zdravými a nepoškozenými kořeny rostlin do prostředí.

Kryptobióza: Klidový stav organismu, při kterém jsou jeho životní procesy již téměř neměřitelné. Slouží k přečkání nepříznivých podmínek prostředí (zejména sucha).

Litorál: Pobřežní pásmo stojatých vod a moří (periodicky omývané vodou), kde v důsledku interakcí vodního a terestrického prostředí často žijí specifické (litorální) organismy.

Mikrobiofág: Organismus živící se výhradně nebo převážně mikroorganismy.

Mikro-, mezo- a makrofauna: Velikostní kategorie půdních živočichů.

Mobilom: Souhrn všech mobilních genetických elementů v genomu (transpozomy, plazmidy, bakteriofágy) zprostředkujících přenos a šíření genetické informace i mimo přibuzenskou buněčnou linii.

Mutualismus: Vzájemné ovlivňování či soužití mezi dvěma či více organismy, které je pro všechny zúčastněné organismy prospěšné.

Mykorrhizní houby: Zástupci hub schopných symbiotického soužití s kořeny vyšších rostlin. Houbová vlákna mohou pronikat do kořenových buněk primární kůry (endomycorhiza) či prorůstat mezibuněčný prostor (ektomycorhiza).

Imobilizace živin: Poutání, resp. zadržování živin, např. uvnitř živých organismů nebo v půdní organické hmotě.

Patogenní (mikroorganismus): Choroboplodný (mikroorganismus), vyvolávající chorobu.

Pedogeneze: Proces vzniku a vývoje půd.

Plazmid: Malá, většinou kruhová molekula DNA schopná replikace, která se přirozeně vyskytuje v cytoplazmě některých bakterií a archeí. Může nést důležité doplňující vlastnosti pro daný organismus (schopnost fixace vzdušného dusíku, odolnost k antibiotikům, schopnost štěpit těžce rozložitelné látky aj.). Konjugativní plazmidy zajišťují horizontální výměnu genetické informace při konjugaci.

Mykorhizní houby: Zástupci hub schopných symbiotického soužití s kořenou vyšších rostlin. Houbová vlákna mohou pronikat do kořenových buněk primární kůry (endomycorhiza) či prorůstat mezibuněčný prostor (ektomycorhiza).

Predátor: Dravec; organismus, který loví jiné organismy a živí se jimi.

Rezistence: Schopnost organismu odolat nepříznivým vlivům vnitřního i vnějšího prostředí.

Rezistom: Souhrn všech genů, které zprostředkují odolnost k nějakému nepříznivému vlivu.

Rhizosféra: Oblast půdy ovlivněná aktivitou rostlinných kořenů.

Saprotrof/saprofág: Heterotrofní organismus, který získává energii rozkladem z organických látek odumřelých organismů.

Skleníkové plyny: Plyny vyskytující se v atmosféře a přispívající k tzv. skleníkovému efektu atmosféry; patří k nim hlavně CO_2 , CH_4 a N_2O .

Symbióza: Velmi těsné soužití dvou či více organismů, které jim zpravidla zajišťuje vzájemné výhody.

Syntrofie: Způsob využívání téhož zdroje potravy více organismy za tak těsné spolupráce, že se jeden organismus neobejde bez produktu metabolismu druhého (ostatních) organismů.

Sukcese: Změna druhového složení organismů nebo struktury jejich společenstev v čase.

Termofil: Organismus preferující vyšší teploty.

Použitá a doporučená literatura

- BEGON, M., HARPER, J. L., TOWNSEND, C. R. *Ekologie: jedinci, populace a společenstva*. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 949 s.
- BOTTOMLEY, P. J. Microbial ecology. In: SYLVIA, D. M., J. J. FUHRMANN, P. G. HARTE, D. A. ZUBERER (Eds.). *Principles and applications of soil microbiology*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998, s. 149–167.
- BRADY, N. C. *The nature and properties of soils*. 10th ed. New York: MacMillan Publ. Company, 1990, 621 s.

