

Fórum

ochrany přírody

- / OCHRANA PŮD
- / VÝZVA K POMOCI ČASOPISU FOP

03
2020



Vážené čtenářky a čtenáři,

Vážené čtenářky a čtenáři,

přírodovědné obory jsou obecně komplexní a často složité uchopitelné. Mezi ty ještě složitější patří pedologie. Tou se tematicky zabývá číslo časopisu, které se vám právě (pomyslně) dostalo do rukou. Snažili jsme se, aby uvedené články poskytly nejen informace o nových trendech z hlediska stavu a vývoje půd, ale také základní informace. Ty kupodivu není snadné ani v dnešní době získat v obsažné a přitom stručné podobě. I když je význam půdy pro životní prostředí zásadní, přiměřená péče o ní je stále nedocenenou popelkou. Jak píše J. Frouz a O. Vindušková v úvodním článku k tématu, je to asi proto, že špatný stav půd nevidíme hned. Projevuje se pozvolna, očím ne-specialistů často skrytě. O to je důležitější seznámit se s pravým stavem věcí z ucelených pramenů, kterým se pro vás snad toto vydání Fóra stane.

Vedle toho se dotýkáme i jiného aktuálního tématu, které se s nadcházející sezónou začíná (opět) diskutovat: přemnožení hraboše polního. To, co se zdá být nepodstatné dnes, může během několika málo týdnů znovu hýbat naším ochranným i politickým světem. A my bychom na to měli být po loňských zkušenostech dobře připraveni.

V neposlední řadě zde naleznete text, kterým se na vás obracíme s žádostí o podporu při vydávání časopisu v dalších letech. Věříme, že mezi stabilní čtenářskou základnou nalezneme pozitivní odezvu.

S přáním příjemného čtení a uvolněných letních měsíců,

Michael Hošek

OBSAH

// EDITORIAL

Michael Hošek 2

// FOP

Výzva k pomoci časopisu FOP Petr Roth 3

// AKTUALITY A ZAJÍMAVOSTI

Rysi karpatský v Zoo Ostrava
Šárka Nováková 4

Nová strategie EU pro biodiverzitu cílí na návrat
přírody do našeho života Eliška Rolfová 4

// ANALÝZY A KOMENTÁŘE

Půda – důležitá, i když opomíjená součást přírody
Jan Frouz, Olga Vindušková 5

Jak jsou na tom naše půdy? Miloslav Šimek 9

Trendy změn vybraných fyzikálních půdních vlastností
Jan Vopravil, Tomáš Khel, Darina Heřmanovská, Lukáš Vlček 14

Principy a důsledky ekologické stechiometrie
Petr Čapek 18

Co nás o vývoji půd a interakcích mezi vegetací, půdou
a půdními organismy naučilo studium výsypek a jiných „katastrof“?
Jan Frouz, Olga Vindušková 21

Acidifikace lesních půd jako přetrvávající dědictví
„špinavého“ 20. století
Jakub Hruška, Filip Oulehle, Tomáš Chuman 25

Přemnožení hraboše polního v souvislostech
Jakub Beránek 29

Rhizosféra – prostor propojující nadzemní
a podzemní část ekosystému Eva Kaštovská 33

Hraboš polní. Nechat či nenechat žít, toť otázka... Zdroj pixabay.com

Fórum ochrany přírody 3/2020 ● ročník 7 ● vychází elektronicky 4x ročně
zdarma ● vydává Fórum ochrany přírody, Slezská 125, 130 00 Praha 3 ●
IČO 227 19 466 ● redaktorka Markéta Dušková ● grafický návrh a úprava ●
Edita Hrubešová ● redakční rada Jan Dušek, Michael Hošek, Jaroslav Obermajer,
Simona Poláková, Tomáš Rothrockl, Petr Roth a David Storch ●
kontakt: info@forumochranyprirody.cz, +420 604 503 856 ●
ISSN 2336-5056 ● číslo vychází 30. 6. 2020

Ministerstvo životního prostředí



STÁTNÍ FOND
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
ČESKÉ REPUBLIKY

Tento projekt je spolufinancován Státním fondem životního
prostředí ČR na základě rozhodnutí ministra životního prostředí.
Projekt č. 14271862 „Ochrana přírody – on-line vzdělávání pro veřejnost.“

VÝZVA K POMOCI ČASOPISU FOP

Vážení a milí čtenáři,

již od roku 2014 pro vás vydáváme tento časopis. I když na součet periodik v oboru ochrany přírody v ČR postačí prsty jedné ruky, nebyli jsme si na počátku jisti, zda budeme úspěšní a i v této hrstce titulů najdeme své stálé místo. Váš vysoký zájem ukazuje, že se náš záměr podařil. Čtenářská základna je již několik let relativně stabilní. To je důkazem, že články, jež upravujeme – vždy jen po dohodě s autory – pouze stylisticky a gramaticky, nikdy však obsahově, jsou pro vás zajímavé. To je pak také zpětný signál pro autory, aby i nadále obětovali svůj cenný čas a do časopisu přispívali. Z tohoto pohledu tedy můžeme být – a jsme – spokojeni.

Na světě ovšem není nic zadarmo, ani bezplatně distribuovaný časopis. Ten nevzniká jen z nadšení a dobrých úmyslů, ale vyžaduje každoroční finanční zajištění. A to i přesto, že příspěvky nejsou honorované a řada technických a redakčních činností je vykonávána členy redakční rady bezplatně. Provozní roční náklady na vydávání časopisu se tak v posledních letech ustálily na částce mírně převyšující 300 000,- Kč.

V uplynulých letech jsme tyto prostředky získávali z různých grantů a projektů. To vyžadovalo zpravidla nehonorované osobní nasazení. Na stránkách časopisu se také u každého článku objevila možnost zaslání darů. Poslední dva roky jsme časopis vydávali již jen z vlastních zdrojů. Rádi bychom pro další čísla nastavili bezpečnější způsob financování. Proto nastal čas obrátit se na vás, naše čtenáře, neboť se domníváme, že bez vaší součinnosti a pomoci nebude další vydávání časopisu možné.

V posledních měsících jsme intenzivně hledali cesty, jak financování časopisu

nastavit lépe, abychom ho pro vás mohli vydávat i nadále. Doufáme, že jsme takovou cestu objevili. Nazvali jsme ji „partnerstvím FOP“. Pokud se najde několik desítek státních, veřejnoprávních, nevládních i soukromých institucí, organizací či firem z oblasti ochrany přírody a životního prostředí, případně podnikatelů, kteří by byli ochotni stát se partnery FOP a pravidelně každoročně přispívat částkou v řádu menších desítek tisíc korun, jejich rozpočty či podnikání by to zatížilo jen nepatrně. Nám by to pak umožnilo vydávat časopis za naprosto transparentních podmínek i nadále, navíc s perspektivou přesahující pouhý kalendářní rok. Neskládáme samozřejmě ruce v klín; i nadále se snažíme získávat peníze z různých dotačních zdrojů, avšak ty bychom rádi využívali spíše pro další aktivity, jejichž případné ukončení (či přerušení na pár měsíců) by nemuselo být fatální.

Není čas čekat, s realizací uvedeného modelu jsme proto začali okamžitě, a máme již několik prvních kladných ohlasů. Máme samozřejmě řadu kontaktů, ale vy, naši čtenáři, jich zákonitě máte o řád více. **Obracíme se na vás proto s tím, zda byste – pokud považujete další existenci časopisu za užitečnou – nepomohli doporučením či přímo oslovením potenciálních partnerů.** Musíme ovšem zdůraznit jednu zásadní podmínku takového sponzoringu, kterým partnerství FOP je: náš – váš časopis musí zůstat za všech okolností nezávislý, proto žádný potenciální partner nesmí zasahovat do jeho obsahu, o jednotlivých článcích a názorech v nich vyjadřovaných ani nemluvě. Nebráníme se reklamě, inzerátům ani propagaci (v rozumné míře a rozsahu), to však musí být zcela odděleno od obsahové stránky časopisu.

Toto číslo dostáváte do rukou na počátku zřejmě nejpodivnějších prázdnin, jaké

kdo z nás pamatuje. Možná budeme mít více času, než nás kdy napadlo. Pokud budete mít pocit, že námi navržený model může být životaschopný, a můžete a chcete nám pomoci, pokuste se, prosím, využít nadcházející letní měsíce k jednání s možnými partnery FOP. **S koncem léta potřebujeme mít zajištěný provoz na příští rok, a k tomu potřebujeme i vaši pomoc.** Na vaše tipy a doporučení jsme připraveni okamžitě reagovat, pro případné bližší informace nás neváhejte kdykoli kontaktovat.

Děkuji vám všem za dosavadní a případnou budoucí podporu i za jakékoliv další nápady, jak pro nás všechny udržet časopis Fórum ochrany přírody!

RNDr. Petr Roth, CSc.
předseda Fóra ochrany přírody, z.s.



RYSI KARPATŠTÍ V ZOO OSTRAVA

Historie chovu rysa v Zoo Ostrava sahá do poloviny 60. let 20. století. V 80. letech se zoo podílela na projektu návratu rysa do české přírody i na další lokality v Evropě. Projekt spočíval v tom, že na Slovensku, kde divocí rysy přežívali, se legálně odchytávala mladá zvířata. Po karanténě v ostravské zoo se vypouštěli na Šumavě, v Německu, Rakousku, Slovinsku a Itálii. Projekt byl velmi úspěšný, a i díky němu se rysy v Evropě opět rozšířili.

V roce 2006 se zoo připojila k mezinárodnímu chovnému programu pro rysy karpatské (poddruh rysa ostrovida) pod záštitou Evropské asociace zoologických zahrad a akvárií. Během 14 let zde bylo odchováno 20 rysů. První dvě ze čtyř mláďat narozených v roce 2008 se podařilo vypustit do přírody na Slovensku, o čemž vznikl unikátní dokument „Návrat rysov“. Další rys byl vypuštěn v roce 2011. Jedenáct rysů zamířilo do 9 různých zoologických zahrad napříč Evropou, kde se v mnoha případech i úspěšně rozmnožili a předali své geny další generaci. Šest rysů pak bylo nutné utratit z důvodu udržení genetické variability populace chované v lidské péči, tj. necelá třetina z celkového počtu odchovaných rysů. Podle IUCN v přírodě uhynie až 75 % mláďat.

Téma regulace populací v zoologických zahradách vyvolává řadu dotazů a emocí. Při záchraně druhů je však občas nutné nějaké zvíře utratit. Jinak se může stát, že populace v lidské péči kvůli snižující se genetické pestrosti časem zaniknou. V záchraných chovech jde o ochranu DRU-HU, ne jedince. To ale neznamená, že nám na jednotlivcích nezáleží. Naší snahou je u chovaných zvířat podporovat jejich přirozené chování. A péče o potomstvo patří k nejzákladnějším projevům.

Pokud zvířatům rozmnožování znemožníme (oddělením páru, podáním antikoncepce), můžeme je velmi poškodit. Fyzicky (např. nevratnými změnami pohlavních orgánů, po nichž samice už nebude schopna rodit), ale i psychicky (přijdou o ty nejmotivnější prožitky v životě). Antikoncepční přípravky mají navíc řadu nežádoucích vedlejších účinků. Pokud se v lidské péči zvířata přirozeně rozmnožují, dojde po určité době k situaci jako v přírodě – pro některé potomky není místo. Tak jako příroda není nafukovací, ani zoo nejsou. Takže vlastně simulujeme procesy v přírodě.

Rysy nelze ani umísťovat do soukromých chovů. Nedovolují to pravidla evropského záchovného programu a ani nechceme, aby se z nich třeba stali domácí mazlíčci

nebo objekty nelegálního obchodu. A proč je nevypustíme do přírody? Proto musí fungovat oficiální záchranný program. Navíc stále přetrvává překážka v podobě pytláctví a nelegálních zástřelů, která zcela zásadně brání případné repatriaci (dle kritérií IUCN). Přitom v případě řady jiných druhů je Zoo Ostrava do takových projektů zapojena – například pro sovy pálené (od r. 1995), pro sýčky obecné (od r. 2003), pro orlosupy bradaté (od r. 2009) ad.

V případě utracených rysů se nejednalo o mláďata, jak bylo prezentováno v řadě médií, ale o subadultní jedince, které matka v přírodě od sebe již odhání a připravuje se na odchov dalšího vrhu. Toto období je pro mladé rysy rizikové, přes 50 % z nich uhynie hladem, v souboji s jinými rysy či rukou pytláků.

Jen díky možnosti občas populaci regulovat, jsme schopni udržet životaschopnou populaci rysů do té doby, než se lidé opět naučí s těmito šelmami žít. Až pak se budou moci do přírody navracet. Toto se netýká jen rysů, ale i dalších druhů chovaných v lidské péči. Právě návrat ohrožených druhů do přírody je jedním z hlavních posláních moderních zoologických zahrad.

Šárka Nováková

NOVÁ STRATEGIE EU PRO BIODIVERZITU CÍLÍ NA NÁVRAT PŘÍRODY DO NAŠEHO ŽIVOTA

Dne 20. května 2020 představila Evropská komise Strategii EU v oblasti biologické rozmanitosti do roku 2030, která navrhuje, aby do roku 2030 chráněné oblasti pokrývaly 30 % území EU, alespoň 25 % zemědělské půdy se využívalo v režimu ekologického zemědělství, používání pesticidů se snížilo o 50 %, obnovil se přirozený tok na nejméně 25 000 km evropských řek a byly vysazeny 3 miliardy stromů.

Jak ukázala Globální hodnotící zpráva o biologické rozmanitosti a ekosystémových službách, kterou v roce 2019 vydal mezivládní vědecko-politický panel IPBES, stav přírody se celosvětově zhoršuje, což dopadá také na životně důležité přínosy, které příroda poskytuje lidem, tedy přírodní zdroje, které využíváme jako potraviny, energii či léčiva, ale i procesy, které regulují klima a zajišťují kvalitu ovzduší, vody a půdy. Jako hlavní příčiny současného

negativního stavu zpráva označuje změny ve využívání půdy a moří, nadměrné využívání přírodních zdrojů, změnu klimatu, znečištění a invazní nepůvodní druhy.

Nová strategie EU proto navrhuje ambiciózní opatření, která se zaměří právě na tyto klíčové faktory s cílem zastavit úbytek biologické rozmanitosti v Evropě i celosvětově. „Ozdravení přírody je klíčem k naší fyzické a duševní pohodě a představuje spojení v boji proti změně klimatu a šíření nemocí.“ uvádí předsedkyně Evropské komise, Ursula von der Leyenová. Konkrétně dokument stanoví cíle týkající se obnovy poškozených ekosystémů a řek, zlepšení stavu chráněných přírodních stanovišť a druhů v EU, navrácení opylovačů na zemědělskou půdu, zmírnění znečištění, zelenějších měst, rozšíření ekologického zemědělství a dalších zemědělských postupů šetrných k biologické rozmanitosti

či zlepšení zdraví evropských lesů. EU má také ambice převzít vůdčí úlohu při řešení celosvětové krize v oblasti biodiverzity.

Strategie je součástí tzv. Zelené dohody pro Evropu i plánu na hospodářské oživení EU z koronavirové krize. Plánované investice do ochrany, obnovy a zachování přírody ve výši 20 miliard eur ročně poskytnou nové obchodní a investiční příležitosti a přispějí ke vzniku nových pracovních míst.

Komise zároveň zveřejnila Strategii „od zemědělců ke spotřebitelům“ pro spravedlivé, zdravé a ekologické potravinové systémy. Obě nové strategie spolu úzce souvisejí a jejich společné naplňování přispěje ke konkurenceschopné a udržitelné budoucnosti.

Eliška Rolfová

PŮDA – DŮLEŽITÁ, I KDYŽ OPOMÍJENÁ SOUČÁST PŘÍRODY

JAN FROUZ, OLGA VINDUŠKOVÁ

prof. Ing. Mgr. JAN FROUZ, CSc.
Působí na Ústavu půdní biologie BC AV ČR, ředitel Centra pro otázky životního prostředí, Univerzity Karlovy
V letech 2008–2013 ředitel Ústavu pro životní prostředí PřF UK, od r. 2016 ředitel SoWa BC AV ČR. Zabývá se ekologií bezobratlých a jejich úlohou v ekosystémech a obnovou půd v disturbovaných územích.

RNDr. OLGA VINDUŠKOVÁ, Ph.D.
Působí na Antverpské univerzitě v rámci dvouleté postdoktorské stáže (Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship). Zabývá se organickou hmotou v půdě a interakcemi živých a neživých složek půdy.

PŮDA UMOŽŇUJE ŽIVOT NA ZEMI A ŽIVOT V PŮDĚ NA TOM MÁ DŮLEŽITÝ PODÍL

Většina živé hmoty, která vznikne na souši, vzniká díky půdě a do půdy se také vrací, aby ji zde rozmanitá armáda půdních organismů přeměnila zpět na živiny a CO₂. Jen díky tomu jsou opět k dispozici jak minerální živiny jako například dusík či fosfor, které se rozkladem mrtvých těl rostlin a živočichů uvolní do půdy, tak uhlík, který je ve formě CO₂ uvolněn zpět do atmosféry (viz Čapek, toto číslo), ze kterých mohou rostliny stavět svá těla. Ty jsou zase výhradním zdrojem esenciálních látek a energie pro zbytek potravního řetězce, včetně lidí. Naprostá většina naší potravy, ale i řada dalších komodit jako dřevo, vlákna, léčiva atp. pochází z rostlin, které jsou závislé na půdě a její schopnosti rostliny podporovat. Na půdě jsou samozřejmě závislá i přírodní rostlinná společenstva. Ta díky komplexním interakcím s plejádou symbiontů a dalších půdních organismů vytváří vrchní vrstvu

půdy. Vlastnosti půdy pak zpětně ovlivňují úspěšnost jednotlivých druhů rostlin a tím i celé společenstvo. Půda je tak základním faktorem určujícím chování ekosystémů a změna půdních poměrů může být příčinou degradace a obtížné obnovy přirozených společenstev. Řada úspěšných invazních druhů je například úspěšná právě proto, že mění vlastnosti půdy ve svůj prospěch.

Jak již bylo naznačeno, kromě kořenů rostlin je půda domovem neuvěřitelného množství rozmanitých organismů, které svou činností přímo či nepřímo ovlivňují další půdní funkce. Jeden gram půdy obsahuje 200 až 8.3 milionů druhů bakterií¹ a množství druhů organismů, které najdeme v půdě, je typicky 10x i více vyšší než na jejím povrchu². Tým Ústavu půdní biologie napočítal na 1 m² asi 40 let staré výsypky přes 170 druhů půdních eukaryot (nepočítaje tedy bakterie, archea atp.). V jediné čeledi půdních roztočů uvádí jen v roce 2019 Web of Science popis 28 nových druhů. Objev nových druhů je

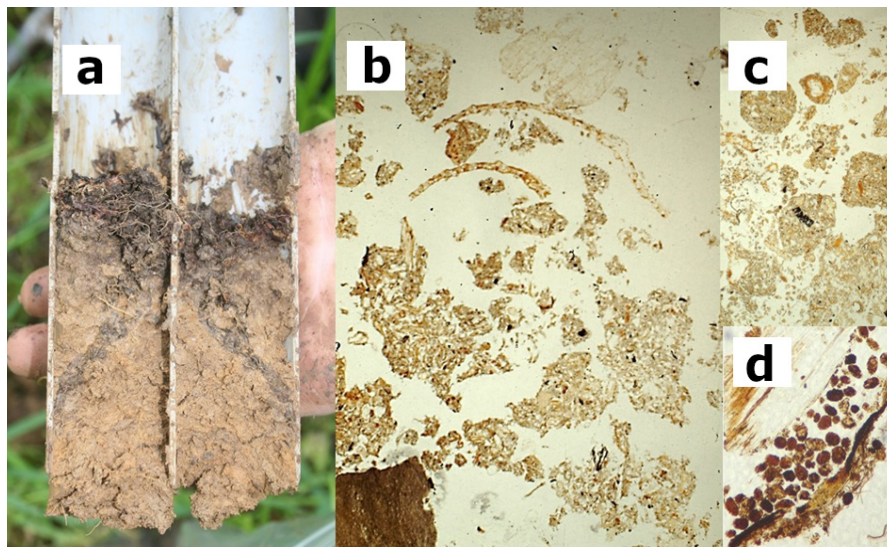


Jen málokdy dostaneme příležitost pohledět půdě do tváře tak jako tomuto podzolu v CHKO Lužické hory - možná i proto na ni při ochraně přírody často zapomínáme. Foto Olga Vindušková

přítom spíše omezen počtem taxonů, kteří se danou skupinou zabývají, než počtem dosud neobjevených druhů. Například v Kanadě a na Aljašce bylo sesbíráno více jak 300 druhů této čeledi neznámých pro vědu³, jen je zatím nikdo neměl čas popsat - a tak bychom mohli pokračovat. Diverzita podzemní navíc nemusí souviset s tou nadzemní - například zmapovaná diverzita žížal je celosvětově nejvyšší v mírném pásmu⁴ a ani u žádné z dalších skupin půdních organismů (kromě termitů) „nevrcholí“ v tropech⁵.