- BRŮČEK, P., ŠIMEK, M., HYNŠT, J. Long-term animal impact modifies potential production of N_2O from pasture soil. *Biology and Fertility of Soils* **46**(1), 2009, 27–36.
- CICCONARDI, F., FANCIULLI, P. P., EMERSON, B. C. Collembola, the biological species concept and the underestimation of global species richness. *Molecular Ecology* **22**, 2013, 5382–5396.
- CRESSER, M., KILLHAM, K., EDWARDS, A. *Soil chemistry and its applications*. New York: Cambridge University Press, 1993, 192 s.
- CONRAD, R. Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H_2 , CO, CH_4 , OCS, N_2O and NO). *Microbiological Reviews* **60**, 1998, 609–640.
- COLLINS, W. W., QUALSET, C. O. *Biodiversity in agroecosystems*. Boca Raton: CRC Press, 1998, 334 s.
- COYNE, M. *Soil microbiology – an exploratory approach*. Albany: Delmar Publishers, 1999, 462 s.
- ČUHEL, J., ŠIMEK, M., LAUGHLIN, R. N., BRU, D., CHENEBY, D., WATSON, C. J., PHILIPPOT, L. Insights into the effect of soil pH on N_2O and N_2 emissions and denitrifier community size and activity. *Applied and Environmental Microbiology* **76**(6), 2010, 1870–1878.
- ČUHEL, J., ŠIMEK, M. Effect of pH on the denitrifying enzyme activity in pasture soils in relation to the intrinsic differences in denitrifier communities. *Folia Microbiologica* **56**(3), 2011, 230–235.
- ELHOTTOVÁ, D., KOUBOVÁ, A., ŠIMEK, M., CAJTHAML, T., JIROUT, J., ESPERSCHUETZ, J., SCHLOTER, M., GATTINGER, A. Changes in soil microbial communities as affected by intensive cattle husbandry. *Applied Soil Ecology* **58**, 2012, 56–65.
- ELLIOTT, L. F., LYNCH, J. M. Biodiversity and soil resilience. In: GREENLAND, D. J., I. SZABOLCS (Eds.). *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford: CAB International, 1994, s. 353–364.
- FOTH, H. D. *Fundamentals of soil science*. New York: Wiley, 1990, 360 s.
- FRANKLAND, J. C. Fungal succession – unravelling the unpredictable. *Mycological Research* **102**(1), 1998, 1–15.
- FREIBAUER, A. Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture. *European Journal of Agronomy* **19**, 2003, 135–160.
- FROUZ, J., LIVEČKOVÁ, M., ALBRECHTOVÁ, J., CHROŇÁKOVÁ, A., CAJTHAML, T., PIŽL, V., HÁNĚL, L., STARÝ, J., BALDRIAN, P., LHOTÁKOVÁ, Z., ŠIMÁČKOVÁ, H., CEPÁKOVÁ, Š. Is the effect of trees on soil properties mediated by soil fauna? A case study from post-mining sites. *Forest Ecology and Management* **309**, 2013, 87–95.
- FROUZ, J., JÍLKOVÁ, V., CAJTHAML, T., PIŽL, V., TAJOVSKÝ, K., HÁNĚL, L., BUREŠOVÁ, A., ŠIMÁČKOVÁ, H., KOLAŘÍKOVÁ, K., FRANKLIN, J., NAWROT, J., GRONINGER, J. W., STAHL, P. D. Soil biota in post-mining sites along a climatic gradient in the USA: Simple communities in shortgrass prairie recover faster than complex communities in tallgrass prairie and forest. *Soil Biology and Biochemistry* **67**, 2013, 212–225.