Stejně pozoruhodné jako diverzita půdních organismů je i jejich celkové množství. Představme si, že v jednom gramu suché půdy je 300 μg (milióntin gramu) uhlíku obsaženého v mikrobiální biomase. To nezní nijak impresivně, ale uvážíme-li, že blok suché půdy 1 m^2 do hloubky půl metru váží okolo 750 kg, bude na tomto jednom metru 225 g uhlíku v mikrobiální biomase. Velmi přibližně představuje uhlík polovinu mikrobiální sušiny a obsah vody je nejméně 4x větší než sušina. Tímto přepočtem dostaneme přibližně 1,8 kg mikrobiální biomasy na m^2 půdy, což je 18 tun na hektar. Kdybychom si tuto hmotnost chtěli vyjádřit jako stádo ovcí, každé o váze 75 kg, měli bychom na jednom hektaru 240 ovcí. Můžeme si představit, že na každém hektaru naší krajiny, od obzoru k obzoru, žije hmota půdní mikroflóry odpovídající vyšším desítkám a častěji až několika stovekám ovcí. Záměrně jsme zde použili ovci jako „oblíbeného“ herbivora. Interakci rostlin s herbivory se naše, a nejen naše, ochránářská obec věnuje velmi intenzivně (a to je jistě správně), zatímco půdní organismy tiše a nenápadně unikají pozornosti. Přitom sami o sobě představují obrovskou část diverzity a biomasy ekosystémů a mají i zásadní vliv na to, co se děje nad zemí. Symbiotické bakterie dokáží rostlinám zprostředkovat vzdušný dusík. Sítě houbových symbiontů zase zajišťují rostlinám subdodávky vody a živin z oblastí, do kterých by rostliny samy svými kořeny nedosáhly. Žížaly zamíchávají organickou hmotu do hlubších vrstev půdy, hloubí chodby a vytváří půdní agregáty, které zase ovlivňují vodní poměry, odolnost půdy vůči erozi či to, jak snadno do půdy pronikají kořeny rostlin.

Díky již zmíněné činnosti rozkladačů se také v půdě hromadí organická hmota, jejíž podstatnou část tvoří mrtvá těla bakterií, hub



Půdní organismy se významně podílí na tvorbě půdy. a - průřez půdní sondou na 20 let staré výsypce v Indianě (USA), b,c,d - půdní výbrus s patrnými exkrementy půdních organismů.

a další mikroflóry. Půdní organická hmota ovlivňuje celou řadu půdních vlastností, třeba zadržuje živiny tak, že se z půdy tak snadno nevyplaví, a také zadržuje vodu. Například odvodnění způsobilo nejen rychlejší odtok vody z krajiny, ale i pokles obsahu organické hmoty a tím i schopnosti půdy vodu zadržovat. Z modelové studie v jižních Čechách vyplývá, že v důsledku odvodnění a následné kultivace klesla schopnost luk zadržovat vodu v horních 30 cm půd o 240 m^3 na ha⁶. Vezmeme-li v úvahu, jak velká plocha byla odvodněna - více než čtvrtina naší zemědělské půdy - je celkový dopad meliorací na množství vody zadržené krajinou značný.

Půda má kromě vztahu k rostlinám i mnoho dalších funkcí přímo významných pro člověka. Recykluje vodu v krajině, čistí a vydává ji kromě rostlin také vodním zdrojům, ze kterých pijeme nebo ve kterých se koupeme. To, jak půda dokáže vodu zadržet, hraje důležitou roli při omezování dopadů povodní či sucha. Půda se také podílí na regulaci klimatu. V půdách je vázáno 2-3x více uhlíku než v atmosférickém CO_2 a člověk svým zacházením s půdou ovlivňuje, zda je půda pro atmosféru zdrojem nebo propadem uhlíku. To platí i o dalších významných skleníkových plynech, jako je metan nebo oxid dusný. V neposlední řadě půda také významně ovlivňuje mikroklima.

MÁME SCHOPNOST PŮDU NIČIT A TO TAKY DĚLÁME, ČASTO TO ALE NEMUSÍ BÝT VIDĚT

Půdu ohrožuje celá řada lidských činností

(viz Šimek, toto číslo). Naše aktivity často amplifikují některé jinak přirozené jevy, s negativními následky: asi třetina evropských půd například podléhá erozi rychlosti, která je neudržitelná⁷ (viz Vopravil, toto číslo). Podobně člověk přiložil ruku k dílu i u přirozené acidifikace půd a následky známe (viz Hruška, toto číslo). Z přirozené rovnováhy půdy vychyluje také dnešní zemědělství - orba urychluje dekompozici, zatímco sklizeň odebírá organickou hmotu, která by jinak sloužila jako potrava půdním organismům. Upřednostňujeme mělce kořenící variety, které investují více do nadzemní části rostliny a uměle tak omezujeme rozsah rhizosféry, která zejména v hlubších vrstvách půdy představuje oázu pro půdní organismy (viz Kaštovská, toto číslo). Zatímco plodiny si co do výživy vystačí s dodanými minerálními hnojivy, půdní organismy mohou uhlík a energii získat jedině z mrtvé organické hmoty. Pokud se jí tedy do půdy nevrací dostatečné množství, život v půdě strádá - ubývá množství i rozmanitost organismů a s nimi jsou utlumeny i další půdní funkce⁸. Podobně, ale možná méně nápadně ovlivňuje půdu také lesní hospodaření, které také vede k odnosu živin a organické hmoty z ekosystému, ovlivňuje hloubku kořenů změnou druhové skladby a navíc také například omezuje přirozenou frekvenci vývrátů. Následky takových změn mohou dlouho zůstat skryté - rostliny kvetou, ptáci zpívají a motýli poletují dál. Půda ale dál strádá a její degradace může nakonec dosáhnout takového stupně, že celý systém

zkolabuje. Bohužel většinou až tehdy začneme půdě věnovat pozornost. Příkladem může být Island, kde postupné odlesňování a nepřiměřené užívání půdy vedlo na počátku minulého století k vodní a větrné erozi a písčným bouřím obrovských rozměrů, které ohrozily islandské zemědělství, a vytvořily tak významný celospolečenský problém, který již nešlo přehlížet.

PROČ JE PŮDA POPELKOU OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ?

Současné legislativní nástroje ochrany půdy zdaleka neodpovídají významu půdy v celé její šíři a politická vůle to změnit je nízká (viz schvalování protierozní vyhlášky). MŽP má v jurisdikci ochranu zemědělského půdního fondu, ale pravomoci, které v této věci zákon ukládá, se vztahují spíše k ochraně rozlohy zemědělské půdy než například ke změně její kvality. U půd na pozemcích s jiným způsobem využití je situace ještě horší. Půdu chráníme mnohem méně než jiné složky životního prostředí jako je ovzduší, voda či „nadzemní“ příroda. Situace není o moc lepší ani v jiných zemích nebo na úrovni EU (viz neexistující, deset let bezúspěšně projednávaná směrnice o půdě). Proč tomu tak je? Myslíme si, že tu společně působí celá řada faktorů. Za prvé, půda je dnešnímu běžnému člověku cizí. Ten si daleko více uvědomuje svou závislost na čisté vodě a vzduchu, se kterými má každodenní kontakt. Půda nám poskytuje své služby spíše nepřímo, třeba v supermarketu. Že je s půdou něco v nepořádku se dozvíme maximálně ve zprávách a společnost si tak v plné šíři neuvědomuje, že ji ovlivňuje, jak někdo jiný za kopcem s půdou nakládá.

Za druhé je půda skrytá před našimi zraky. Pro člověka je snadno uchopitelné, že v přírodě již nevidí nějaký rostlinný druh, voda se zelená a soused pálí něco, co by neměl. Do půdy nevidíme a to je také jeden z důvodů, proč se život v půdě netěší většímu zájmu lidí. Dobře to ilustruje například situace se „smajlíky“ (emoji), které jsou k dispozici v chytrých telefonech. Mezi 110 emoji se zvířecím motivem najdeme pouze mravence.

S neprůhledností půdy souvisí i to, že se oproti jiným složkám prostředí hůře a méně monitoruje a hodnotí její kvalita. Oproti vodě a vzduchu je půda více heterogenní, což znesnadňuje monitoring. Půda je navíc silně ovlivněná předešlou historií a mno-

hými lokálními faktory (matečná hornina, vegetace, reliéf), což všechno komplikuje možnost měřit kvalitu půdy.

Všechny výše zmíněné faktory přispívají k nízké probádanosti půdní biodiverzity, o které toho víme mnohem méně než o diverzitě nadzemní. Její dlouhodobý monitoring je velmi vzácný a je tedy těžké hodnotit její vývoj v čase. Historicky mnoho toho, co víme o vývoji rozmanitosti živé přírody, bylo umožněno díky zájmu nadšenců (motýlí sbírky, pozorování ptáků) a není tedy náhodou, že nejvíce toho víme o trendech úbytku savčích, ptačích či motýlích druhů. Půdní organismy jsou často příliš malí na to, abychom je mohli pozorovat pouhým okem, natož aby mohli vystupovat v dokumentu s Davidem Attenboroughem. To všechno dohromady způsobuje, že život v půdě je málokdy vnímán jako zajímavý či krásný.

Dalším „neštěstím“ půdy je časová škála, na které se odehrávají její změny. Přestože řada procesů souvisejících s vývojem půdy může být rychlejší než se obecně soudí (viz Frouz a Vindušková, toto číslo), trvá to i tak desítky let, než pozorujeme významné změny. To je za časovým horizontem, ve kterém uvažují nejen naši volení zástupci, ale i většina z nás.

Menší atraktivita a horší možnosti pozorování půdy vedou k menšímu zájmu o půdu u studentů a následně i odborné veřejnosti. Díky tomu je méně těch, kteří se půdou profesně zabývají a následně i těch, kteří půdě věnují dostatečnou pozornost v obecnějších otázkách užívání a ochrany krajiny. Jen jeden příklad za všechny - na stránkách AOPK můžeme najít zmínku o půdním pokryvu jednotlivých chráněných územích v sekci Geologie. Je to drobný detail, který ale podprahově naznačuje, že půda je vnímána jen jakási neměnná vrstva zvětralé skály namísto toho, abychom akcentovali její těsnou vazbu na rostlinná společenstva.

Půda je na rozdíl od vody a vzduchu statická, takže se na ni lépe uplatňuje vlastnické právo a v naší kultuře není typické považovat půdu za sdílené/společné bohatství. Když někdo půdu vlastní, nechce, aby mu někdo jiný mluvil do toho, jak s ní má nakládat. Právě tento princip je jedním ze zásadních důvodů, proč se nakládání s půdou tak málo reguluje. V současné době navíc na půdě většinou nehospodaří její vlastník, ale někdo, který si od vlastníka půdu

pronajímá, a i jejich činnost se zdráháme regulovat. Tady již hraje roli to, že uživatel půdy (zemědělec, lesní hospodář či těžář) ji často používá k vytváření zisku a přirozeně se tedy brání všem omezením, která by mu mohla zisk snížit. Jelikož takových lidí a zisku, který je ve hře, je hodně, je jejich hlas v politické aréně silný. Zatímco někdy platí, že udržitelné nakládání s půdou je také méně výnosné, někdy platí, že jde jen o to zlomit „tradicí“.

Oproti tomu je na druhé straně barikády málo těch, kteří by „kopali“ za zájmy půdy. Pedologové se možná méně angažují v politice - žijí s „hlavou v písku“. Jako vědci se v honbě za novými poznatky a akademickou úspěšností možná dostatečně nevěnujeme tomu, jestli se to, co vyzkoumáme, přenáší do praxe. Toto odtržení vědy od praxe se projevuje v řadě oborů, ale půdě jistě nepomáhá. Navíc téměř neexistuje skupina lidí, které by „živilo“ půdu chránit, jinak řečeno, kteří by měli péči o půdu jako součást své pravomoci a s tím souvisí i nedostatečnost legislativních nástrojů.

CO TEDY S TÍM

Nástroje pro ochranu kvality půdy tu jsou, resp. mohly by být, kdyby o to byl zájem. Významnou část rozlohy našich půd tvoří půdy zemědělské a lesní. Hospodaření zemědělců může být významně ovlivněno zemědělskými dotacemi respektive podmínkami nutnými pro jejich získání. Jejich potenciál pro ochranu půd zůstává ale z velké části nevyužit. Společné prohlášení více než 3600 evropských vědců z letošního března, ve kterém voláme po „ozelenění“ rozdělování evropských dotací⁹ v kontextu koronavirové krize mediálně zcela zapadlo. V otázkách ochrany lesních půd by zase mohly být více využity lesní hospodářské plány, které podléhají schválení odborných orgánů samospráv atp. Jak jsme již ale naznačili, chybí někdo, kdo by měl komplexní otázky půd zejména pak jejich kvalitu „v referátu“.

Pro výše zmíněná řešení ale chybí veřejný zájem. Je tedy důležité ve společnosti šířit povědomí o významu půdy jako společného statku. To je úkol, který z velké části leží na nás, vysokoškolských učitelích, ale pomohl by nám zájem i dalších zainteresovaných aktérů, neziskových organizací, médií atp. Kromě výchovy mladé generace je totiž nezbytná změna v nahlížení půdy i u odborné a laické veřejnosti. Zejména od-

borná veřejnost je důležitá, protože i kdybychom dnes zařídili, že všichni studenti přírodovědných oborů budou mít dobré povědomí o půdě (což je daleko od reality), bude trvat ještě řadu let, než tato generace významně ovlivní rozhodování. Navíc kdo jiný než odborná veřejnost by měl vysvětlit široké veřejnosti, že péče o půdu přispěje k řešení celospolečenských problémů jako je sucho, povodně, mitigace klimatických

změn a adaptace na ně. Svou významnou edukativní úlohu by měla sehrát i ta část odborné veřejnosti, která se půdou profesionálně zabývá. V budování vztahu společnosti k půdě bychom neměli podceňovat ani význam umění v nejširším smyslu slova. Zatímco negativní emoce k poškozené půdě (obrazy vyschlé rozpraskané půdy atp.) již média využívají, budování pozitivní emoce k fungující půdě je daleko méně výrazné.

Závěrem dodejme, že i toto číslo FOP snad přispěje k šíření „dobrého jména“ půdy a k debatě o tom, jak bychom ji mohli společně lépe chránit.



LITERATURA:

1. Roesch L, Fulthorpe R, Riva A, et al. Pyrosequencing Enumerates and Contrasts Soil Microbial Diversity. *ISME J.* 2007;1(4).
2. RD B. Causes and Consequences of Biological Diversity in Soil. *Zoology (Jena).* 2002;105(4).
3. Behan-Pelletier VM, Lindo Z. Checklist of oribatid mites (Acari: Oribatida) of Canada and Alaska. *Zootaxa.* 2019;4666(1):1-180.
4. Phillips HRP, Guerra CA, Bartz MLC, et al. Global distribution of earthworm diversity. *Science (80-).* 2019;366(6464):480-485.
5. Bardgett RD, van der Putten WH. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature.* 2014;515(7528):505-511.
6. Frouz J, Kalčík J, Syrovátka O. The effect of pipe drainage on peat meadow soil: Physical and chemical soil properties. *Acta Univ Carolinae - Environ.* 2010;24(1):83-89.
7. European Commission. CAP SPECIFIC OBJECTIVES Explained, Brief No.5: Efficient Soil Management. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-5-soil_en.pdf
8. de Vries FT, Thebault E, Liiri M, et al. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc Natl Acad Sci.* 2013;110(35):14296-14301.
9. Pe'er G, Bonn A, Bruelheide H, et al. Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. Gaston K, ed. *People Nat.* Published online March 8, 2020

JAK JSOU NA TOM NAŠE PŮDY?

MILOSLAV ŠIMEK

prof. Ing. MILOSLAV ŠIMEK, CSc.
Pracuje v Ústavu půdní biologie
Biologického centra AV ČR
v Českých Budějovicích a vyučuje
na Přírodovědecké fakultě Jihočeské
univerzity. Je půdním mikrobiologem,
zabývá se mikrobiálními transformacemi
dusíku a uhlíku v půdách a ekofyziologií
půdních mikroorganismů, zaměřuje se
na problematiku tvorby tzv. skleníkových
plynů v půdách a jejich emisí do ovzduší.
Vedle vědecké a pedagogické práce se
věnuje popularizaci vědeckých poznatků
a výchově veřejnosti v oblasti využívání
půd.

PŮDA A JEJÍ VYUŽITÍ

Půda je nedílnou součástí typické (nejen) středoevropské krajiny, ale zároveň se liší od ostatních složek životního prostředí tím, že se jí obvykle nevěnuje zvláštní pozornost. Lidé se dnes již běžně zajímají o to, co dýchají (tedy o kvalitu vzduchu, zvláště v aglomeracích a při smogových situacích), co pijí (tedy o kvalitu vody, například když si nechávají dělat její rozbor nebo když je jí nedostatek, což se bohužel stává stále častěji), nebo co jedí, ale s půdou si „normální člověk“ nedělá starosti. Vždyť všude něco roste a někdo se o to přece stará... Opravdu? Opravdu se o naše půdy jejich vlastníci a uživatelé starají a hospodaří na nich a s nimi dobře a tak, jak by se mělo? A kolik půdy máme?

Půdy máme u nás relativně dost. Z celkové rozlohy státu 7 887 000 ha zabírá plochu 4 205 000 ha (53,3 %) zemědělská půda a 2 672 000 ha (33,9 %) lesní půda, zatímco zbytek, tedy 1 010 000 ha (12,8 %) připadá na vodní, zastavěné a ostatní plochy (zdroj: Český statistický úřad). Zaměříme se na zemědělské půdy, které nás živí. Naši takzvanou kulturní krajinu zásadním způsobem utváří a mění zemědělství, jež má „k dispozici“ více než polovinu rozlohy

našeho území a také z tohoto důvodu se vše, co se týká zemědělství, dotýká každého z nás. Výměra zemědělské půdy ČR se ale neustále snižuje a snižuje se i výměra v přepočtu na jednoho obyvatele. Zatímco například v roce 1927 připadalo na obyvatele v průměru 0,49 ha, v roce 1948 to bylo 0,53 ha a dnes je to pouze 0,40 ha. Úbytek zemědělské půdy podle ČSÚ jen od roku 2000 do roku 2017 činil v ČR 77 000 ha, což představuje průměrný úbytek cca 4 500 ha za rok neboli 12,5 ha denně, a tento trend stále pokračuje! Hlavní příčinou trvalého úbytku zemědělské půdy je její zábor pro stavby domů, skladů, obchodních center aj., včetně dopravních staveb, silnic, dálnic, železničních koridorů apod.