- GLIESSMAN, S. R. *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007, 384 s.
- GREENLAND, D. J., SZABOLCS, I. (Eds.). *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford: CAB International, 1994, 561 s.
- GRYNDLER, M., BALÁŽ, M., HRŠELOVÁ, H., JANSÁ, J., VOSÁTKA, M. *Mykorhizní symbióza: O soužití hub s kořeny rostlin*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2004, 366 s.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1998, 771 s.
- HYNŠT, J., BRŮČEK, P., ŠIMEK, M. Nitrous oxide emissions from cattle-impacted pasture soil amended with nitrate and glucose. *Biology and Fertility of Soils* **43**(6), 2007, 853–859.
- HYNŠT, J., ŠIMEK, M. N₂O emissions from low and moderately disturbed pasture soils-field tests of minimal and maximal N supply. *Plant and Soil* **320**(1–2), 2009, 195–207.
- HYNŠT, J., ŠIMEK, M. Short-term effects of ammonium nitrogen in upland pasture soil affected or not affected by cattle. *Biology and Fertility of Soils* **48**(1), 2012, 43–49.
- CHROŇÁKOVÁ, A. RADL, V., ČUHEL, J., ŠIMEK, M., ELHOTTOVÁ, D., ENGEL, M., SCHLOTTER, M. Overwintering management on upland pasture causes shifts in an abundance of denitrifying microbial communities, their activity and N₂O-reducing ability. *Soil Biology & Biochemistry* **41**(6), 2009, 1132–1138.
- CHROŇÁKOVÁ, A. ASCHER, J., JIROUT, J., CECCHERINI, M. T., ELHOTTOVÁ, D., PIETRAMELLARA, G., ŠIMEK, M. Cattle impact on composition of archaeal, bacterial, and fungal communities by comparative fingerprinting of total and extracellular DNA. *Biology and Fertility of Soils* **49**(3), 2013, 351–361.
- IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- JARVIS, S. C. Emission processes and their interactions in grassland soils. In: JARVIS, S. C., PAIN, B. F. (Eds.). *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. Wallingford, Oxon: CAB International, 1997, s. 1–17.
- JEFFERY, S. et al. *European atlas of soil biodiversity*. European Commission, Publications Office of the European Union. Luxembourg: Publications Office of the European, 2010, 128 s.
- JIROUT, J., TRŠKA, J., RŮŽIČKOVÁ, K., ELHOTTOVÁ, D. Disturbing impact of outdoor cattle husbandry on community of arbuscular mycorrhizal fungi in upland pasture soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **40**(1–6), 2009, 736–745.
- JIROUT, J., ŠIMEK, M., ELHOTTOVÁ, D. Fungal contribution to nitrous oxide emissions from cattle impacted soils. *Chemosphere* **90**(2), 2013, 565–572.
- KENNEDY, A. C. The rhizosphere and spermosphere. In: SYLVIA, D. M., J. J. FUHRMANN, P. G. HARTEL, D. A. ZUBERER (Eds.). *Principles and applications of soil mikrobiology*. New Jersey: Prentice Hall, 1998, s. 389–407.