Nezmenšuje se pouze celková výměra zemědělské půdy, ale podstatně se mění i její využití. Osevní plochy v historickém přehledu uvádí následující tabulka. Údaje pro roky 1988 a 2018 jsou zvýrazněné a pro tyto roky jsou uvedeny i relativní hodnoty, tj. osev podle jednotlivých skupin plodin v procentech z celkově osévané plochy v daném roce. Z těchto údajů je například zřejmé, že jak osévané plochy, tak i relativní zastoupení některých plodin se mezi roky 1988 a 2018 podstatně změnilo,



Aktinobakterie jsou skupinou vláknitých bakterií, v tom se podobají půdním houbám. Oplétají svými vlákny půdní částice, zvyšují stálost půdních agregátů a mají mnoho funkcí ve společenstvech půdních organismů. Slouží také jako zdroj potravy menším půdním živočichům. Průměr jejich vláken je pouze několik mikrometrů. Foto V. Křišťáček

např. plochy lnu, brambor nebo pícnin na orné půdě se významně snížily a plochy řepky významně zvýšily. Výměra lnu se tak snížila v roce 2018 oproti roku 1988 na 6,1 %, brambor na 19 % a pícnin na 42,9 %, zatímco výměra řepky se zvýšila na 403 % (viz poslední řádek tabulky). To jsou opravdu dramatické změny!

upravoval navrácení zemědělského a lesního majetku. Ani po téměř třiceti letech od legislativní (a postupně většinou i reálné) nápravy majetkových křivd se ale nepodařilo navrátit vztah k půdě a ke krajině jako k osobnímu dědictví a odpovědnosti. Bohužel se řada vlastníků, resp. uživatelů půdy, o ni dobře nestará. Nájemci, v jejichž

zemědělství zaměřené na vysoké výnosy plodin zajišťuje produkci potravin jenom díky velké spotřebě látek a energie, díky masivnímu využívání průmyslových hnojiv a pesticidů, díky pokročilé agrotechnice, používání těžké a složité mechanizace a nových technologií včetně technik GIS a prvků umělé inteligence, díky moderním šlechtit-

Osevní plochy hlavních plodin v České republice v hektarech (zdroj: Český statistický úřad)

Rok	Osevní plocha celkem	Obiloviny	Luskoviny	Brambory	Cukrovka	Řepka	Len	Pícniny na orné půdě
1928	3 853 404	2 184 909	91 010	462 204	197 011	991	15 195	745 215
1948	3 524 610	1 887 124	50 563	361 930	148 572	5 026	19 695	797 833
1968	3 351 562	1 680 754	65 044	256 963	140 632	37 913	30 621	1 002 556
1988	3 284 113	1 676 760	60 094	120 167	112 993	102 160	20 614	1 091 926
1988 (%)	100	51,1	1,8	3,7	3,4	3,1	0,6	33,2
2008	2 568 630	1 552 717	22 306	29 788	50 380	356 924	1 333	406 161
2018	2 460 939	1 339 056	35 153	22 889	64 760	411 802	1 258	468 328
2018 (%)	100	54,4	1,4	0,9	2,6	16,7	0,1	19,0
2018 oproti 1988 (%)	74,9	79,9	58,5	19,0	57,3	403,1	6,1	42,9

HISTORICKÉ SOUVISLOSTI

Ještě na konci 19. století měla polovina hospodářství v českých zemích výměru pouhých několik hektarů, což pomáhalo utvářet rozmanitou krajinu. Rozvoj průmyslu nepřímou ovlivnil scelování pozemků a intenzifikaci zemědělství a vedl i k rozsáhlé výstavbě, krajinný ráz začala výrazně měnit těžba surovin. Od poloviny 20. století začala být krajina homogenizována rozlehlými lány orné půdy s výměrou až 200 ha. Pro snadnější pohyb těžké mechanizace byly likvidovány historické polní cesty, meze, solitérní stromy, rozptýlená i liniová zeleň. Z krajiny zmizely louky, prameniště, nivy potoků a úvozy. Kvůli komunistické kolektivizaci zemědělství v 50. letech 20. století a následnému zpřetrhání vztahů k půdě se krajina stala majetkem všech a nikoho. Půda postupně začala ztrácet schopnost vsakovat a zadržovat vodu, zvýšil se odtok vody z krajiny podporovaný bezhlavým odvodňováním pozemků a napřimováním vodních toků, zvýšilo se znečištění vod zbytky hnojiv, pesticidy a komunálními odpady a erodovaná půdou z polí se začaly zanášet retenční prostory nádrží a další vodní stavby. V roce 1991 byl přijat pro zemědělství klíčový zákon č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, který

rukou jsou více než ¾ zemědělské půdy, často nejsou ochotni pečovat o kvalitu půdy a provádět v tomto ohledu dlouhodobá opatření, např. udržovat vhodnou půdní reakci pravidelným vápněním, dodávat do půdy dostatek organických hnojiv, zabraňovat utužení půdy a rozpadu její struktury atd. Proč? Zřejmě proto, že tato opatření mohou být nákladná a negenerují zisk rychle. S půdou se totiž zachází jako s výrobním prostředkem, nikoli jako s národním bohatstvím, jedním z mála, které ještě máme.

STAV PŮDY V ČR

Velká výměra naší půdy není v dobrém stavu. Máme sice ještě i půdy kvalitní a půdy, o něž se pečuje, ale většina našich půd je postižena různými typy degradace a o velký podíl půd se nepečuje. Půdy stále ubývá a půda, která zbývá, je degradována erozí, utužením (zhuštění), úbytkem organické hmoty, ztrátou živin, znečištěním polutanty, ztrátou biodiverzity atd. Ignorují se zásady správného střídání plodin a běžně se překračuje maximální vhodné zastoupení plodin v osevních sledech. Na půdě a s půdou se nevhodně hospodaří, půda se využívá bez ohledu na budoucnost. Do jisté míry je to daň za u nás převažující zemědělský systém. Výkonné konvenční

telským metodám aj. Zároveň ale intenzivní způsob zemědělství vede ke kontaminaci vyráběných produktů cizorodými látkami, ke znečištění vody i vzduchu a k degradaci krajiny i půdy. Ta má různé formy, intenzitu a důsledky, z nichž nejzávažnější zahrnují ztráty půdy záborů a erozí a poškození biologických vlastností půdy.

CENIA, česká informační agentura životního prostředí, patřící k Ministerstvu životního prostředí, ve své **Zprávě o životním prostředí České republiky 2017** doslova uvádí: „Dlouhodobým problémem zemědělské krajiny jsou velké půdní bloky... a pěstování jedné plodiny na velké ploše. Nevhodné hospodaření vede k degradaci půdy, jako je utužování půdy, eroze, ztráta živin, úbytek organické hmoty a akumulace škodlivých látek.... Vodní erozí jsou v ČR dlouhodobě nejvíce ohroženy oblasti s výskytem bonitně nejvyšší půdy v Polabí a Moravských úvalech“.

V odborném článku **Aktuální stav půd v ČR** v časopise Úroda (Budňáková, Ministerstvo zemědělství, 2017) se mj. píše: „Významným negativem, které postihuje půdy ČR, je utužení. ... Významnou roli zde sehrává používání těžké techniky a časté pojezdy po pozemku, ale i úbytek organické hmoty v půdě (průměrný obsah je 1,5 %, přičemž optimum je 2–2,5 %).“ V témže článku je

dále např. uvedeno: „...za poslední čtvrtstoletí ztratilo zhruba 620 000 ha orné půdy přirozenou schopnost zadržovat vodu. Je to v důsledku ztráty organické hmoty, snížením ploch plodin s vysokou retenční schopností a vlivem utužení“. Komentuje se zde i hodnota půdy: „Na půdu nelze pohlížet pouze jako na výrobní prostředek, ale zejména jako jednu ze základních složek životního prostředí, jejíž stav ovlivňuje rozhodujícím způsobem další složky, jako podzemní i povrchové vody, ovzduší, zdraví lidí a zvířat i klimatické změny. ... Víme, jak na tom naše půdy jsou a také víme, co bychom měli dělat, aby se stávající situace zlepšila. Zbývá už jen uvedení do praxe.“ S tímto postojem nelze než souhlasit, problém je, že ačkoli jde o dlouhodobě známé a zvětšující se problémy a článek byl publikován před více než dvěma roky, není vidět žádné zlepšení.

V Situační a výhledové zprávě Půda (Ministerstvo zemědělství, Praha 2019) je relativně podrobně vyhodnocen současný stav našich půd a tyto údaje je možné považovat za ověřené a oficiální. Uvádí se zde např.:

- ročně se erodí ztrácí v ČR půda v celkové hmotnosti 21 mil. t ornice, což představuje finanční ztrátu nejméně 4,2 mld. Kč,
- v období od r.1999 ubylo průměrně 5 000 ha zemědělské půdy za rok, tedy přes 13 ha denně, zastavovány stavbami jsou často nejkvalitnější půdy,



Žížala svítivá, *Eisenia lutens*, je typickým obyvatelům lesních půd a tlejícího dřeva v teplejších oblastech. Přispívá významně k rozkladu opadu včetně dřevní hmoty. Její tělo je dlouhé až 18 cm. Foto V. Piží

- alarmující jsou změny půdní reakce, půdy se stále více okyselují,
- zásadním problémem je postupný pokles obsahu organické hmoty v půdách, který je způsoben především nedostatkem statkových hnojiv, a dále vodní i větrnou erozí,
- problémem je utužení půdy způsobené zejména nesprávným způsobem hospodaření, utužená půda má nižší produkční

schopnost a zhoršují se její infiltrační a retenční schopnosti pro vodu.

Je samozřejmě dobře, že na Ministerstvu zemědělství ČR mají přehled o alespoň některých problémech, které se týkají našich půd. Pojmenovat tyto problémy je ale jen začátek. Co chybí, je propracovaný plán, jak tyto problémy řešit. Říci, že je něco špatně, bohužel k nápravě nestačí. Ministerstvo by mohlo začít například přehodnocením systému dotací a zrušením těch nesmyslných, včetně téměř automatických dotací za zemědělské využívání půdy; naopak je třeba cíleně a adresně podporovat dobré hospodáře pečující o půdu i krajinu a vyrábějící zdravé produkty.

V publikaci **Zemědělské sucho v České republice** (Žalud, Trna, Hlavinka a kolektiv, Agrární komora ČR, Praha 2019) věnované problematice sucha a jeho dopadů na zemědělství v ČR se autoři pochopitelně nemohli vyhnout hodnocení stavu naší krajiny a půd. Například pro vsakování (infiltraci) vody považují za klíčové problémy „především dlouhé ponechání půdy bez pokryvu a také postupné zhoršování fyzikálních a chemických vlastností půd (snížená stabilita agregátů, nižší obsah organické hmoty, utužení)“. Zaměřují se na adaptační opatření na zemědělské sucho na několika úrovních a mj. konstatují, že „krajina ztrácí schopnost zadržovat vodu. ... Průběh a intenzitu sucha může zmírnit



Půda skrývá obrovské množství organismů. Na fotografii je část větších půdních živočichů extrahovaných z půl litru svrchní vrstvy luční půdy. Velká většina živočichů a mikroorganismy nejsou však pouhým okem vidět. Foto V. Sustr



Takto by se opravdu nemělo s půdou nakládat! Vlivem pojezdu po příliš vlhké půdě dochází k destrukci půdní struktury, k poškození prostředí pro život půdních organismů a k narušení funkcí půdy. Utužená půda ztrácí schopnost vsakovat vodu. Foto M. Šimek

kvalitní, strukturní a hluboká vrstva půdy. Tuto vrstvu však z velké části poznamenala silná eroze i nevhodné způsoby hospodaření. Česká krajina se kvůli scelování pozemků výrazně změnila a jsou pro ni typické velké bloky.“

ŽIVÁ PŮDA

Zdravá a kvalitní půda je „živá“. Sice se nehýbe a jako celek postrádá i další projevy života, ale obsahuje nepřeberné množství rozmanitých organismů. Je až neuvěřitelné, kolik organismů je přítomno v každé „průměrné“, tedy běžné půdě, která nebyla příliš pozměněna, degradována, nebo zničena člověkem či přírodními silami. V gramu půdy jsou přítomny miliardy mikroorganismů, na každém čtverečním metru plochy pole, louky či lesa žijí v půdě bilióny (10¹⁵) bakterií a dalších mikroorganismů, milióny až miliardy (10⁶–10⁹) metrů mikroskopických houbových vláken, milióny drobných živočichů. Vidět pak můžeme větší živočichy, například všeobecně známé žížaly, jichž se na metru čtverečním v půdě nachází desítky až stovky, nebo v podobném množství se vyskytující stonožky, mnohonožky, pavouci, brouci aj. Možná snazší než tyto obrovské počty organismů je představit si jejich hmotnost. Ve zdravé půdě je obvykle kolem několika stovek gramů (200–300 g) až několika kilogramů (1–3 kg) biomasy půdních organismů (ne-

započítáváme kořeny a jiné orgány rostlin) na každý metr čtvereční. Přidržíme-li se spíše nižšího odhadu, je v půdách cca 0,5 kg biomasy organismů/m², čili 5 000 kg/ha. Mnoho půd je však již poškozeno, postiženo degradací biologických parametrů a obsahuje půdních organismů o hodně méně, a to je velký problém. Půdní organismy jsou nesmírně a nenahraditelně důležité, bez nich by půda nefungovala. Co to znamená? Vezměme si například smíšený les. Rostou v něm dřeviny (smrk, borovice, dub, buk apod.), řada různých keřů a dále byliny, mechy, lišejníky atd. Na podzim se povrch půdy pokryje opadem – listím, kousky větví a jinými zbytky rostlin, můžeme zde najít i uhynulá zvířata. Co ale povětšinou nevidíme, jsou půdní organismy. Ty začnou na hromadícím se opadu ihned „pracovat“ a za pár měsíců je opad a ostatní zbytky pryč. Byl zpracován, zapracován do půdy, využit jako zdroj energie a živin a nakonec rozložen na nejjednodušší sloučeniny a prvky. Takto fungují půdní mikroorganismy ve spolupráci s půdními živočichy a analogické procesy se odehrávají v každé půdě. V zemědělských půdách rozloží půdní organismy posklizňové zbytky včetně kořenů plodin. Přitom pouze malá část vstupující biomasy se v půdě zachová, a to jako humusové látky a jiné těžko rozložitelné sloučeniny. Živiny uvolněné rozkladem jsou z velké části znovu využity rostlinami

a takto může vše pokračovat, a to téměř donekonečna. Pokud ovšem nezasáhne člověk, který záměrně i nezáměrně poškozují společenstva půdních organismů!

VLIV ČLOVĚKA NA PŮDU

Člověk půdu využívá v zemědělství a lesnictví, zabírá ji pro stavby, těžbu surovin a další účely a tím vším ji ovlivňuje, poškozují a ničí. Poškození půdy (degradace půdy) má různé příčiny, různé typy a různou míru poškození. EASAC (European Academies Science Advisory Council) ve své mezinárodně respektované zprávě z roku 2018 (Opportunities for Soil Sustainability in Europe, Policy report 36, ISBN 978-3-8047-3898-0) uvádí tyto hlavní typy degradace půd v Evropě: (1) ztráty půdy v důsledku záboru pro stavby a jiné účely, (2) vodní a vzdušná eroze, (3) utužení půdy a jiné narušení půdní struktury, (4) ztráty půdní organické hmoty, (5) zasození nebo okyselení a (6) znečištění půdy cizorodými látkami. Zpráva také připomíná, že podle hodnocení Evropské komise má degradace půdy přímý dopad na kvalitu vody a vzduchu a tím na zdraví lidí a ohrožuje i potravinovou bezpečnost. Je všeobecně známo, že konvenční intenzivní zemědělství poškozují svými praktikami krajinu a degradují půdu. Jak se naopak pozná dlouhodobě udržitelné využívání půdy a krajiny? Kritéria jsou podle zmíněné zprávy EASAC následující:

- vyplavování živin z půdy je malé
- biodiverzita nad i pod povrchem půdy je vysoká
- srážky jsou efektivně vsakovány a zadržovány v prokořeněné vrstvě půdy
- eroze půdy je nízká
- vstupy cizorodých látek do půdy jsou nízké a tyto se v půdě nehromadí do škodlivých koncentrací
- produkce potravin a dalších produktů není podmíněna vysokými vstupy energie
- emise skleníkových plynů z půdy jsou nulové nebo negativní (půda spotřebovává plyny z atmosféry).

Půda má rozmanité funkce. Na prvním místě jmenujme funkci produkční: půda slouží k produkci potravin, krmiv, vláken a dalších komodit, bez nichž by život na Zemi v současné podobě nemohl existovat. Velmi významné jsou i ekologické funkce půdy (úloha v koloběhu vody, živin a dalších látek v přírodě, detoxikační úloha ve vztahu k rizikovým látkám, vytváře-

ní podmínek pro organismy a udržování biodiverzity apod.) a další funkce včetně funkcí rekreačních (půda sportovních areálů, golfových hřišť, městských parků apod.). Plněním svých funkcí poskytuje půda člověku i ekosystémové služby, tedy přínosy, které lidé získávají od ekosystémů a které mají vliv na životní úroveň lidí. Aby půda plnila své funkce, je třeba se o ni náležitě starat. Optimalizované zemědělské systémy zajišťují vyšší produkci a zároveň omezují degradaci půdy a destrukci krajiny včetně zlepšení bilance vody a omezení emisí skleníkových plynů z půdy. Zásady udržitelného hospodaření jsou mj. uvedeny v tzv. informačních listech a projektových zprávách Evropského společenství a jsou dostupné [zde](#).

KLÍČ K ŘEŠENÍ

Není jistě jednoduché organizovat a řídit tak složitou a problematickou oblast, jakou je zemědělství a lesnictví, nicméně existují nástroje, kterými je možné nastavit základní podmínky pro žádoucí způsoby hospodaření: jsou to zejména zákony a jiné

právní normy a dále dotace, cenové pobídky a cenová politika vůbec. Těmito nástroji je možné poměrně dobře regulovat procesy, technologie a postupy v zemědělství a lesnictví tak, aby byla mnohem lépe chráněna půda a krajina, aby v tak obrovském měřítku nepokračovala degradace našich půd, aby se degradované půdy postupně zlepšily a aby tak byla zajištěna dobrá budoucnost dalších generací obyvatel České republiky. V tomto ohledu máme bohužel velké rezervy, jak dokládá současný špatný stav půd, z něhož momentální praxe nenalézá východisko (nebo nemá odvahu či možnost jej přijmout). Celá společnost, resp. alespoň její rozhodující část, musí co nejdříve akceptovat současný špatný stav půdy, vody a krajiny v ČR, přijmout za své základní principy řešení, a možná se i uskrovnit, aby byl zaručen úspěch nápravných opatření. Je již nejvyšší čas to udělat, nebo bude opravdu pozdě. Degradace našich půd, znečištění vod a destrukce krajiny pokračují plíživě, ne skokem, ale po dosažení kritického stavu hrozí zhroutilí celého systému, kdy přestane poskytovat služby,

kteří stále náročnější populace požaduje. Nezajistí čistou vodu, kvalitní potraviny a vůbec kvalitní podmínky pro život a ty ani nebude kde nakoupit a dovézt, protože situace je stejně špatná i v mnoha jiných zemích a oblastech. Současná virová pandemie (je květen 2020) a s ní související jevy jsou naléhavým varováním před důsledky všudypřítomné globalizace. Je naprosto zřejmé, že v oblasti potravinové bezpečnosti je třeba se ihned zabývat kvalitou našich půd, urychleně napravit, co je špatně a podporovat kvalitní domácí produkci. Možná bude v obchodech méně tropického ovoce, ale zato si budeme moci koupit chutné brambory z Vysočiny, upéct dobrý chleba z naší žitné mouky či si pochutnat na pošumavském hovězí. **Klíčem k řešení je pouze zdravá a kvalitní půda oživená myriádami půdních organismů. Bez nich není půda půdou a bez půdy nebude ani člověk...**



POZNATKY Z ČESKÉ VĚDY A VÝZKUMU

Gaisler J., Pavlů L., Nwaogu C., Pavlů Klára, Hejzman M., Pavlů V. (2019): *Sanguina nivaloides and Sanguina aurantia gen. et spp. nov. (Chlorophyta): the taxonomy, phylogeny, biogeography and ecology of two newly recognised algae causing red and orange snow. FEMS Microbiology Ecology 95: 1-21*

MULČOVÁNÍ KOSENÍ NENAHRADÍ

Nedostatek hospodářských zvířat ve střední Evropě, které by spásaly biomasu, je výzvou pro management polopřírodních i dříve intenzivně využívaných travních porostů. Alternativní metodou obhospodařování těchto porostů je mulčování, při kterém je nadzemní biomasa řezána, drcena a následně rozmetána po povrchu.