- KOUBOVÁ, A., GOBERNA, M., ŠIMEK, M., CHROŇÁKOVÁ, A., PIŽL, V., INSAM, H., ELHOTTOVÁ, D. Effects of the earthworm *Eisenia andrei* on methanogens in a cattle-impacted soil: A microcosm study. *European Journal of Soil Biology* **48**, 2012, 32–40.
- KYSELKOVÁ, M., CHROŇÁKOVÁ, A., VOLNÁ, L., NĚMEC, J., ULMANN, V., SCHARFEN, J., ELHOTTOVÁ, D. Tetracycline Resistance and Presence of Tetracycline Resistance Determinants tet(V) and tap in Rapidly Growing Mycobacteria from Agricultural Soils and Clinical Isolates. *Microbes and Environments* **27**, 2012, 413–422.
- KYSELKOVÁ, M., JIROUT, J., CHROŇÁKOVÁ, A., VRCHOTOVÁ, N., BRADLEY, R., SCHMITT, H., ELHOTTOVÁ, D. Cow excrements enhance the occurrence of tetracycline resistance genes in soil regardless of their oxytetracycline content. *Chemosphere* **93**, 2013a, 2413–2418.
- KYSELKOVÁ, M., CHROŇÁKOVÁ, A., NĚMEC, J., KOTRBOVÁ, L., ELHOTTOVÁ, D. Isolation and antibiotic susceptibility testing of rapidly-growing mycobacteria from grassland soils. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* **3**, 2013b, 76–80.
- KYSELKOVÁ, M., JIROUT, J., VRCHOTOVÁ, N., SCHMITT, H., ELHOTTOVÁ, D. Spread of tetracycline resistance genes at a conventional dairy farm. *Frontiers in Microbiology* **6**(536), 2015a, Article Number: 536.
- KYSELKOVÁ, M., KOTRBOVÁ, L., BHUMIBHAMON, G., CHROŇÁKOVÁ, A., JIROUT, J., VRCHOTOVÁ, N., SCHMITT, H., ELHOTTOVÁ, D. Tetracycline resistance genes persist in soil amended with cattle feces independently from chlortetracycline selection pressure. *Soil Biology & Biochemistry* **81**, 2015b, 259–265.
- LAVELLE, P., SPAIN, A. V. *Soil ecology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, 654 s.
- LEAKEY, R. R. B. Agroforestry for biodiversity in farming systems. In: COLLINS, W. W., C. O. QUALSET (Eds.). *Biodiversity in agroecosystems*. Boca Raton: CRC Press, 1998, s. 127–145.
- LEE, K. E. *Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use*. London: Academic Press Inc., 1985, 411 s.
- MADIGAN, M. T., MARTINKO, J. M. *Brock Biology of Microorganisms*, 11th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2006, s. 992.
- MADSEN, E. L. *Environmental Microbiology*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2008, 479 s.
- MOORE, J. C., SIMPSON, R. T., McCANN, K. S., DERUITER, P. C. Food web interactions and modelling. In: BENCKISER, G., S. SCHNELL (Eds.). *Biodiversity in agricultural production systems*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2007, s. 385–398.
- MORTON, J. B. Fungi. In: SYLVIA, D. M., J. J. FUHRMANN, P. G. HARTEL, D. A. ZUBERER. *Principles and applications of soil microbiology*. New Jersey: Prentice Hall, 1998, s. 72–93.