Odborníci porovnávali tři různé frekvence mulčování (jeden, dva a třikrát za rok) se zcela neopečovávanými porosty a tradičním managementem seče dvakrát ročně na obnovených horských loukách. Druhové složení rostlin bylo monitorováno po dobu 13 let. Tradiční seče dvakrát ročně s odstraněním biomasy bylo nejvhodnější metodou pro zachování druhové rozmanitosti a a počtu druhů rostlin, což byly parametry, které významně klesaly u mulčovaných ploch. Nejhorší na tom byly plochy zcela neobhospodařované. Vysoké dvouděložné ruderalní druhy jako je kopřiva dvoudomá, pcháč rolní a bršlice kozí noha se rozmohly především tam, kde nedocházelo k žádnému odstraňování biomasy nebo mulčování probíhalo jednou ročně. Vyšší frekvence odstraňování živé hmoty měla pozitivní vliv na šíření nízkých ruderalních druhů, jako jsou různé druhy pampelišek, jitrocel kopinatý a jetel plazivý. Po osmi letech došlo ke změnám ve struktuře travin u neobhospodařovaných ploch a ploch mulčovaných jednou ročně díky zvýšení poměru vysokých / nízkých druhů.

Závěrem lze říci, že opakované mulčování nemůže zcela nahradit tradiční seče dvakrát do roka. Sníží se druhová bohatost i rozmanitost rostlin a změni se i struktura porostu. Přestože mulčování jednou ročně může zabránit invazi keřů a stromů, podporuje také šíření ruderalních druhů, stejně jako v podmínkách bez jakéhokoliv hospodaření.

-simpolak-

TRENDY ZMĚN VYBRANÝCH FYZIKÁLNÍCH PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ

JAN VOPRAVIL, TOMÁŠ KHEL, DARINA HEŘMANOVSKÁ, LUKÁŠ VLČEK

Ing. JAN VOPRAVIL, Ph.D

Vedoucí oddělení pedologie a ochrany půdy VÚMOP v.v.i., na ČZU je garantem předmětu Půda a protierozní ochrana. Dlouhodobě se zabývá problematikou půdy, její ochrany, včetně odborné pomoci při tvorbě legislativy. Snaží se o podporu správné zemědělské praxe - zemědělce jako hlavního činitele, který může pozitivně ovlivnit stav půdy a naší krajiny.

Ing. DARINA HEŘMANOVSKÁ, Ph. D.

Pracuje na oddělení pedologie a ochrany půdy Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Zabývá se zpracováním a analýzou prostorových dat půdních charakteristik a tvorbou mapových výstupů.

Ing. TOMÁŠ KHEL

Pracuje ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy v Praze v oddělení Pedologie a ochrany půdy. Podílí se na projektech zabývajících se změnou půdních vlastností po antropogenním zásahu do jejich přirozeného vývoje, degradací půdy, mapováním půd, klasifikací půd České republiky, popisu půdní heterogenity a projektech směřujících k ochraně půdy a jejích funkcí.

Půda je prostředí živé, jejíž sezónní vlastnosti reagují na vnitřní i vnější faktory a intenzitu jejich působení. Mezi ně patří například způsob hospodaření, klimatické podmínky daného roku, management půdy, pěstovaná plodina aj. Na trendy změn tak nelze usuzovat z porovnání několika let, je třeba využít historická data dokumentující stav půdy minimálně před desetiletím, neboť pouze tak budou eliminovány přirozené výkyvy a bude možné usuzovat na dlouhodobější trend průkazných změn. Česká republika je v tomto pohledu spolu se Slovenskem výjimečná díky jedinečnému datovému zdroji - **Komplexnímu průzkumu půd (KPP)**, který dokumentuje stav půdy bývalého Československa v 70. letech minulého století. Právě tato datová báze byla využita při retrospektivním popisu změn vybraných půdních vlastností. Rozsah příspěvku umožnil zaměřit se pouze na jejich část, a to na změny ve fyzikálním stavu půdy, který má zásadní vliv na pohyb vody v půdě a agronomické sucho i sucho v krajině.

CO BYL KOMPLEXNÍ PRŮZKUMU PŮD?

Komplexního průzkumu půd (KPP) probíhal na území tehdejšího Československa mezi lety 1961-1971, popisuje tak stav půd před zhruba čtyřiceti lety (Skalský a kol. 2014). Kromě taxonomického mapování půdního pokryvu v měřítku 1:5000, resp. 1: 10 000 bylo v rámci KPP provedeno také vyhodnocení kvality půd na podkladě analýz mnoha půdních vzorků. Ty byly odebírány ze tří druhů sond - tzv. Z-sond (základní), V-sond (výběrové) a S-sond (speciální). Typy sond se lišily především rozsahem analýz. Nejkomplexnější analytický popis je dostupný pro S-sondy, které sloužily pro získání všestranné analytické charakteristiky typických půdních před-

stavitelů a jejich rozmístění reprezentuje genetické řady půd na nejvýznačnějších substrátech, podchycuje zákonitosti vertikální zonality v rámci jednoho substrátu a vybrané S sondy popisují nejvýznačnější litogenní varianty a stadia hydromorfního vývoje (celkem cca 1,5 tisíce sond). Rozsah analýz S-sond byl zaměřen na chemické, ale i fyzikální parametry půdy (odebírány byly neporušené půdní vzorky - Kopeckého válečky).

IDENTIFIKACE TRENDŮ

V rámci úkolu podpořeného Ministerstvem zemědělství bylo během dvou let řešení opětovně vykopáno celkem 171 sond na místech původních S-sond KPP. Sondy byly vybrány podle několika kritérií tak, aby reprezentovaly sondy kontinuálně intenzivně využívané (orané) a aby byly v souboru zastoupeny zemědělsky obhospodařované půdy v České republice s četností přibližně odpovídající jejich plošnému vymezení. Samotný výkop sondy, odběry vzorků i jejich analýzy byly prováděny podle metodik platných v době KPP (Němeček a kol. 1967 a,b; Sirový a kol. 1967) tak, aby byly odebrány vzorky ze shodných půdních taxonů, shodných horizontů (hloubek; ověřena byla i shoda barvy a zrnitostní kategorizace), v hloubkách se shodnou morfologickou charakteristikou a na totožném půdotvorném substrátu. Výjimku tvořily pouze půdy erodované nebo půdy s akumulací sedimentu, kde byly odběry provedeny i v případě neshody hloubek jednotlivých horizontů, jinak by došlo k eliminaci nastalé změny. Díky tomuto nastavení často nebyla sonda v terénu odebrána - jediné tak bylo možné získat soubor srovnatelných párových dat pro následné statistické vyhodnocení. Odběr vzorků i rozsah analýz korespondoval s parametry S-sond. Pro vyhodnocení trendů změn byla nejprve data

standardizována a byl proveden test normality. V případě normálního rozdělení byl použit párový T-test, při nesplnění předpokladu normality dat byl následně použit Kruskal-Walisův test. Výsledky v grafech jsou pro srozumitelnost prezentovány ve formě sloupců znázorňujících procentuální rozdíl hodnoty nově stanovené a původní. Sloupec v kladné části stupnice tedy odpovídá zvýšení hodnoty půdního parametru, v záporné snížení.

VÝZNAM FYZIKÁLNÍCH PARAMETRŮ PŮDY

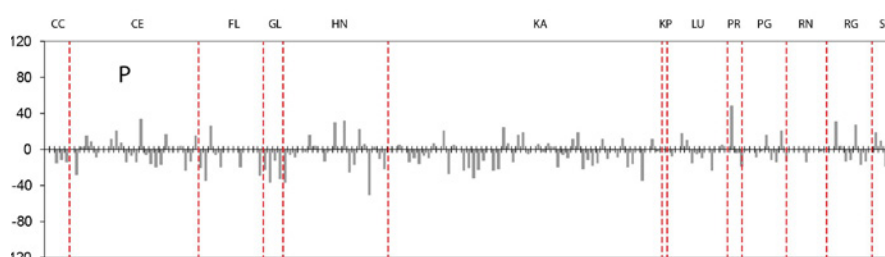
Fyzikální parametry byly stanoveny na neporušených vzorcích půd reprezentujících jejich aktuální prostorové uspořádání (Zbiral a kol. 2010). **Objemová hmotnost redukovaná (OHR)** udává hmotnost 1 cm³ půdy v přirozeném uložení a je ovlivněna obsahem organické složky, minerálním složením i degradací půdy utužením. Důležitým parametrem půd je jejich **pórovitost (P)**, která úzce souvisí s OHR. Pórovitost půdy je základní fyzikální vlastností, neboť ovlivňuje obsah vody i vzduchu v ní. Utužená půda omezuje vsak vody do půdy, zpomaluje rozklad organické hmoty a obecně negativně ovlivňuje růst a činnost půdní mikroflóry. V půdních pórech probíhají veškeré chemické reakce, vytváří prostředí pro mobilitu a transport živin. Velmi důležité je i zastoupení jednotlivých skupin pórů podle velikosti (nekapilárních, semikapilárních a kapilárních). K přesnějším úvahám o kvalitativním zastoupení pórů byla dále stanovena **maximální kapilární vodní kapacita (MKVK)**. Jedná se o hodnotu popisující zastoupení jemných pórů a schopnost půdy poutat vodu kapilárními silami (orientačně lze srovnat s hodnotou retenční vodní kapacity).

K JAKÝM ZMĚNÁM U ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD DOŠLO?

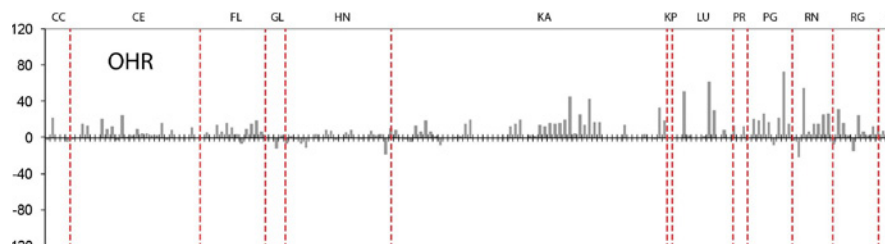
Grafy 1–6 dokumentují hodnocení změn v ornici a podorničí u vybraných fyzikálních půdních parametrů.¹

Objemová hmotnost redukovaná (OHR)

Výsledky srovnání ukazují grafy 1 a 2. Trendy změn v ornici i podorničí byly shodně statisticky průkazné a ukazují na zhoršení stavu půd z pohledu tohoto fyzikálního parametru. Z výsledků vyplývá, že u většiny



Graf 1: Změny objemové hmotnosti redukované v ornici



Graf 2: Změny objemové hmotnosti redukované v podorničí

sond došlo ke konsolidaci půdních částic, omezení prostoru pro vzduch a utužení půdy s negativy pro koloběh vody, ale i prvků a biologického života. Překvapivé je utužení v regozemí, kdy i u půd zrnitostně lehkých došlo ke zhoršení tohoto parametru.

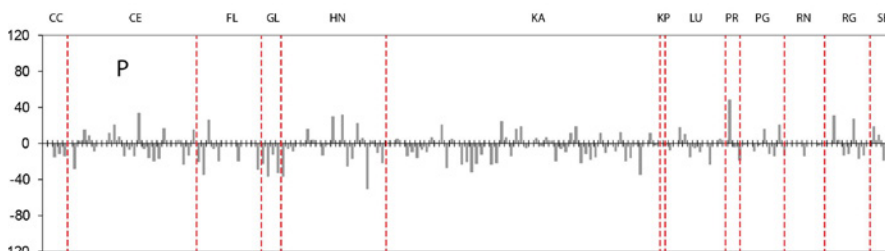
Pórovitost (P)

Výsledky srovnání ukazují grafy 3 a 4. Průkazné negativní změny byly stanoveny v ornici i podorničí. Především stav podor-

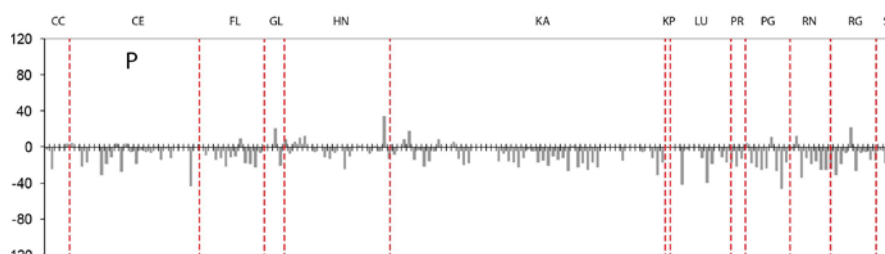
zjištění u OHR. V utužené půdě se snižují prostory pro vzduch a omezuje se pohyb vody. Přes kulturní zásahy ovlivňující svrchní část půdy se podorničí stále více chová jako vrstva retardující, a to jak pro vertikální pohyb prvků a látek, tak pro růst kořenů plodin. Zhoršeny jsou i podmínky pro biologickou činnost mikro- a makroorganismů.

Maximální kapilární vodní kapacita (MKVK)

Výsledky srovnání ukazují grafy 5 a 6. Tento



Graf 3: Změny pórovitosti v ornici

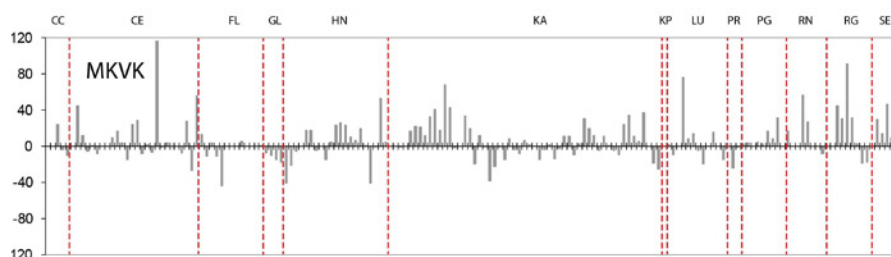


Graf 4: Změny pórovitosti v podorničí

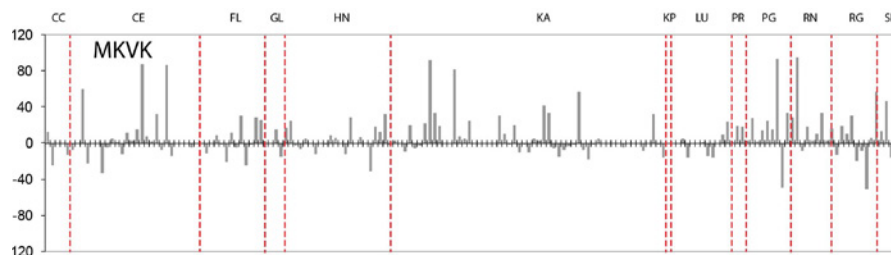
ničí je alarmující, kdy byla pouze výjimečně stanovena pozitivní změna oproti stavu před 40 lety. Pórovitost logicky potvrzuje

fyzikální parametr a jeho průkazné zvyšování hodnot dokresluje vyhodnocení předchozích fyzikálních ukazatelů. Zvyšující se

¹ Vysvětlivka grafů: klasifikace půd podle Němečka a kol. (2011): CC – černice, CE – černozem, FL – fluvizem, GL – glej, HN – hnědozem, KA – kambizem, KP – kryptozol, LU – luvizem, PR – parandzina, PG – pseudoglej, RN – rendzina, GG – regozem, SE – šedozem



Graf 5: Změny v maximální kapilární vodní kapacitě v ornici



Graf 6: Změny v maximální kapilární vodní kapacitě v podornici

hodnota MKVK je důsledkem utužení půdy, kdy se mění poměry pórů ve prospěch pórů jemných, kapilárních, avšak na úkor pórů hrubších, semikapilárních a nekapilárních. Právě tyto póry však vedou vodu gravitačně do hloubi půdy a zásobují vláhou i spodní části profilu, čímž zvyšují retenční kapacitu půdy. Současný stav omezuje však vodu do půdy, voda je ve svrchní části půdy vázána pevněji, kapilárně, avšak absence preferenčních cest brání rychlému prostupu vody půdou a v důsledku je akcelerován povrchový odtok, čímž je půda ochuzována o vodu a v důsledku je podpořena eroze půdy. Druhým aspektem stanoveného trendu je pokles obsahu půdního vzduchu, kdy je snížena výměna prvků a v případě dlouhodobě kapilárně držené vody může docházet k redukčním podmínkám omezujících růst plodin.

JAK TEDY DÁLE?

Je potřeba zvýšit péči o přirozenou úrodnost půdy, neboť pouze ta dokáže eliminovat extremity posledních let. Řeč je především o změnách v distribuci vody, kdy stejné množství spadne v menším počtu srážkových událostí, zvedá se tak jejich intenzita a akcelerace navázaných degradačních procesů v krajině. Revidovány by měly být především zavedené praktiky hospodaření bez organického hnojení a střídání plodin, byť oba tyto aspekty mohou narážet na ekonomické problémy chodu živočišné výroby. Absence mrazů a nedostatek vláh v půdě během zimy omezuje přirozenou obnovu fyzikálních parametrů, je tedy

třeba zapojovat do osevních postupů hlubokokořenící plodiny, které kladně působí i v nižších partiích půdy. Podle podmínek je vhodná různá hloubka kultivace půdy, vyloučení jednostranné agrotechniky půdy (střídání orby/bezorebných technologií), udržování kladné bilance organických látek. Kvalitu půdy podpoří také postupy organizační, jako je snížení velikosti půdního bloku, zavádění protierozních mezí, průlehlů, budování větrolamů, remízků a dalších krajinných prvků.

JAK MÁLO STAČÍ

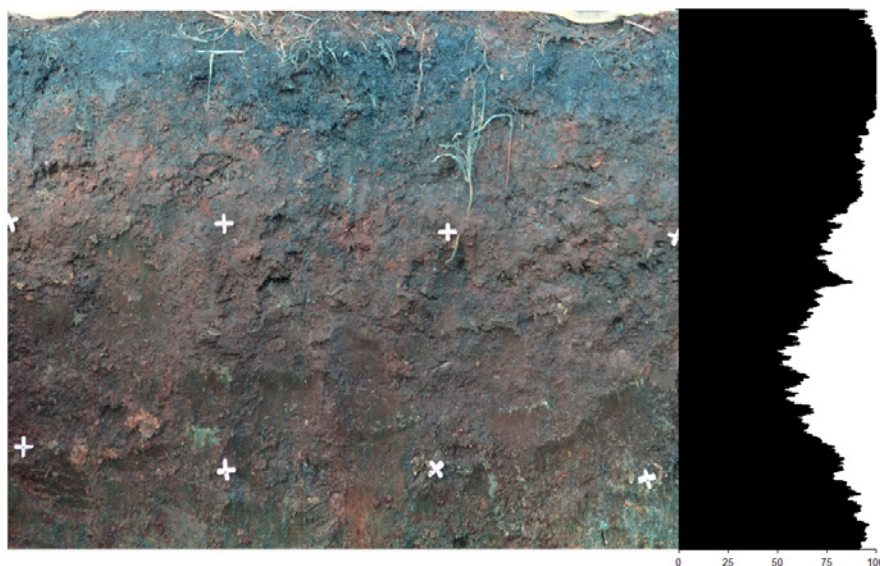
K půdě bychom se neměli chovat jednostranně, extrémně. Agrotechnika i plodiny by se na polích měly logicky střídat,

agrotechnika by se měla přizpůsobovat aktuální situaci (někdy orám, někdy šetřím vláhu minimalizačními technologiemi apod.), neboť se změnou přichází i prostor pro regeneraci půdy zatížené pěstováním plodiny v daném roce. Málo platné, onen „selský“ rozum platil a platí i v současnosti, jen se na něj někdy kvůli „ekonomickému tlaku“ zapomíná. Často však stačí málo. Toto „málo“ bychom rádi ukázali na dosavadních výsledcích z provozního pokusu založeného v roce 2019. Pokus řeší možnosti „levného“ řešení obnovy prezentované degradace fyzikálního stavu půdy i jeho viditelné dopady na pohyb vody v půdě.

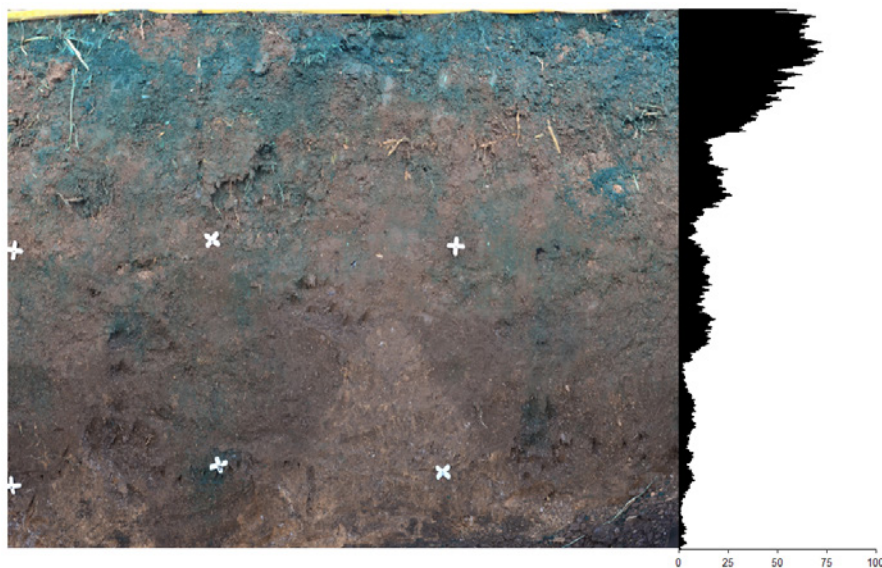
VÝZKUMNÁ PLOCHA HOVORČOVICE

Půdní kryt plochy tvoří černozemě modální vyvinuté na spraši. Intenzivní využití půdy se projevilo v degradaci fyzikálního stavu půdy, kdy se v hloubce cca 40 cm vytvořila utužená vrstva omezující pohyb vody i růst rostlin.

Pokusná pole byla založena na podzim 2019 se dvěma variantami zpracování půdy: (A) plocha založená konvenčně, tedy zpracovaná kompaktořem a oseta, a (B) podrytá do hloubky 40 cm a následně zpracovaná stejně jako část A, tj. kompaktořem a oseta. V dalších letech se agrotechnika na těchto částech již nebude lišit, bude se pouze přizpůsobovat plodinám a meziplodinám v navrženém variantním osevním sledu (snahou řešitelů je též popsat vliv špatného/správného střídání plodin). Po založení porostu byly provedeny dva in-



Obr 1: Výsledky infiltrační zkoušky se stopovačem na podryté variantě



Obr 2: Výsledky infiltrační zkoušky se stopovačem na nepodryté variantě

filtrační testy se stopovačem – na podryté ploše a na nepodryté ploše. Na vymezenou plochu bylo aplikováno 200 l roztoku brilantní modře a vody. Po 24 hodinách byla na ploše vykopána půdní sonda, jejíž půdní profil byl nafocen. Jednotlivé fotografie byly automaticky spojeny v programu Agisoft Photoscan 1.4.5, čímž vznikla plocha

cca 0,9 x 0,8 m vstupující do vyhodnocení. V programu GIMP byly extrahovány plochy neposuzované (např. kameny, orientační značky v profilu) a plochy zasažené modrou barvou a snímek byl statisticky vyhodnocen v prostředí RStudio. Z vyhodnocení ploch vyplývá, že na podryté variantě (viz obr. 1) voda lépe infiltruje do celého profilu,

horší distribuce je v hloubce 40–50 cm, kde se nachází utužené podorniči. Podrytí však tuto vrstvu narušilo a v místech prostupu pracovních nástrojů podryvače voda protekla a nasýtila i nižší partie půdy, čímž zvýšila celkovou zásobu vody v půdě. Celkově je trasovačem zasaženo 81 % stěny hodnocené plochy (na obrázcích je vždy vpravo znázorněna plocha ovlhčení % v závislosti na hloubce). Na nepodryté variantě (viz obr. 2) voda nejlépe zasakuje v orníční vrstvě (hloubka do 20 cm), pod utuženou vrstvou se voda dostává minimálně. Trasovačem bylo v tomto případě označeno ovlhčení 19 % hodnocené plochy. Pokusy i jejich hodnocení budou probíhat i nadále, pokus však potvrzuje předpoklad. Pakliže máme půdu degradovanou, je třeba snažit se o optimalizaci negativního stavu. O to více to platí v případě zadržení vody v půdě, kdy půda s vyšší vlhkostí dokáže déle odolávat případné periodě sucha. Jak dokumentuje popsany příklad, množství vody v půdě není vždy pouze důsledek absence atmosférických srážek.

Příspěvek vzniknul za podpory MZe, a to v rámci plnění funkčního úkolu „Využití archivních dat ke stanovení trendů změn půdních vlastností“ s podporou projektu NAZV QK1910299.

LITERATURA:

Němeček J., Damaška, J., Hraško, J., Bedrna, Z., Zuska, V., Tomášek, M., Kalenda, M. Průzkum zemědělských půd ČSSR, souborná metodika, díl první, Metodika terénního průzkumu, sestavování půdních map, kartogramů a průvodních zpráv. Geneticko-agronomická klasifikace půd ČSSR, Karlovy Vary: Ministerstvo zemědělství a výživy, 1967a. 246 s.

Němeček, J., Šimek, J., Ryglevicz, J. Průzkum zemědělských půd ČSSR, souborná metodika, díl druhý, Metodika agronomické interpretace výsledků průzkumu půd, Karlovy Vary: Ministerstvo zemědělství a výživy, 1967b. 125 s.

Němeček, J., Mühlhanslová, M., Macku, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2. upravené vydání. Česká zemědělská universita Praha, 2011. ISBN 978-80-213-2155-7. 94 s.

Sirový, V., Facek, Z., Pospíšil, F., Kulíková, A., Javorský, P., Kalaš, V. Průzkum zemědělských půd ČSSR, souborná metodika, díl třetí, Metodika laboratorních rozborů a principy jejich vyhodnocení. Karlovy Vary: Ministerstvo zemědělství a výživy, 1967.83 s.

Skalský, R., Vopravil, J., Holubík, O., Novotný, I., Novák, P., Papaj, V., Pírková, I., Saks, M. Komplexní průzkum zemědělských půd (Komplexný prieskum poľnohospodárskych pod): historie, metodika, hodnocení, využití (história, metodika, hodnotenie a využitie). 2014. ISBN 978-80-87361-28-3.

Zbíral, J. a kol. Jednotné pracovní postupy. Analýza půd I. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, 2010. ISBN 978-80-7401-031-6. 290 s.

PRINCIPY A DŮSLEDKY EKOLOGICKÉ STECHIOMETRIE

PETR ČAPEK

RNDr. PETR ČAPEK, PhD.

V současné době působí na katedře Biologie ekosystémů Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Jeho cílem je popsat a kvantifikovat roli půdních mikroorganismů v terestrických cyklech uhlíku, dusíku a fosforu.

Mezi základní složky živé hmoty patří uhlík, dusík a fosfor. V roce 1934 si americký oceánograf Alfred Redfield všiml, že koncentrace těchto prvků spolu napříč povrchovými vrstvami oceánů velice úzce souvisí. Zjistil, že jejich vzájemný poměr je konstantní a nápadně se blíží poměru, jaký bychom naměřili v buňkách fytoplanktonních organismů. Elegance a jednoduchost, s jakou Redfield dokázal tato pozorování interpretovat, odstartovala rozvoj dnes už téměř samostatného podoboru biologie, tzv. biologické či ekologické stechiometrie. Pojďme si prostřednictvím tohoto příspěvku vysvětlit její základní principy, důsledky pro fungování ekosystémů a ukázat její aplikovatelnost na celou řadu environmentálních problémů.

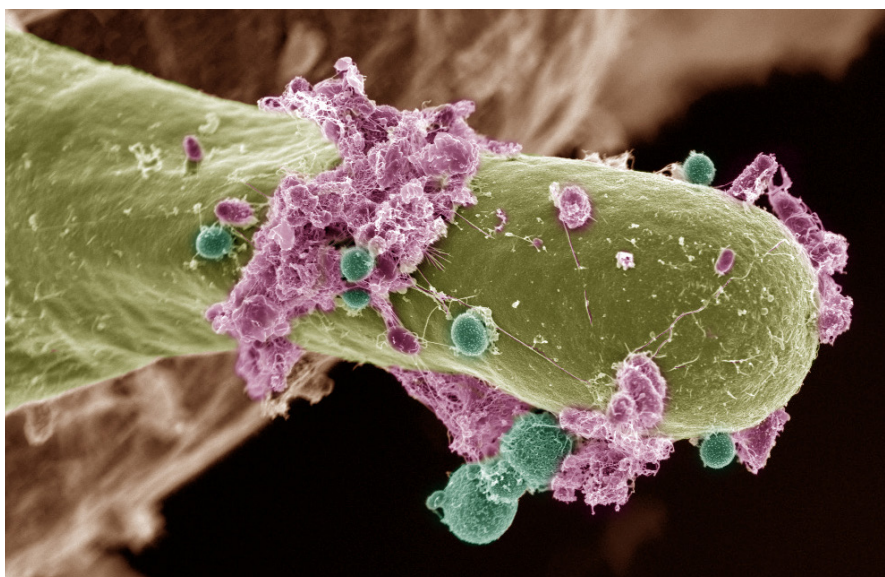
VZÁJEMNÉ POMĚRY ŽIVIN A JEJICH VÝZNAM PRO RŮST ORGANISMŮ

Ekologická stechiometrie vychází ze stechiometrie chemické. Její principy si ukažme na příkladu jednoduché chemické reakce, jakou je hašení vápna. Při hašení vápna se společně mísí dva reaktanty – voda (H_2O) a pálené vápno (oxid vápenatý – CaO) v poměru 1 ku 1. Produktem jejich mísení je hašené vápno, čili

hydroxid vápenatý ($Ca(OH)_2$). Z jedné molekuly vody a jedné molekuly páleného vápna vzniká vždy jedna molekula vápna hašeného. Přidáme-li další molekulu vody do reakční směsi, více hašeného vápna nevznikne. Voda není takzvaně limitující pro tvorbu hašeného vápna, protože je v nadbytku vůči vápnu pálenému. Odebereme-li naopak molekulu vody z reakční směsi, hašené vápno nevznikne. Jeho vznik je v takovém případě limitován nedostatkem vody. Stejný princip lze aplikovat i na živé organismy. Ty si můžeme představit jako sloučeniny mnoha prvků s dominantním podílem vodíku, kyslíku, uhlíku, dusíku a fosforu. Cílem každého organismu je růst a rozmnožovat se, jinými slovy řečeno produkovat novou živou biomasu. K její produkci jsou potřeba reaktanty, v tomto případě živiny v nejrůznějších formách, které je daný organismus schopen ze svého okolí přijmout. Pokud je v okolí některá z živin v nedostatku vůči ostatním živinám, ze kterých je organismus složen, produkce nové biomasy je touto živinou limitována. V této souvislosti si uvedme jeden zajímavý příklad využití ekologické stechiometrie. Ještě donedávna se předpokládalo, že rostoucí koncentrace CO_2 v atmosféře, způsobená lidskou činností,



Dvě nejvýznamnější živiny kontrolující růst suchozemské vegetace jsou dusík (N) a fosfor (P).



Bakterie na kořenové špičce pozorovaná pod elektronovým mikroskopem. Půdní bakterie mohou zpřístupňovat nebo brát rostlinám živiny a tím ovlivňovat jejich růst. Vše záleží na poměru živin v půdě a stechiometrických potřebách obou organismů.

povede ke zrychlení růstu suchozemské vegetace. CO_2 představuje přímý zdroj uhlíku, který rostliny využívají k produkci své biomasy. Jeho zvýšená koncentrace by proto měla bezprostředně zvýšit růst vegetace. Ten by následně vedl ke zvýšené sekvestraci (neboli "jímáním") CO_2 z atmosféry a alespoň přechodně by zmírnil předpokládané negativní vlivy tohoto skleníkového plynu. Takový předpoklad byl založen na analýze prvních ekosystémových matematických modelů. Tyto modely však v průběhu času zaznamenaly významný rozvoj. Do jejich struktury byly zakomponovány i základní prvky ekologické stechiometrie. Z pohledu dnešních matematických modelů se zdá, že význam suchozemské vegetace pro sekvestraci CO_2 z atmosféry byl značně nadhodnocen. Růst vegetace totiž bude navzdory vysoké koncentraci CO_2 omezen nedostatkem živin v půdě a sníženou rychlostí jejich pohybu půdními póry vlivem nízké půdní vlhkosti.

SPECIFIKA EKOLOGICKÉ STECHIOMETRIE

Zaměřme se dále na rozdíly mezi chemickou a ekologickou stechiometrií. Zatímco produkt hašení vápna, tedy hydroxid vápenatý, se vždy skládá z jedné molekuly vápníku a dvou molekul kyslíku a vodíku, prvkové složení organismů není fixní, ale může se v určitém rozmezí hodnot měnit. Každý organismus má navíc jiné prvkové složení, a tedy jiné nároky na množství a relativní zastoupení živin ve svém prostředí. Každý organismus je dále do určité míry schopen se přizpůsobit krátkodobému až střednědobému nedostatku některé

z živin. Dokáže také různou měrou ovlivnit množství a poměr živin ve svém prostředí, zpravidla obývaném dalšími organismy. To vše má své důsledky, jež si lze nejlépe přiblížit na reálných příkladech přímo se vztahujících k aktuálním tématům současné ochrany přírody.

PŘÍKLADY POUŽITÍ EKOLOGICKÉ STECHIOMETRIE

Invaze nepůvodních druhů

Začneme invazemi nepůvodních druhů. Úspěšný invazní druh je takový druh, který v podmínkách dané lokality dokáže vyprodukovat více biomasy než druhy původní. Toho lze dosáhnout několika různými způsoby. V případě rostlinných společenstev se nejčastěji hovoří o nižší náchylnosti k herbivorii. Velmi důležitým způsobem je ovšem také schopnost invazního organismu efektivněji využít živiny, které jsou v prostředí k dispozici. Meta-analýza dat z experimentů studujících vliv živin na růst a reprodukci invazních a původních druhů v nejrůznějších ekosystémech ukázala, že ve vodních ekosystémech jsou invazní druhy úspěšné především, pokud je v prostředí vysoká dostupnost živin. V opačném případě se invazní druh stává neúspěšným. V suchozemských ekosystémech může invazní druh vyhrát jak v prostředí s vysokou, tak s nízkou dostupností živin. Vše záleží na jeho životní strategii. Pokud evoluce vedla určitý invazní druh k maximalizaci jeho růstové rychlosti, může se takový druh stát úspěšným v prostředí s vysokou dostupností živin a to především fosforu.

Proč je zrovna fosfor tolik důležitý? Vysvětlení hledáme na buněčné úrovni. Rychlost, s jakou buňky živých organismů produkují novou biomasu přímo závisí na množství takzvané ribozomové RNA. Ta zprostředkovává translaci, neboli překlad informace uložené v DNA do sekvence aminokyselin, čímž vznikají proteiny s určitou funkcí (např. enzymy). Rychlost překladu vztažená na jednotku ribozomové RNA je pro všechny organismy téměř stejná. Zrychlení překladu a tedy zrychlení růstu lze dosáhnout pouze zvýšením koncentrace ribozomové RNA v buňkách daného organismu. Nicméně k tomu je potřeba relativně velké množství fosforu. Z toho důvodu je fosfor v biomase rychle rostoucích druhů, majících více ribozomové RNA, zastoupen v mnohem větší míře než v biomase druhů rostoucích pomaleji. Tím pádem je nárok rychle rostoucích druhů organismů na relativní zastoupení fosforu v prostředí mnohem vyšší. Aby mohl takovýto invazní druh plně využít svůj potenciál k produkci většího množství biomasy za jednotku času než druhy původní, potřebuje především dostatečné množství fosforu. Ke zvyšování koncentrace fosforu v prostředí značně přispívá lidská aktivita. Nicméně opačným přístupem lze úspěšnost rychle rostoucího invazního druhu teoreticky omezit. O to se například pokusili vědci z amerického města Moab, kteří přímo na půdu aplikovali roztok chloridu vápenatého za účelem snížení dostupnosti fosforu a tím omezení růstu invazního sveřepu střešního (*Bromus tectorum*).

Evoluce může vést i jiným směrem, a to k maximalizaci schopnosti invazního druhu efektivně získávat živiny z prostředí. Takový druh musí dokázat ovlivnit své prostředí do té míry, aby si některou z potřebných živin zprostředkoval. To je často spojeno s relativně velkým výdejem energie a potažmo snížením rychlosti růstu. Proto takový invazní druh může být úspěšným pouze v prostředí s nízkým relativním zastoupením některé z živin, na jejíž nedostatek se adaptoval a získal tím zásadní kompetiční výhodu oproti původním druhům.

Rostlinná produkce

Uvedme si ještě jeden příklad. Jak již bylo uvedeno výše, lidská aktivita zvyšuje koncentraci živin v životním prostředí. Ať už přímo hnojením, nebo nepřímo v důsledku emisí a depozic oxidů dusíku či vypouštěním splaškových vod a jiných odpadů. Zvýšená koncentrace živin v prostředí může vést ke zvýšení produkce biomasy rostlin, ale také k jejímu snížení.