- TIMONEN, S., MARSCHNER, P. Mycorrhizosphere concept. In: MUKERJI, K. G., C. MANOHARACHARY, J. SINGH (Eds.). *Microbial activity in the rhizosphere*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2006, s. 155–172.
- OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D. J., I. SZABOLCS (Eds.). *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford: CAB International, 1994, s. 99–118.
- JARVIS, S. C., PAIN, B. F. (Eds.). *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. Wallingford: CAB International, 1997, 452 s.
- PAUL, E. A., CLARK, F. E. *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego: Academic Press, 1996, 340 s.
- PHILLIPOT, L., ČUHEL, J., SABY, N. P. A., CHÉNEBY, D., CHROŇÁKOVÁ, A., BRU, D., ARROUAYS, D., MARTIN-LAURENT, F., ŠIMEK, M. Mapping field-scale spatial patterns of size and activity of the denitrifier community. *Environmental Microbiology* **11**(6), 2009, 1518–1526.
- PETERSEN, H., LUXTON, M. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* **39**, 1982, 287–388.
- PIERZYNSKI, G. M., SIMS, J. T., VANCE, G. F. *Soils and environmental quality*. Boca Raton: CRC Press, 2000, 459 s.
- POULSEN, M., HU, H., LI, C., CHEN, Z., XU, L., OTANI, S., NYGAARD, S., NOBRE, T., KLAUBAUF, S., SCHINDLER, P. M., HAUSER, F., PAN, H., YANG, Z., SONNENBERG, A. S. M., DEBEER, Z. W., ZHANG, Y., WINGFIELD, M. J., GRIMMELIKHUIJZEN, C. J. P., DE VRIES, R. P., KORB, J., AANEN, D. K., WANG, J., BOOMSMA, J. J., GUOJIE ZHANG, G. Complementary symbiont contributions to plant decomposition in a fungus-farming termite. *PNAS*, **111**(40), 2014, 14500–14505.
- PRESCOTT, L. M., HARLEY, J. P., KLEIN, D. A. *Microbiology*. 2nd ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, 1994, 912 s.
- RITZ, K., YOUNG, I. (Eds.). *The architecture and biology of soils*. Wallingford: CAB International, 2011, 244 s.
- ROWELL, D. L. *Soil science – methods and application*. Burnt Mill: Longman Scientific and Technical, 1994, 350 s.
- RADL, V., GATTINGER, A., CHROŇÁKOVÁ, A., NĚMCOVÁ, A., ČUHEL, J., ŠIMEK, M., MUNCH, J. C., SCHLOTTER, M., ELHOTTOVÁ, D. Effects of cattle husbandry on abundance and activity of methanogenic archaea in upland soils. *ISME Journal* **1**(5), 2007, 443–452.
- RADL, V., CHROŇÁKOVÁ, A., ČUHEL, J., ŠIMEK, M., ELHOTTOVÁ, D., WELZL, G., SCHLOTTER, M. Bacteria dominate ammonia oxidation in soils used for outdoor cattle overwintering. *Applied Soil Ecology* **77**, 2014, 68–71.
- ROSYPAL S. a kol. *Nový přehled biologie*. Praha: Scientia, 2003, 797 s.
- SMITH, K. A., THOMSON, P. E., CLAYTON, H., McTAGGART, I. P., CONEN, F. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. *Atmospheric Environment* **32**, 1998, 3301–3309.

- SMITH, P., MARTINO, D., CAI, Z., GWARY, D., JANZEN, H., KUMAR, P., McCARL, B., OGLE, S., O'MARA, F., RICE, C., SCHOLLES, B., SIROTENKO, O., HOWDEN, M., McALLISTER, T., PAN, G., ROMANENKOV, V., SCHNEIDER, U., TOWPRAYOON, S., WATTENBACH, M., SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **363**, 2008, 789–813.
- SZABOLCS, I. The concept of soil resilience. In: GREENLAND, D. J., I. SZABOLCS (Eds.). *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford: CAB International, 1994, 33–39.
- ŠIMEK, M. Skleníkové plyny v půdě. *Vesmír* **87**(9), 2008, 9–11.
- ŠIMEK, M. Skleníkové plyny ze zemědělství, a co s nimi? *Úroda* **57**, 2009, 8–10.
- ŠIMEK, M., COOPER, J. E. The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. *European Journal of Soil Science* **53**(3), 2002, 345–354.
- ŠIMEK, M., ELHOTTOVÁ, D., KLIMEŠ, F., HOPKINS, D. W. Emissions of N₂O and CO₂, denitrification measurements and soil properties in red clover and ryegrass stands. *Soil Biology & Biochemistry* **36**(1), 2004, 9–21.
- ŠIMEK, M., BRŮČEK, P., HYNŠT, J., UHLÍŘOVÁ, E., PETERSON, S. O. Effects of excretal returns and soil compaction on nitrous oxide emissions from a cattle overwintering area. *Agriculture Ecosystems & Environment* **112**(2–3), 2006, 186–191.
- ŠIMEK, M., BRŮČEK, P., HYNŠT, J. Diurnal fluxes of CO₂ and N₂O from cattle-impacted soil and implications for emission estimates. *Plant, Soil and Environment* **56**(10), 2010, 451–457.
- ŠIMEK, M., HYNŠT, J., ŠIMEK, P. Emissions of CH₄, CO₂, and N₂O from soil at a cattle overwintering area as affected by available C and N. *Applied Soil Ecology* **75**, 2014, 52–62.
- TATE, R. L. *Soil microbiology*. New York: Wiley, 1995, 398 s.
- VAN ELSAS, J. D., TREVORS, J. T., WELLINGTON, E. M. H. (Eds.). *Modern soil microbiology*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997, 683 s.
- VÁRALLYAY, G. Climate change, soil salinity and alkalinity. In M. D. A. ROUNSEVELL, P. J. LOVELAND (Eds.). *Soil responses to climate change. NATO ASI Series I, Global Environmental Change*. Heidelberg: Springer-Verlag, **23**, 1994, 39–54.
- VERGE, X. P. C., DE KIMPE, C., DESJARDINS, R. L. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* **142**, 2007, 255–269.
- WAGNER, G. H., WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M., J. J. FUHRMANN, P. G. HARTEL, D. A. ZUBERER (Eds.). *Principles and applications of soil microbiology*. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1998, s. 218–258.
- WHITE, L. D., MOTTERSHEAD, D. N., HARRISON, S. J. *Environmental systems: an introductory text*. 2nd ed. London: Chapman and Hall, 1992, 616 s.
- WHITE, R. E. *Principles and practice of soil science*. Oxford: Blackwell Science, 1997, 348 s.