Snížení růstu je tradičně vysvětlováno tím, že určitá živina se stává pro rostliny toxickou, pokud jí je v prostředí příliš mnoho. V případě relativního nadbytku fosforu ovšem nabízí ekologická stechiometrie ještě jedno vysvětlení. Rostliny získávají veškeré živiny z půdy. Ze stejného zdroje získávají živiny i půdní mikroorganismy, které mohou s rostlinami o živiny soupeřit. Pokud dojde mezi rostlinami a půdními mikroorganismy ke kompetici o živiny, mikroorganismy ji vždy vyhrávají. Dokáží totiž živiny z půdy získávat lépe než rostliny. Tím pádem pro rostliny v půdě zbývá méně živin, a to vede ke zpomalení jejich růstu. V mnoha přirozených ekosystémech k takové kompetici nedochází. Buď proto, že rostliny s půdními mikroorganismy přímo spolupracují prostřednictvím symbiotických asociací, nebo proto, že rostliny a půdní mikroorganismy mají odlišné nároky na relativní zastoupení

živin v půdě. Mikroorganismy potřebují relativně více fosforu než rostliny. Ve zdravých ekosystémech je relativní zastoupení fosforu v půdě takové, že růst půdních mikroorganismů je limitován fosforem, kdežto růst rostlin je limitován dusíkem. Díky tomu nemusí soupeřit o stejnou, růst limitující, živinu. Tato situace se může rychle změnit, pokud se relativní množství fosforu v půdě zvýší například aplikací čisté fosfátových hnojiv. V takovéto situaci přestává být růst půdních mikroorganismů limitován fosforem a začíná být limitován dusíkem. Nastává kompetice mezi půdními mikroorganismy a rostlinami o dusík, ze které rostliny vychází jako poražené a jejich růst se proto snižuje.

ZÁVĚREM

V současné době se výše popsané principy ekologické stechiometrie uplatňují při studiu

celé řady biologických procesů na mnoha úrovních systémové organizace, v krátkodobých i dlouhodobých časových horizontech. Ať už se jedná o studium vývoje včelích populací, aktivitě a úspěšnosti sexuálních námluv cvrčků, fungování kastovního systému mravenišť, sukcesního vývoje rostlinných společenstev, mineralizace organických živin v půdě, či odtoku dusičnanů z povodí do vod. Všechny tyto příklady ukazují na obecnou platnost principů ekologické stechiometrie. Je namístě také připomenout, že ne úplně vše, co se v přírodě děje, záleží jen na živinách. To by bylo přílišné zjednodušení. Ovšem zapomenout na živiny a jejich vzájemný poměr by se nemělo nikdy.

Box 1: Další příklady použití ekologické stechiometrie

- Zdravý vývoj včelích populací není závislý pouze na množství pylu, které je v okolí k dispozici, ale také na relativním zastoupení živin v něm. To bývá rozdílné u různých druhů rostlin. Například včely druhu zednice rezavé (*Osmia bicornis*) vybírají pro své potomstvo pyl s vysokým relativním zastoupením fosforu, zinku a mědi. Uvádí se, že především vysoký relativní podíl fosforu přímo souvisí s přežíváním včel dělnic. Doporučuje se proto vysazování druhově pestrých vegetačních pruhů poskytujících nutričně pestré složení pylu, které by podpořilo vývoj a zlepšilo zdravotní stav včelích populací. Samci cvrčků domácích lákají samičky třením (*Acheta domestica*) prvního páru křídel o sebe, čímž vydávají nezaměnitelné zvuky. Čím aktivněji samečci cvrkají, tím větší je pravděpodobnost spáření a předání genetické informace budoucímu potomstvu. Bylo prokázáno, že vábení samiček závisí na relativním zastoupení fosforu v potravě samečka. Čím více fosforu sameček v potravě přijme, tím aktivněji cvrká. O mravencích je známo, že mají přísný kastovní systém. U druhu *Pogonomyrmex badius* bychom našli čtyři kasty – královnu, dva typy dělnic a samečky. Už v raném stádiu vývoje lze poznat, zda se z kukly vyvine dělnice, královna, či sameček. Larvy, které budou v budoucnu patřit do různých kast, jsou totiž krmeny různou potravou, a proto mají i rozdílné relativní zastoupení prvků ve svých tělech. Například dělnice mají méně dusíku než královna. Relativní nedostatek dusíku ve stravě podávané budoucí dělnici totiž snižuje její reprodukční schopnosti a zajišťuje, že se samička stane dělnicí a ne královnou.
- Sukcesní vývoj subtropických lesů, jaké bychom našli například v biosférické rezervaci Dinghushan, prochází několika stádii. V raném či pionýrském stádiu je v takovém lese dominantní dřevinou borovice Massonova (*Pinus massoniana*). V pozdějších stádiích je borovice Massonova postupně nahrazena kaštanovcem (*Castanopsis chinensis*). Dlouho se předpokládalo, že důvodem vyloučení borovice je zastínění kaštanovcem. Nicméně pravým důvodem je změna poměru dostupných forem dusíku a fosforu v půdě během sukcese. Na začátku sukcese je fosfor v relativním nadbytku vůči dusíku a to vyhovuje borovici. V pozdějších stádiích ovšem relativní zastoupení fosforu v půdě klesá a to dává kompetiční výhodu kaštanovci, který ho pro svůj růst potřebuje relativně méně než borovice.
- Společenstvo heterotrofní půdních mikroorganismů rozkládá půdní organickou hmotu. Během tohoto procesu se z organické hmoty do půdního roztoku uvolňují i minerální formy dusíku a fosforu, které následně využívají rostliny ke svému růstu. Ne vždy to ale bývá pravidlem. Rozklad organické hmoty je primárně řízen potřebou mikroorganismů růst. K růstu ale potřebují živiny. Minerální formy dusíku a fosforu se do půdního roztoku uvolňují jen tehdy, když je relativní zastoupení těchto živin v půdní organické hmotě vyšší, než jaké mikroorganismy potřebují ke svému růstu. Přidáme-li do půdy například velké množství glukózy, jakožto snadno využitelné organické látky postrádající jakýkoliv dusík a fosfor, donutíme půdní mikroorganismy doslova vycucávat veškeré volně dostupné zásoby dusíku a fosforu z půdního roztoku a tím omezíme růst rostlin.
- Principy popsané v předchozím příkladu lze využít i k našemu prospěchu. V současné době se vysoké vstupy dusíku do suchozemských ekosystémů negativně podepisují na kvalitě povrchových vod. Velice závažné důsledky pro zdraví lidské populace může mít především vysoká koncentrace dusičnanů v pitné vodě. Vyplavování dusičnanů z půd do vod přímo závisí na množství rozpuštěných organických látek v půdě. Jejich vysoká koncentrace umožňuje půdním mikroorganismům snižovat koncentraci dusičnanů v půdě a tím i jejich vyplavování do vod.

CO NÁS O VÝVOJI PŮD A INTERAKCÍCH MEZI VEGETACÍ, PŮDOU A PŮDNÍMI ORGANISMY NAUČILO STUDIUM VÝSYPEK A JINÝCH „KATASTROF“?

JAN FROUZ, OLGA VINDUŠKOVÁ

prof. Ing. Mgr. JAN FROUZ, CSc.

Viz str. 5

RNDr. OLGA VINDUŠKOVÁ, Ph.D.

Viz str. 5

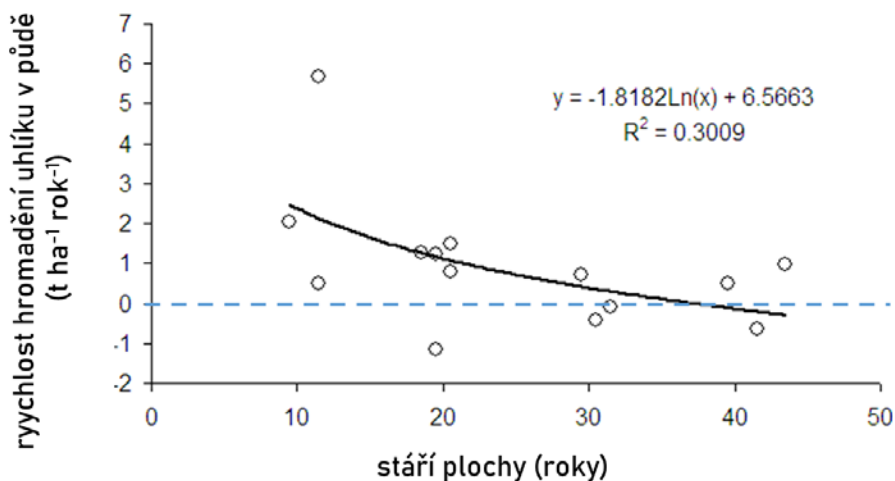
MLADÉ PŮDY POUTAJÍ CO₂ Z ATMOSFÉRY RYCHLEJI

Výsypky vznikají v důsledku povrchové těžby nerostných surovin. K tomu, aby mohl být vytěžen žádaný nerost, je třeba odkrýt nadložní vrstvy, tzv. hlušinu, která je ukládána na výsypky. Při tom dochází k zániku stávajících ekosystémů, které jsou buď odtěženy, nebo zasypány. Hlušina pochází často z velkých hloubek (často desítek metrů) a velmi se liší od vyvinutých půd. Na výsypkách rekultivovaných bez návzu ornice pak hlušina představuje půdotvorný substrát, na němž se vyvíjejí půdy „od píky“ (Obr. 1). Těžba zpravidla trvá na jedné lokalitě mnoho desítek let a neustále tak vznikají nové a nové plochy výsypek. To znamená, že zde můžeme vedle sebe najít plochy různě staré

a porovnání těchto ploch nám dává představu o jejich dlouhodobém vývoji. Pomocí takových porovnání zjišťujeme, že iniciální vývoj půd, tedy alespoň některých jejich parametrů, je poměrně rychlý. Příkladem takového rychlého procesu je hromadění uhlíku ve výsypkových půdách. To můžeme dobře pozorovat na výsypkách na Sokolovsku. Zde jsme dvakrát odebrali vzorky půdy na různých starých plochách s odstupem 10 a více let, což nám umožnilo zjistit, kolik uhlíku se zde za 10 let nahromadilo¹. Zatímco na mladších plochách se uhlík hromadí velmi rychle, až 2 tuny uhlíku na ha za rok (Obr. 2), s postupným stárnutím ploch se hromadění uhlíku v půdě zpomaluje a u ploch starších 50 let je již touto metodou sotva měřitelný. K podobným výsledkům jsme došli i na



Obr. 1 Pohled na část Podkrušnohorské výsypky, která byla ponechána spontánní sukcesí – většina této výsypky nebyla při rekultivaci překryta ornici a můžeme zde tedy pozorovat iniciální vývoj půdy. Foto Jaroslav Kukla



Obr. 2. Množství uhlíku, které se ročně nahromadí v mladých výsypkových půdách klesá s jejich stářím a během 40–50 let. Zdroj: Bartuška a Frouz

základě studia dostupných literárních pramenů o rychlosti hromadění uhlíku na různé starých výsypkách u nás i ve světě². Potvrdilo se, že na velmi mladých výsypkách (<10 let) dosahují rychlosti hromadění uhlíku v půdě vysokých hodnot (přes 2 t ha⁻¹ rok⁻¹) a s postupujícím stářím výsypky se snižují. U ploch starších než 50 let se pohybují v nižších stovkách kg ha⁻¹ rok⁻¹, což jsou ostatně průměrné hodnoty rychlosti hromadění uhlíku, které můžeme dosáhnout zalesněním nebo zatravněním zemědělské půdy³. Abychom si ověřili tento poznatek v ještě delší časové perspektivě, studovali jsme hromadění uhlíku na sesuvech v Beskydech⁴. Podobně jako na výsypkách, i zde jsme měli plochy různého stáří (nejmladší byly 4 roky, nejstarší skoro 13 000 let). I zde se ukázalo, že hromadění uhlíku je velmi rychlé a během prvních 40–80 let je dosaženo hodnot podobných těm pozorovaných v okolních, sesuvem nepoznamenaných lesích, a že se později rychlost hromadění uhlíku v půdě velmi zpomalí. U starších ploch (starých několik tisíc let) se ale začne hromadit významnější množství uhlíku v nadložních horizontech (v opadu a fermentační vrstvě). Všechny tyto výsledky ukazují, že chceme-li podpořit rychlé hromadění uhlíku v půdě, bylo by výhodné se soustředit na plochy silně poškozené, kde uhlíku mnoho není, např. výsypky, půdy poškozené stavební činností či silnou erozí atp. Při vhodném managementu zde můžeme dosáhnout řádově větší rychlosti hromadění uhlíku než v okolní krajině. Navíc jsou na těchto plochách v důsledku absence půdní organické hmoty často významně omezeny jak jejich produkční funkce, tak funkce mimoprodukční (zadržování vody atp.). Hromadění uhlíku zde má tedy velký význam pro

rozvoj těchto ekosystémů. Navíc zde není tak silný trade-off mezi produkčními funkcemi a podporou funkcí mimoprodukčních vázaných právě na půdní uhlík. Jistě i zde je třeba postupovat uvážlivě, protože některé z těchto disturbovaných ploch mohou mít specifický význam pro podporu bioty vázané na specifická stanoviště jako např. duna a podobně, ale jistě by se i tak našlo dost vhodných ploch k cílenému hromadění uhlíku. Důvody, proč je hromadění uhlíku v těchto plochách tak rychlé, nejsou zcela uspokojivě objasněny. Zdá se ale, že to souvisí jednak s dostatkem volných míst na jílových minerálech, které mohou organickou hmotu vázat, jednak s řadou pozitivních zpětných vazeb, které způsobí, že hromadění uhlíku v jedné formě podporuje hromadění uhlíku ve formách jiných⁵.

JINÝ STROM (A STÁŘÍ PŮDY) – JINÝ MRAV

Vraťme se ale k pozorování dynamiky hromadění uhlíku na sesuvech v Beskydech. Řekli jsme si, že na začátku vývoje půd je hromadění organické hmoty v půdě soustředěno v minerálních vrstvách, zatímco u starších ploch (několik tisíc let starých) se uhlík hromadí spíše v nadložních horizontech. To nám ukazuje, že hlavní mechanismy hromadění uhlíku v půdě se mohou u mladých a starších půd lišit. K podobnému závěru dojdeme, porovnáme-li experimenty, ve kterých je sledováno hromadění uhlíku pod různými druhy stromů, na různě vyvinutých půdách. Když jsme například studovali množství uhlíku pod různými druhy stromů na iniciálních půdách na výsypkách⁶, zjistili jsme, že nejvýznamnější je zde hromadění uhlíku v minerální půdě (v A horizontu), zatímco opad a fermentační

vrstva přispívají k celkové zásobě jen málo. Největší akumulace uhlíku pak byla zaznamenána pod olšemi, které fixují vzdušný dusík a produkují velmi snadno rozložitelný opad. K podobným závěrům jsme došli na základě porovnání literárních dat z výsypkových půd⁷. Tam jsme u výsadeb na výsypkách pozorovali větší hromadění uhlíku pod listnáči (které také uhlík hromadí zejména v A horizontu) než pod jehličnany, kde se významné množství uhlíku hromadí v opadu a fermentační vrstvě na povrchu půd. Naproti tom Vesterdal a kol.⁸, kteří porovnávali různé druhy stromů vysazené na vyvinuté lesní půdě, zjistili nejvyšší ukládání C pod smrkem produkujícím obtížně rozložitelný opad, kde v celkové zásobě uhlíku hrály významnou roli nadložní horizonty. To dává tušit, že se na hromadění uhlíku v půdách podílejí různé mechanismy v různých stádiích jejich vývoje. I podmínky maximalizující hromadění uhlíku v půdě, která se nachází v různých stádiích vývoje, jsou tedy různé. Dále jsme v již zmíněném porovnání výsypkových půd⁷ viděli, že schopnost různých typů vegetace podporovat hromadění uhlíku v půdě souvisí s klimatem dané oblasti. Výsledky naznačovaly, že traviny podporují hromadění uhlíku spíše v teplejším klimatu (odpovídajícím biomu temperátních trávníků), zatímco jehličnaté lesy podporují hromadění uhlíku v chladnějším klimatu (odpovídajícím biomu tajgy) a listnaté lesy jsou někde mezi tím. To opět ukazuje, že postupy podporující hromadění půdní organické hmoty by měly být místně specifické, a že mechanistické přenašeni řešení úspěšných na jednom místě na jiná, zcela odlišná místa, nemusí být zárukou úspěchu, ba často je tomu právě naopak.

ZA VŠÍM HLEDEJ ŽÍŽALU

Již jsme zmínili, že rychlost a mechanismy hromadění uhlíku v půdě souvisí s vlastnostmi vegetace. To si můžeme názorně demonstrovat na již zmíněné studii⁶ o hromadění uhlíku pod různými druhy stromů vysazenými na jedné výsypce na Sokolovsku. Zkoumané dřeviny se lišily rozložitelností opadu, konkrétně poměrem uhlíku a dusíku v listech. Obecně platí, že čím je v opadu relativně více dusíku (C:N poměr je nižší), tím rychleji se rozkládá a rychleji se z něj uvolňují živiny. Naopak, je-li C:N poměr vysoký, opad se rozkládá pomaleji a obrát živin je pomalejší. Ze studie vyplynulo, že pod dřevinami se snadno rozložitelným opadem se uhlík hromadí nejrychleji a většina uhlíku se hromadí v organominerálním A horizontu, zatímco u stromů s hůře roz-

ložitelným opadem se více uhlíku hromadí na povrchu půdy v opadové a fermentační vrstvě a celkově je rychlost hromadění menší. Na první pohled vypadá nelogicky, že se snadno rozložitelný opad více hromadí. Dále byste se mohli ptát, co způsobuje, že se organická hmota z povrchu dostane do větších hloubek půdy v různé míře. Odpověď na obě záhady je stejná – žížaly. Plochy se snadno rozložitelným opadem totiž podporovaly větší populace žížal. Žížaly jednak zajišťují bioturbaci, tedy zamíchání organické hmoty do hlubších vrstev půdy. Činnost žížal ale přispívá k hromadění organické hmoty více než jen mechanickým promícháváním⁹. Žížaly totiž, a to je možná ještě důležitější, zapracují tuto organickou hmotu do půdních agregátů, kde jsou drobné kousičky organické hmoty (angl. particulate organic matter) obaleny tenkou vrstvičkou jílu¹⁰ asi jako vídeňský řízek. Toto obalení jednak zpomaluje dekompozici takto zabudovaného kousku organiky. To má řadu důvodů - mimo jiné to, že k ní kyslík musí dovnitř difundovat přes vodou napuštěnou vrstvu jílu. Tím se jeho difuze zpomalí a uvnitř tak častěji vznikají anaerobní podmínky, čímž se zpomaluje dekompozice. Kromě vlivu na dekompozici má tato „řízková“ konstelace ještě jeden význam. Na jílových minerálech v okolí tohoto drobného kousičku narůstají velké povlaky bakterií. Po jejich odumření zůstane většina jejich buněčných obalů přilepena na jílu a to nakonec vytváří většinu organické hmoty, která se dlouhodobě akumuluje v půdě. Činnost žížal je zde zcela zásadní. Když dáme do půdy opad, nebo jej i mechanicky zamícháme do půdy, nedosáhneme stejné míry hromadění uhlíku v půdě jako s pomocí žížal⁹. Můžeme tedy říci, že vliv dřevin na půdu je do značné míry zprostředkován půdní faunou, která ovlivňuje půdní mikrobiální procesy a ve svém důsledku i řadu funkcí půdy včetně hromadění uhlíku.