- WOOD, M. *Environmental soil biology*. 2nd ed. London: Blackie Academic and Professional, 1995, 150 s.
- WOLTERS, B., KYSELKOVA, M., KROGERRECKLENFORT, E., KREUZIG, R., SMALLA, K. Transferable antibiotic resistance plasmids from biogas plant digestates often belong to the IncP-1 epsilon subgroup. *Frontiers in Microbiology* 5(765), 2015, Article Number: 765.
-

Český hydrometeorologický ústav. Výsledky inventarizací za roky 1990 až 2012. In: *Národní inventarizační systém* [online]. © 2011, aktualizováno: 28. 3. 2014 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/nis_ta_cz.html.

Český statistický úřad. *Zemědělství – časové řady* [online]. Aktualizováno dne: 6. 1. 2015 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/zem_cr.

EKOLIST: zprávy o přírodě, životním prostředí a ekologii [online časopis]. 1997 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <http://www.ekolist.cz>.

World Health Organization. Global environmental change. In: *Climate change and human health* [online]. © WHO 2015 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <http://www.who.int/globalchange/climate/en>.

Nová strategie Akademie věd České republiky

motto: „Špičkový výzkum ve veřejném zájmu“

Uplynulých dvacet let prokázalo, že Akademie věd je významnou a nenahraditelnou součástí systému výzkumu, vývoje a inovací České republiky. Nadále musí zůstat garantem kvality, avšak pro její další rozvoj je nezbytné, aby byla schopna identifikovat důležité vědecké a společenské otázky, fundovaným způsobem definovat problematiku a vypracovat návrhy řešení z hlediska současné úrovně dosaženého poznání. Akademie věd má již ve své dnešní podobě dobré základy pro to, aby v blízké budoucnosti mohla působit nejen jako součást špičkové světové vědy a centrum národní kultury, ale i jako stále důležitější hospodářský činitel.

Témata, jako jsou například energetická budoucnost České republiky, zdraví občanů nebo kvalita veřejných politik, představují složité okruhy problémů, jejichž řešení vyžaduje široce založený interdisciplinární výzkum. Akademie věd proto připravila Strategii AV21, jejímž základem je soubor koordinovaných výzkumných programů v využívající mezioborových a meziinstitucionálních synergií s cílem identifikovat problémy a výzvy dnešní doby a koordinovat výzkumné úsilí pracovišť Akademie věd směrem k jejich řešení. Základní rámec strategie schválil Akademický sněm v prosinci 2014 s tím, že relevantní programy bude možné navrhovat i v dalším období. Výzkumné programy Akademie věd jsou od počátku otevřeny partnerům z vysokých škol, podnikatelské sféry a institucím státní a regionální správy, stejně jako zahraničním výzkumným skupinám a organizacím. Nezbytnou podmínkou pro uskutečňování Strategie AV21 je dlouhodobá stabilita systému výzkumu, vývoje a inovací v České republice.