ZAČAROVANÝ KRUH ŽIVINOVÉ CHUDOBY (A BOHATSTVÍ)

Výše popsaný vztah mezi vlastnostmi rostlin a formováním půdy platí obecněji¹¹. Rostliny, které rostou v chudých půdách, mají snahu zadržovat většinu živin ve své biomase. Díky tomu mají často mimo jiné stálezelené listy nebo jehlice. Ty sice dlouho vydrží, ale zato je jejich rychlost fotosyntézy pomalá a to přispívá k tomu, že je pomalý i růst rostlin. Do půdy tak přichází méně opadu. Tento opad má navíc málo dusíku (vysoký CN poměr) a bývá často bohatě zásoben taniny a dalšími poly-

fenoly, kterými se rostlina snaží zajistit, aby jí listy dlouho vydržely a nesežrali je neřící herbivoři. Taniny ovšem zpomalují i dekompozici opadu. Ta je pomalá, podílí se na ní převážně houby a tím je i pomalé uvolňování živin do půdy. Většina zde rostoucích rostlin proto podporuje ektomykorhizní nebo erikoidní mykorhizní houby, které jim pomáhají získávat živiny z rozkládaného opadu. Chybí zde větší půdní živočichové, kteří by zamíchávali opad do půdy. Opad se hromadí na povrchu půdy, taniny se pomalu vyluhují a podporují tvorbu nízkomolekulárních látek (fulvokyseliny), které pomáhají vyluhovat živiny z vrchní vrstvy půd. Půda se tak ještě více ochuzuje o živiny a nutí rostliny zadržovat získané živiny ve své biomase a celý kruh se uzavírá. Jinak to vypadá v situaci, kdy je minerálních živin nadbytek, např. v dlouhostébelné prérii, v černozemních stepích atp. Jsou zde dobré podmínky pro fixaci atmosférického dusíku, a rostliny mají proto živin dostatek. Rostou rychle a produkují tenké listy, které mají velkou rychlost fotosyntézy. Tenké listy ale dlouho nevydrží a proto brzy opadnou a přichází do půdy. Přísun opadu je tak větší, a protože rostlina nemusí nijak šetřit živinami, obsahuje i hodně dusíku a dalších živin. To podporuje dekompoziční společenstvo s velkým zastoupením bakterií a žížal. Dochází zde k rychlému uvolňování živin, které podporuje růst rostlin. Na druhou stranu dochází díky aktivitě žížal k hromadění organické hmoty v půdě výše popsanými mechanismy. To zároveň podporuje schopnost těchto půd zadržovat vodu a živiny, a tak zůstane větší část mineralizovaných živin dostupná kořenům rostlin. Dostatek živin pak podporuje bujný růst rostlin a celý kruh se uzavírá.

ŽÍŽALY MĚNÍ VZTAH MEZI ROSTLINAMI, PŮDOU A DALŠÍMI PŮDNÍMI ORGANISMY

Vraťme se ještě na chvíli k funkci žížal. Ne že by žížaly byly jedinými významnými půdními organismy, ale je snadné o nich hovořit, protože většina čtenářů si je umí představit. Vizionářskou práci o činnosti žížal napsal Charles Darwin, který píše, že „není pochyb o tom, že žížaly patří k nejnáměnitelnějším tvorům utvářejícím tvář naší planety“¹². Naše sledování sukcesních změn vegetace na výsypkách se ukázalo být vhodným modelem, který nám dal velmi detailně nahlédnout do funkce žížal při formování půd. Žížaly jsou totiž pomalými migranty a navíc musí mít pro své uchycení vhodné podmínky. Na plochy výsypek, které

byly ponechány vlastnímu vývoji spontánní sukcesí, tudíž přicházejí žížaly až po 20 letech vývoje těchto ploch. To nám dává možnost pozorovat vliv této žížalí kolonizace na fungování ekosystému. Porovnání vývoje vegetace s rozvojem půdní bioty a půdy¹³ ukázalo, že na půdách, které nebyly dosud kolonizovány žížalami, převládají pionýrské a ruderalní druhy rostlin. Po kolonizaci žížalami dochází k nárůstu v počtu lesních a lučních specialistů. Následně nám celá řada terénních a laboratorních manipulačních pokusů ukázala, že ovlivnění půdy žížalami obecně podporuje růst rostlin, přičemž žížaly více podporují pozdně sukcesní druhy než druhy raně sukcesní^{14,15}. Vliv žížal je přitom dvojitý. Žížaly mají jednak okamžitý efekt související zejména se zvýšením dostupnosti živin. Za druhé mají vliv dlouhodobý, spočívající v tvorbě půdních agregátů a tvorbě půdy jako takové. Tento vliv přetrvává, i když žížaly z půdy odebereme. V iničiálních stádiích sukcese, když jsou půdy nevyvinuté, jsou významnější dlouhodobé vlivy, naopak u vyvinutých půd v pozdějších fázích sukcese jsou významnější vlivy okamžité¹⁴. Žížaly neovlivňují jen rostliny, ale mění i složení celé půdní potravní sítě¹⁶. Před kolonizací žížalami je půdní potravní síť dominována půdními houbami a organismy, které je konzumují, zejména půdní mesofaunou. S příchodem žížal dojde k zapracování organické hmoty z povrchu do minerální půdy a do půdních agregátů. To podporuje potravní síť dominovanou bakteriemi a dalšími organismy, které se na nich živí. Tato změna potravní sítě ovlivňuje i rostliny. Před kolonizací ploch žížalami jsou půdy zcela prorostlé ektomykorhizními houbami žijícími v symbióze s pionýrskými druhy dřevin. Manipulační pokusy s podzemní a nadzemní kompeticí ukázaly, že podzemní kompetice, zejména kompetice mezi ektomykorhizními houbami stromů a arbuskulárními mykorhizami pozdně sukcesních rostlin je významným faktorem omezujícím nástup pozdně sukcesních druhů rostlin. Další manipulační pokusy¹⁷ pak ukázaly, že žížaly mohou zvýhodňovat arbuskulární houby v kompetici s ektomykorhizními houbami, a tak opět přispívá k nástupu pozdně sukcesních bylin. Z výše popsaných příkladů opět vidíme, že interakce mezi rostlinami a půdou jsou často do značné míry zprostředkovány půdními organismy. Některé tyto vlivy jsou přitom dlouhodobé a zanechávají svou stopu, i když už zde jejich původce být nemusí.



LITERATURA:

1. Bartuška M, Frouz J. Carbon accumulation and changes in soil chemistry in reclaimed open-cast coal mining heaps near Sokolov using repeated measurement of chronosequence sites. *Eur J Soil Sci.* 2015;66(1):104-111.
2. Vindušková O, Frouz J. Soil carbon accumulation after open-cast coal and oil shale mining in Northern Hemisphere: a quantitative review. *Environ Earth Sci.* 2012;69(5):1685-1698.
3. Frouz J, Vinduskova O. Soil Organic Matter Accumulation in Postmining Sites: Potential Drivers and Mechanisms. In: Muñoz MÁ, Zornoza R, eds. *Soil Management and Climate Change" Effects on Organic Carbon, Nitrogen Dynamics, and Greenhouse Gas Emissions.* Elsevier Academic Press; 2018.
4. Vindušková O, Pánek T, Frouz J. Soil C, N and P dynamics along a 13 ka chronosequence of landslides under semi-natural temperate forest. *Quat Sci Rev.* 2019;213:18-29.
5. Frouz J. Effects of Soil Development Time and Litter Quality on Soil Carbon Sequestration: Assessing Soil Carbon Saturation with a Field Transplant Experiment along a Post-mining Chronosequence. *L Degrad Dev.* 2016;28(2):664-672.
6. Frouz J, Livečková M, Albrechtová J, et al. Is the effect of trees on soil properties mediated by soil fauna? A case study from post-mining sites. *For Ecol Manage.* 2013;309:87-95.
7. Vindušková O, Frouz J. Soil carbon accumulation after open-cast coal and oil shale mining in Northern Hemisphere: a quantitative review. *Environ Earth Sci.* 2013;69(5):1685-1698.
8. Vesterdal L, Schmidt IK, Callesen I, Nilsson LO, Gundersen P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *For Ecol Manage.* 2008;255(1):35-48.
9. Frouz J, Špaldoňová A, Fričová K, Bartuška M. The effect of earthworms (*Lumbricus rubellus*) and simulated tillage on soil organic carbon in a long-term microcosm experiment. *Soil Biol Biochem.* 2014;78:58-64.
10. Angst G, Mueller CW, Prater I, et al. Earthworms act as biochemical reactors to convert labile plant compounds into stabilized soil microbial necromass. *Commun Biol.* 2019;2(1):441.
11. Frouz J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma.* 2018;332:161-172.
12. Darwin C. *The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms, with Observations on Their Habits.* John Murray; 1881.
13. Frouz J, Prach K, Pižl V, et al. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *Eur J Soil Biol.* 2008;44(1):109-121.
14. Mudrák O, Frouz J. Earthworms increase plant biomass more in soil with no earthworm legacy than in earthworm-mediated soil, and favour late successional species in competition. Jones H, ed. *Funct Ecol.* 2018;32(3):626-635.
15. Roubíčková A, Mudrák O, Frouz J. Effect of earthworm on growth of late succession plant species in postmining sites under laboratory and field conditions. *Biol Fertil Soils.* 2009;45(7):769-774.
16. Frouz J, Thébaud E, Pižl V, et al. Soil Food Web Changes during Spontaneous Succession at Post Mining Sites: A Possible Ecosystem Engineering Effect on Food Web Organization? Amaral LA, ed. *PLoS One.* 2013;8(11):e79694.
17. Frouz J, Moradi J, Püschel D, Rydlová J. Earthworms affect growth and competition between ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal plants. *Ecosphere.* 2019;10(5):e02736.

POZNATKY Z ČESKÉ VĚDY A VÝZKUMU

Procházková L., Leya T., Křížková H., Nedbalová L. (2019): *Sanguina nivaloides* and *Sanguina aurantia* gen. et spp. nov. (Chlorophyta): the taxonomy, phylogeny, biogeography and ecology of two newly recognised algae causing red and orange snow. *FEMS Microbiology Ecology* 95: 1-21

SANGUINA NIVALOIDES A SANGUINA AURANTIE, NOVÉ ČERVENÉ ŘASY ZE SNĚŽNÝCH POLÍ

Tající sněhová pole v polárních a vysokohorských oblastech často vykazují červené a oranžové zbarvení způsobené mikrořasami. Rozmanitost těchto organismů je stále nedostatečně prozkoumaná, přitom velmi rychle tyto druhy vymírají díky změnám klimatu. Odborníci využili identifikaci pomocí tří molekulárních markerů a světelnou a elektronovou mikroskopii k vyšetřování sférických cyst odebraných z hor v Evropě, Severní a Jižní Americe a také z obou polárních oblastí.

Molekulární analýzy odhalily přítomnost jediné nezávislé linie Chlamydomonadales. Popsali rod *Sanguina*, a v rámci něj *Sanguina nivaloides*. Od ostatních červených řas, které tvoří cysty, je odlišitelná počtem vrstev buněčné stěny, velikostí buněk, morfologií buněčného povrchu a preferencí stanoviště. *Sanguina nivaloides* je rozmanitý druh, který obsahuje celkem 18 haplotypů. Na základě molekulárních dat bylo prokázáno, že má kosmopolitní rozdělení bez jakéhokoliv geografického členění, což ukazuje na efektivní strategii šíření cyst, včetně překonávání rovníku na cestě z Arktidy do Antarktidy.

Dále vědci popsali *Sanguina aurantie*, která se vyznačuje malými sférickými oranžovými cystami. Ta se často seskupuje pomocí slizovitých pochev a způsobuje oranžové květy ve sněhu v subarktických a arktických oblastech.

-simpolak-

ACIDIFIKACE LESNÍCH PŮD JAKO PŘETRVÁVAJÍCÍ DĚDICTVÍ „ŠPINAVÉHO“ 20. STOLETÍ

JAKUB HRUŠKA, FILIP OULEHLE, TOMÁŠ CHUMAN

prof. RNDr. JAKUB HRUŠKA, CSc.
V České geologické službě a Ústavu
výzkumu globální změny AV ČR
se zabývá vlivem kyselých dešťů
a dusíku na lesní ekosystémy
a biogeochemickými cykly ekologicky
významných prvků. V ochraně přírody
se zabývá zejména horskými lesními
ekosystémy.

Mgr. FILIP OULEHLE, Ph.D.
V České geologické službě a Ústavu
výzkumu globální změny AV ČR se
zabývá biogeochemií suchozemských
a vodních ekosystémů. Koloběh
uhlíku, dusíku a fosforu a jejich
vzájemné interakce jsou centrem jeho
současného bádání.

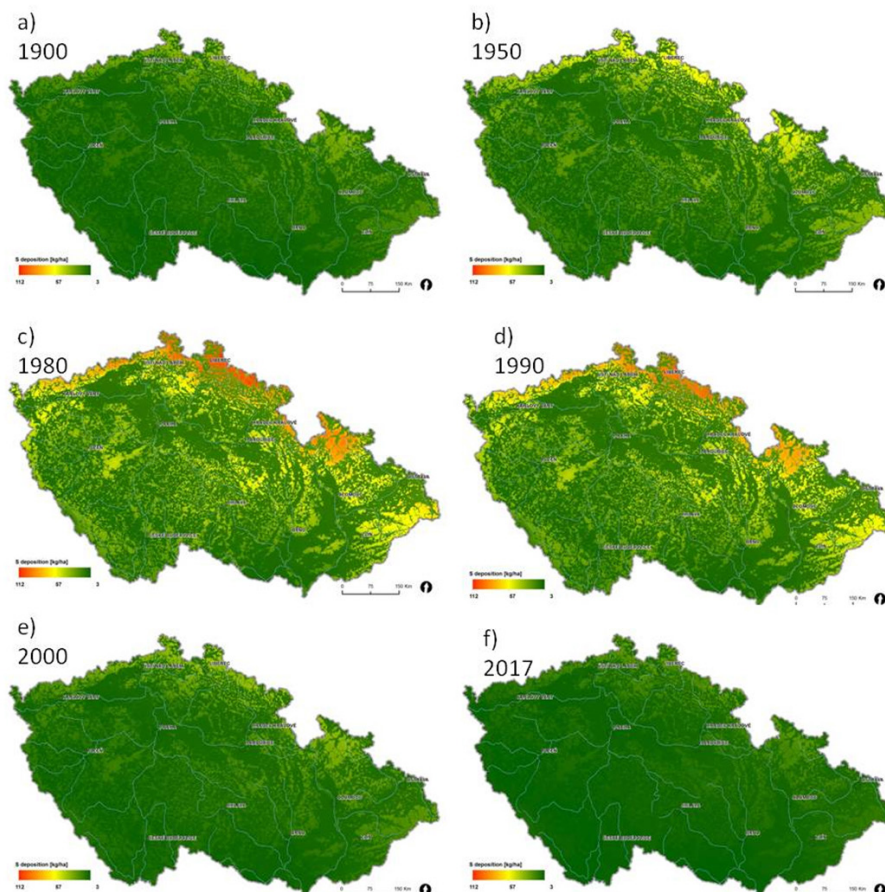
RNDr. TOMÁŠ CHUMAN, Ph.D.
V České geologické službě
a na Katedře fyzické geografie
a geokologie PŘF UK se
věnuje pedologii, krajinné
ekologii a prostorové analýze
environmentálních dat.

Okyselování půd (acidifikace) je spjata zejména s dlouhodobými účinky kyselého deště v druhé polovině 20. století. V 90. letech došlo k masivnímu poklesu emisí síry (která byla hlavním zdrojem kyselého deště ve formě kyseliny sírové), následovaném strmým poklesem depozice síry. V důsledku těchto změn došlo k postupnému zastavení okyselování půd, ale jejich výrazná regenerace je ještě otázkou dlouhých desetiletí.

KYSELÝ DĚŠŤ

Emise síry, zejména oxidu siřičitého (SO_2) a následná tvorba kyseliny sírové v atmo-

sféře byla hlavní příčinou okyselení půd ve střední Evropě. Vlastní vstup do ekosystému pak zajišťovala depozice síry, tedy přímý vstup rozpuštěných kyselin do půdy. Velikost depozice (obr. 1.) až do 90. let 20. století prakticky kopírovala těžbu hnědého uhlí – to je bohaté sírou – a dokud v 90. letech nedošlo k odsíření elektráren a dalších velkých zdrojů (např. tepláren), ale také k útlumu těžby a spotřeby, depozice byla velmi vysoká. Depozice síry na našem území stoupala z hodnot okolo 9 kg/ha/rok okolo roku 1900 (obr. 1) až po vrchol, který nastal v 80. letech minulého století, kdy



Obr. 1. Celková depozice síry na území ČR mezi lety 1990 a 2017. Model podle Oulehle et al. (2016).

v některých oblastech, hlavně severních hor, byla depozice síry okolo 100 kg/ha/rok. Po odsíření a poklesu těžby klesla výrazně depozice již okolo roku 2000 a v roce 2017 již byla průměrná depozice síry okolo 4-5 kg/ha/rok, což je dokonce polovina odhadu pro rok 1900 (obr. 1.).

MECHANISMUS ACIDIFIKACE PŮD

Kyseliny, jež se do půdy dostávají kyselým deštěm, vyplavují z půdy prvky, které jsou důležité pro udržení vyvážené hodnoty půdní kyselosti a které jsou současně nezbytnými živinami pro vegetaci. Jedná se zejména o vápník (Ca) a hořčík (Mg), menší roli hraje draslík (K) a nejmenší sodík (Na). Souhrnně je nazýváme bazické kationty. Tyto prvky jsou schopny po nějakou dobu vyrovnávat (neutralizovat) přísun kyselin z atmosféry. Při této reakci jsou ale nevratně odnášeny z půd do podzemních a povrchových vod.

Vedle množství depozice závislé na imisních poměrech a druhové skladbě a věku lesa rozhodují o stupni okyselení další faktory. Jedním z nich jsou přirozené vlastnosti půd, zejména množství bazických kationtů v půdě. Jejich hlavním zdrojem v půdách je zvětrávání podložních hornin a jejich celkové množství určuje odolnost vůči kyselé depozici. Čím víc je v půdách na výměnných místech sorpčního komplexu bazických kationtů, tím jsou půdy odolnější, protože mohou déle neutralizovat přísun kyselin z atmosféry. Nejméně odolné jsou horské půdy na kyselých horninách (žuly, křemence), které obsahují málo bazických kationtů a tyto horniny pomalu zvětrávají. Prvky v hornině jsou pevně vázány v minerálech a musí se nejprve uvolnit velmi pomalými zvětrávacími reakcemi a přejít do iontové výměnného komplexu půdy. Zejména horské půdy mají malou mocnost a díky nízkým teplotám a pomalému chemickému zvětrávání i přirozeně nízké množství bazických kationtů. To je spolu s drsným klimatem a vysokým přísunem

kyselin důvod, proč se devastující vliv kyselých dešťů projevil v horských oblastech. Lépe jsou na tom půdy nižších poloh a také půdy vzniklé na horninách bohatých na bazické kationty (například vápence a čediče) – zde je riziko okyselení mnohem menší. Acidifikované půdy jsou tedy charakteristické nízkou bazickou saturací, což je poměr ekvivalentové sumy bazických kationtů ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$) ku velikosti výměnné sorpční kapacity půd (CEC). Udává se v procentech nasycení (0% - 100%). Zbývající část CEC je obsazena výměnným hliníkem (Al^{3+}) a vodíkovými ionty (H^+). Hliník je toxický prvek, který se v horninách a půdách běžně vyskytuje, je to třetí nejrozšířenější prvek v litosféře. Pokud ale půdy nejsou okyseleny, vyskytuje se ve formě nerozpustných sloučenin, které nejsou škodlivé, protože je organismy nedokáží přijmout. Jakmile se ale půdní prostředí okyselí, hliník se velmi rychle rozpouští. Pokud kyselost klesne, rychle se opět sráží do nerozpustných sloučenin. Hliníková toxicita půd se nejčastěji projevuje žloutnutím asimilačního aparátu stromů, protože rozpuštěný hliník blokuje příjem hořčíku na kořenových membránách. Hliník také významně inhibuje činnost enzymů, které jsou produkované mikroorganismy v půdách při mineralizaci organické hmoty.

Chemismus typické okyselené půdy z acidifikované oblasti Krušných hor (obr. 2) je charakteristický relativně vysokou bazickou saturací v organických horizontech, kde se zachytávají báze z rozkladu jehličnatého opadu, a posléze velmi nízkou bazickou saturací (4-8%) minerální půdy. Také výměnná acidita (suma Al^{3+} a H^+) s hloubkou profilu klesá – to je způsobeno mimo jiné tím, že s hloubkou klesá i velikost CEC, a absolutní hodnoty výměnné acidity se také snižují. Stejně tak s hloubkou roste pH a rozpust hliníku se snižuje.