Základním nástrojem pro realizaci Strategie AV21 je soubor koordinovaných výzkumných programů pracovišť Akademie věd:

- Naděje a rizika digitálního věku
- Systémy pro jadernou energetiku
- Účinná přeměna a skladování energie
- Přírodní hrozby
- Nové materiály na bázi kovů, keramik a kompozitů
- Diagnostické metody a techniky
- Kvalitní život ve zdraví i nemoci
- Potraviny pro budoucnost
- Rozmanitost života a zdravý ekosystémů
- Molekuly a materiály pro život
- Evropa a stát: mezi barbarstvím a civilizací
- Paměť v digitálním věku
- Efektivní veřejné politiky a současná společnost
- Formy a funkce komunikace

Důležitou součástí strategie je aktivita Aplikační laboratoře AV ČR, jejímž cílem je rozšířit přímé kontakty pracovišť Akademie věd s aplikační sférou. Strategie AV21 zároveň respektuje klíčovou roli základního výzkumu, který je ve všech vědeckých disciplínách podstatou jejich vývoje.

Koordinátory výzkumných programů jsou ředitelé zapojených pracovišť nebo pověřeni vědečtí pracovníci. Ti zajišťují vyhledávání nových, společensky relevantních témat výzkumu, provádějí syntézu dostupných informací a výsledků výzkumu z hlediska současné úrovně dosaženého poznání a koordinují vypracování návrhu výzkumného programu.

Výzkumné programy schvaluje Akademická rada v součinnosti s Vědeckou radou.

Biologické centrum AV ČR, v. v. i. je moderní a dynamická instituce zaměřená na výzkum v biologických a biologicko-ekologických oborech, zejména v entomologii, hydrobiologii, molekulární biologii rostlin, parazitologii a půdní biologii. Se svými šesti sty zaměstnanci je Biologické centrum největší mimopražskou institucí Akademie věd České republiky a zároveň patří mezi největší vědecká pracoviště ekologicky orientovaného výzkumu v Evropě. Tomu odpovídá i stále narůstající vědecká produkce čítající každoročně přes 300 vědeckých článků v mezinárodních časopisech a stovky dalších publikací.

Hlavním cílem Biologického centra je získávat, zpracovávat a rozšiřovat poznatky o volně žijících i parazitických organismech, jejich vzájemných vztazích i jejich vlivu na ekosystémy a další organismy včetně člověka, a to na úrovni molekul, buněk, organismů i ekosystémů. Získané poznatky přispívají k lepšímu pochopení biologických jevů v přírodě a mají dopad na zemědělství, lesnictví, rybníkářství, lidské zdraví, veterinární medicínu a další oblasti života. Biologické centrum též poskytuje posudky, stanoviska a doporučení ve všech oborech své činnosti, organizuje vědecká setkání a usiluje o využití výsledků vědeckého výzkumu v praxi, včetně vývoje technologií.

Nedílnou součástí činnosti Biologického centra je vzdělávání studentů všech stupňů studia, výchova vědeckých pracovníků, komunikace s širokou veřejností v ČR i zahraničí, spolupráce s národními a zahraničními partnery na řešení klíčových výzev a reflektování současných i budoucích potřeb a hodnot společnosti.

Biologické centrum koordinuje program **Rozmanitost života a zdraví ekosystémů** (ROZE) v rámci Strategie AV21. Kromě něj je do programu ROZE zapojeno dalších 7 ústavů Akademie věd ČR (Botanický ústav, Geologický ústav, Mikrobiologický ústav, Sociologický ústav, Ústav biologie obratlovců, Ústav státa a práva a Ústav živočišné fyziologie a genetiky) a řešeni se účastní více než 30 dalších institucí a firem.

Program ROZE Strategie AV21 se člení na 7 témat koordinovaných odborníky ze zapojených ústavů:

Témata / Řešitelé

Biologické sbírky, genetické banky a databáze – unikátní zdroj informací

Prof. RNDr. Jan Zima, DrSc. (ÚBO)

Biodiverzita v čase a prostoru – základ pro pochopení biologické rozmanitosti

RNDr. Petr Petřík, Ph.D. (BÚ)

Koevoluce organismů (patogeni, paraziti a hostitelé)

RNDr. Jan Štefka, Ph.D. (BC)

Formování, dynamika a interakce společenstev – funkční ekosystémy pro udržitelný rozvoj

Prof. RNDr. František Krahulec, CSc. (BÚ)

Půdní organismy – řídicí činitel procesů a ekosystémových služeb

RNDr. Dana Elhottová, Ph.D. (BC)

Biogeochemické procesy a interakce v ekosystémech – klíč k porozumění funkcí ekosystémů

Prof. Ing. Jiří Kopáček, Ph.D. (BC)

Ochrana ekosystémů a území – zajištění kvalitních ekosystémových služeb pro budoucnost

Doc. RNDr. Tomáš Cajthaml, Ph.D. (MBÚ)

Prof. Ing. Miloslav Šimek, CSc., působí ve funkci ředitele Biologického centra AV ČR, v. v. i., od července 2012. Do té doby pracoval od roku 1984 v Ústavu půdní biologie BC. Téměř 20 let vykonával funkci vedoucího oddělení půdní mikrobiologie a půdní chemie, od vzniku Biologické (dnes Přírodovědecké) fakulty Jihočeské univerzity v roce 1991 působí zároveň jako vysokoškolský pedagog. V rámci oboru půdní mikrobiologie se specializoval na mikrobiální transformace dusíkatých látek, na ekofyziologii půdních mikroorganismů a tvorbu plyných metabolitů a na emise tzv. skleníkových plynů z půd. Je autorem a spoluautorem více než 180 vědeckých a odborných publikací.

RNDr. Dana Elhottová, Ph.D., vystudovala obecnou biologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze se zaměřením na mikrobiologii. V postgraduálním studiu na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích se specializovala na environmentální mikrobiologii. Jejím profesním zájmem je mikrobiologie prostředí, biodiverzita, vztahy a adaptace mikroorganismů především v půdě, ale také v jeskynních a hlubinných sedimentech. V Ústavu půdní biologie BC AV ČR, v. v. i., pracuje 21 let, od roku 2012 vede Oddělení půdní mikrobiologie a půdní chemie. K současným prioritám jejího výzkumu patří role půdního prostředí ve vývoji a šíření bakteriální odolnosti k látkám s antibiotickým účinkem. Je autorkou a spoluautorkou více než 120 vědeckých a odborných publikací.

Doc. RNDr. Václav Pižl, CSc., působí ve funkci ředitele Ústavu půdní biologie od června 1998, do roku 2005 jako samostatného pracoviště AV ČR, poté jako součásti Biologického centra AV ČR, v. v. i. Více než 20 let zastával rovněž funkci vedoucího oddělení půdní zoologie a půdní mikrostruktury. Pravidelně přednáší na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. V rámci půdní zoologie se specializoval na ekologii a taxonomii žížalovitých (Lumbricidae). Je autorem a spoluautorem více než 160 vědeckých a odborných publikací.



Edice Strategie AV21 | Rozmanitost života a zdraví ekosystémů

Miloslav Šimek, Dana Elhottová, Václav Pižl | **Živá půda**

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Kancelář Akademie věd ČR, Národní 3, 117 20 Praha 1. Grafická úprava Robin Brichta. Fotografie na obálce J. Jirout. Technická redaktorka Monika Chomiaková. Odpovědná redaktorka Petra Královcová. Vydání 1., 2015. Ediční číslo 11910. Sazba a tisk **SERIFA**®, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 8.

<http://av21.avcr.cz>

ISBN 978-80-200-2567-8



9 788020 025678