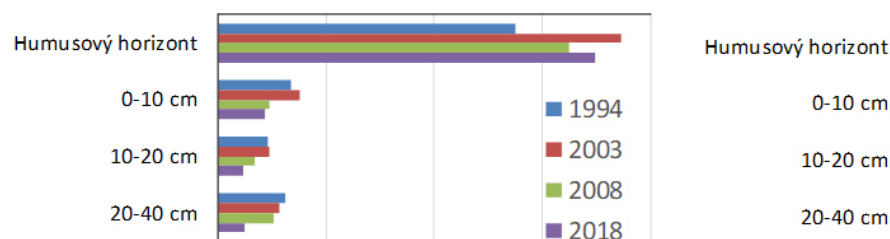
Z výzkumné plochy Načetín (obr. 2) jsou k dispozici opakované analýzy z let 1994, 2003, 2008 a 2018, které ukazují poměrně

malé změny v chemismu půd, přestože depozice síry se v tomto období snížila zhruba o 90 % a acidifikační tlak velmi klesnul. Intuitivně očekávaná regenerace se ale projevila pouze mírným vzrůstem bazické saturace humusového horizontu – z ca. 28 % v roce 1994 na 33-38 % v pozdějším období. Naopak v minerální půdě pozorujeme dokonce mírný pokles bazické saturace. Kleslo, opět ale jen ve dvou svrchních horizontech, i množství výměnného Al a protonů. Regenerace půd je tedy v tomto období poměrně omezená.

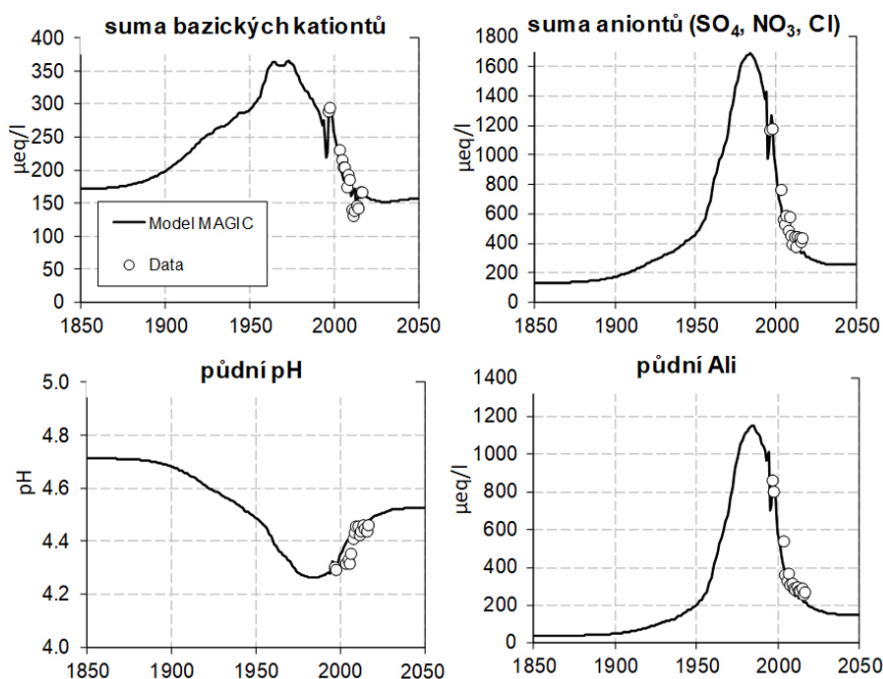
Zásoby uvolnitelných bazických kationtů v iontové-výměnném komplexu totiž vznikaly v půdách zvětráním podloží zejména v období od poslední doby ledové, v našich horských oblastech tedy asi 10 000 let. V důsledku kyselé depozice ale i změn druhové skladby původních lesních porostů na smrkové monokultury, kdy probíhá okyselování půdy rozkladem jehličnatého opadu v kombinaci se zvýšenou kyselou depozicí, byly ale zásoby bazických kationtů vyčerpány v průběhu zhruba poslední stovky let, hlavně však v posledních několika desetiletích. Celý jev je možné jen s malou nadsázkou přirovnat ke změně geologické epochy.

DLOUHODOBÉ TRENDY

Acidifikace je proces dlouhodobý a kumulativní, který se dynamicky vyvíjí. Teprve po určité době se projevují příznaky procesů, které již dlouho skrytě probíhají. Proto je vhodné zabývat se i minulostí a také predikcí budoucnosti acidifikovaných ekosystémů. Pro tento cíl se používají matematické modely simulující dlouhodobý průběh acidifikace. Protože hlavní složkou ekosystému určující jeho odolnost vůči antropogennímu okyselování jsou půdy, zahrnují tyto modely zejména půdní procesy vedoucí k acidifikaci půd a vod. Jedním ze středně komplexních modelů je MAGIC (Model of Acidification of Groundwater In Catchments - Model acidifikace podzemních vod v povodích), vyvinutý v polovině osmdesátých let v USA (Cosby et al., 1985) a od té doby úspěšně aplikován na mnoha místech světa a dále vyvíjen (Oulehle et al., 2015). Jako vstupní parametry pro model jsou použity hlavně současné vlastnosti půd a další experimentálně dosažitelné veličiny. Hlavní řídicí proměnnou celého modelu jsou údaje o časových změnách atmosférické depozice.



Obrázek 2. Vývoj půdního chemismu (bazická saturace a půdní výměnná kyselost) v jednotlivých horizontech v půdách lokality Načetín, Krušné hory, od roku 1994 do roku 2018 (Hruška et al. 2018).



Obrázek 3. Vývoj půdního chemismu v profilu 0-40 cm na lokalitě Načetín. Odhady modelem MAGIC pro období 1850-2050 a měřená data z let 1997-2018 (Hruška et al. 2018).

Vývoj chemismu půdních vod z hloubky 30 cm a současně modelové výpočty pro Načetín v Krušných horách (obr. 3) jsou opět zcela typické pro acidifikované lokality střední Evropy. S nárůstem depozice síry docházelo k nárůstu koncentrací síranů (SO_4) v půdní vodě. Měřená data jsou roční průměry z let 1997-2018, a zachycují již jen fázi poklesu kyselé depozice, která vrcholila v 80. letech minulého století. Síraný jsou dominantní aniont, ale působí acidifikaci půd v součtu i s chloridy (původ v mořském aerosolu, ale také ve spalování uhlí) a dusičnany (NO_3). Ty mají také původ v atmosférické depozici. Do roku 2050 očekáváme již jen malý pokles oproti současnému stavu, protože dnes již velmi nízká depozice síry se do budoucna nebude snižovat. Zvyšování koncentrací síranů v půdním roztoku zvyšovalo vyplavování bazických kationtů (Ca, Mg, K, Na) z iontově výměnných míst půdního komplexu. Protože tento komplex byl v průběhu acidifikace značně vyčerpán, a byla tak snížena významně bazická saturace půdy (obr. 4). Proto při poklesu koncentrací síranů klesly velmi rychle bazické kationty dokonce pod hodnotu, která byla modelována pro období před nástupem acidifikace (ca. do roku 1900). Vyplavování bazických kationtů dosáhlo vrcholu v polovině 80. let, kdy se snižuje i půdní pH na nejnižší hodnoty (pH \approx 4.3). Iontová rovnováha mezi kationty

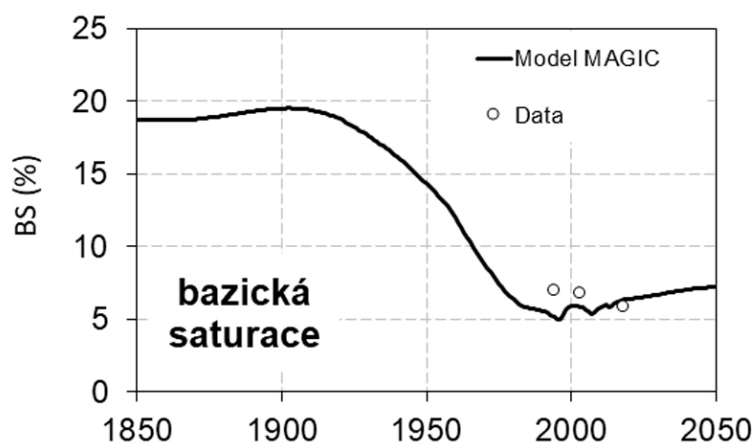
a anionty je v průběhu acidifikace kompenzována zvýšenou koncentrací protonů (snižování pH) a rozpouštěním iontového hliníku (obr. 3), a zvyšuje toxicitu půdního prostředí pro kořenový systém stromů, půdní mikroorganismy a houby. Protože zásoba bazických kationtů, která v půdách zvětrávala za posledních ca. 10 tisíc let byla rychle vyplavena v období zhruba po druhé světové válce, a aktuální zvětrávání podloží není schopno iontově-výměnný komplex rychle doplnit, budou minerální půdy v Krušných horách ještě velmi dlouho acidifikovány. Půdní pH díky chybějícím bázím nedosáhne preindustriální hodnoty (obr. 3), a proto se v půdním roztoku udrží

i vyšší koncentrace hliníku.

Modelovaná bazická saturace (obr. 4) postupně klesala z modelované preindustriální hodnoty ca 19% na současných 6%, přičemž regenerace bazické saturace je do roku 2050 predikována pouze velmi malá (na 7%). Tuto skutečnost ale potvrzují i měřené údaje - bazická saturace mezi lety 1994 a 2018 nevzrostla, dokonce mírně poklesla. To je zapříčiněno zejména nízkou zvětrávací schopností půd, stále pořád poměrně vysokým odnosem bazických kationtů kyselými anionty a částečně i zabudováním bazických živin v lesní biomase. Nezanedbatelný je i pokles atmosférické depozice bazických kationtů.

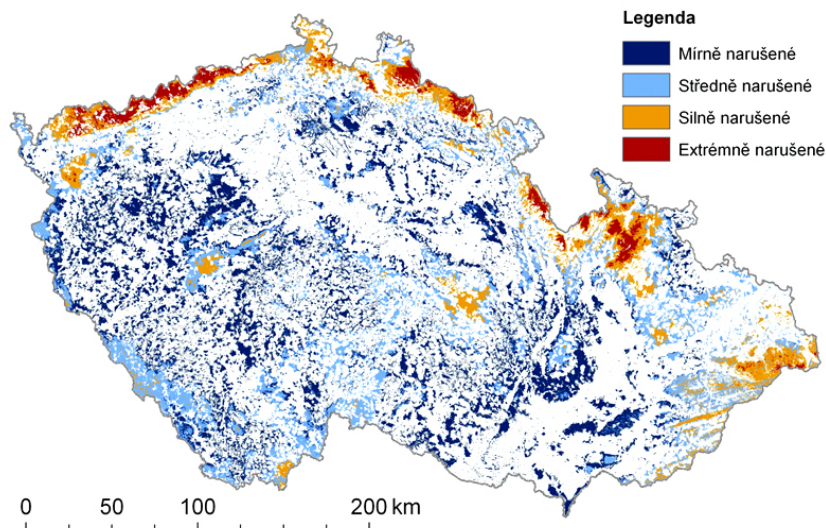
Tento jev by se zdál být v rozporu s poznáním, že bazická saturace svrchní organické vrstvy půdy se po poklesu depozice okyselujících sloučenin zvýšila (obr. 2). Na druhou stranu ale saturace minerální půdy se ve stejném období snížila. Důvodem je již zmiňovaný pokles depozice bazických kationtů a pokračující, byť značně snížený, tlak síranů (obr. 3) na vymývání bází z iontově výměnného komplexu minerálních půd. Ve výsledku se pak průměrná bazická saturace půdy v profilu do hloubky 40 cm prakticky nemění.

Vývoj půdního chemismu se rozpojil - organická vrstva (kde je hlavní kořenová zóna smrkových porostů) částečně zregenerovala, zatímco minerální horizonty pod 20 cm hloubky profilu se dokonce dále mírně okyselily. Podobné výsledky byly naměřeny nejen v Krušných horách, ale i v jiných acidifikovaných oblastech ČR, například ve Slavkovském lese (Hruška et al. 2002) či Jizerských horách (Hruška et al. 2018).



Obrázek 4. Vývoj bazické saturace v profilu 0-40 cm na lokalitě Načetín v Krušných horách mezi lety 1850-2050. Bílá kolečka jsou měřené hodnoty v letech 1994, 2003 a 2018 (Hruška et al. 2018).

Rajonizace ohrožení lesních půd acidifikací a nutriční degradací



Obr. 5. Mapa rajonizace ohrožení lesních půd acidifikací a nutriční degradací (© Česká geologická služba a IFER)

RAJONIZACE OHROŽENÍ PŮD ACIDIFIKACÍ

Náchylnost lesních ekosystémů k zrychlené acidifikaci je ovlivněna řadou faktorů. Za nejdůležitější, jak již bylo popsáno, lze považovat:

1. množství atmosférické depozice okyselujících látek
2. klimatické podmínky
3. půdní/litologické podmínky
4. vlastnosti lesního porostu

Všechny tyto parametry, změřené na konkrétní lokalitě, jako v případě krušnohorské plochy Načetín, lze zpracovat biogeochemickými modely, a udělat poměrně robustní predikci budoucího vývoje. Takto ale nelze zpracovat území celé ČR, protože příslušná měření jsou k dispozici pouze bodově. Proto jsme uplatnili pro vymezení oblastí různě poškozených acidifikací metodu multikriteriální analýzy, do které vstoupily parametry dostupné pro celou ČR – jednalo se o mapy atmosférické depozice síry a du-

síku, teplotní a srážkové mapy, geologickou mapu lesnicko-typologickou mapu.

Výsledkem je mapa acidifikace a nutriční degradace lesních půd (obr. 5), kde jsou identifikovány čtyři stupně ohrožení. Nejohroženější (klasifikovány jako extrémně narušené) jsou půdy v oblastech s historicky vysokou atmosférickou depozicí síry (S) a dusíku (N) v horských oblastech na přirozeně kyselých horninách. Jedná se zejména o oblast severních sudetských pohoří. Prakticky ve všech těchto oblastech došlo od 60. do 90. let 20. století k úhynu, či značnému poškození smrkových lesů. A půdní acidifikace v jejich chřadnutí sehrála velkou roli. Do této oblasti patří i krušnohorský Načetín. Silně narušené oblasti se nacházejí i v Beskydech, vrcholcích Žďárských vrchů, Brd a Slavkovského lesa. Malé oblasti se nacházejí i ve vrcholových partiích Šumavy. Na druhou stranu většina ČR je klasifikována jako acidifikací relativně málo zasažena. Je to zejmé-

na díky poměrně vysokému zvětrávání půd a hornin, které bylo vždy schopno relativně dobře pufovat kyselé vstupy z atmosféry.

SHRNUTÍ

Díky masivnímu snížení emisí síry a dusíku po roce 1989 došlo k poklesu kyselé atmosférické depozice a na přelomu tisíciletí k zastavení okyselování lesních půd a k jejich částečné regeneraci. Na příkladu z lesní výzkumné plochy Načetín v Krušných horách je doloženo, že se stav půd zlepšil v organických půdních horizontech, kde došlo přirozeně ke zvýšení nasycení sorpčního komplexu bazickými kationty, poklesly koncentrace toxického hliníku a zvýšilo se pH půdních roztoků. Regenerace minerálních půdních horizontů ale dosud nenastala, dokonce došlo k dalšímu poklesu bazické saturace.

Minerální půdy v nejpostiženějších horských oblastech tak nadále zůstanou acidifikované, a to nejméně v horizontu příštích několika dekád.

Vzhledem ke zlepšení chemismu organickým horizontů, kde je lokalizována většina kořenových systémů smrkových porostů, dnes okyselení půd nepředstavuje zásadní riziko pro zdravotní stav lesa. Současně ale není zřejmé, zda v budoucnosti se toto riziko opět neobjeví, a to zejména v souvislosti s odnímáním bazických kationtů intenzivním pěstováním lesů bez adekvátního ponechání části potěžeby zbytků či přímo cíleně části dendromasy k zetlení a regeneraci půd.

LITERATURA:

- Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Galloway, J.N., Wright, R.F., 1985. Time scales of catchment acidification: a quantitative model for estimating freshwater acidification. *Environ. Sci. Technol.* 19, 1144–1149.
- Hruška, J., Moldan, F., Krám, P., 2002. Recovery from acidification in central Europe – observed and predicted changes of soil and streamwater chemistry in the Lysina catchment, Czech Republic. *Environmental Pollution* 120, 261–274
- Hruška, J., Oulehle, F., Krám, P., Skořepová, I. 2009. Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy. 2. Vliv depozic síry a dusíku na půdy a lesy. *Živa* 3/2009, 141–144.
- Hruška, J., Oulehle, F., Navrátil, T., Kolář, T., 2018. Výzkum vlivu emisí SO₂ a NO_x na růst smrku. Zpráva, Ústav výzkumu globální změny. AV ČR, 45 stran.
- Oulehle, F., Cosby, B.J., Austnes, K., Evans, C.D., Hruška, J., Kopáček, J., Moldan, F., Wright, R.F., 2015. Modelling inorganic nitrogen in runoff: Seasonal dynamics at four European catchments as simulated by the MAGIC model. *Sci. Total Environ.* 536, 1019–1028. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.047>
- Oulehle, F., Kopáček, J., Chuman, T., Černoňous, V., Hůnová, I., Hruška, J., Krám, P., Lachmanová, Z., Navrátil, T., Štěpánek, P., Tesař, M., Evans, C.D., 2016. Predicting sulphur and nitrogen deposition using a simple statistical method. *Atmos. Environ.* 140, 456–468. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.028>

PŘEMNOŽENÍ HRABOŠE POLNÍHO V SOUVISLOSTECH

JAKUB BERÁNEK

V LOŇSKÉM ROCE DOŠLO NA ÚZEMÍ ČR K PŘEMNOŽENÍ HRABOŠE POLNÍHO, COŽ V NĚKTERÝCH OBLASTECH, PŘEDEVŠÍM STŘEDNÍ A JIŽNÍ MORAVY, BYLO PŘÍČINOU ZNAČNÝCH HOSPODÁŘSKÝCH ŠKOD. TENTO MIMOŘÁDNÝ STAV BYL PŘÍČINOU VYDÁNÍ MIMOŘÁDNÉHO POVOLENÍ PRO OMEZENÉ A KONTROLOVANÉ POUŽITÍ PŘÍPRAVKU STUTOX II ROZHOZEM NA POVRCH PŮDY, COŽ VYVOLALO U ODBORNÍKŮ I VEŘEJNOSTI ŘADU EMOCÍ. VZHLEDEM K TOMU, ŽE V MÉDIÍCH I NA SOCIÁLNÍCH SÍTÍCH KOLOVALO ZNAČNÉ MNOŽSTVÍ NEOVĚŘENÝCH INFORMACÍ, JE SNAHOU TOHOTO PŘÍSPĚVKU UVÉST CELOU SITUACI VE SVĚTLE ŠIRŠÍCH SOUVISLOSTÍ...

Ing. JAKUB BERÁNEK, PhD.
Na Lesnické a dřevařské fakultě Mendelovy univerzity v Brně přednáší problematiku škůdců okrasných a lesních dřevin. Od roku 2005 působil na Státní rostlinolékařské správě, po jejím sloučení na Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském, kde od roku 2015 zastává funkci ředitele Odboru zdraví rostlin. Zakladatel rostlinolékařského portálu a spoluautor řady fotografických atlasů. Jeho koníčkem je makrofotografie hmyzu.

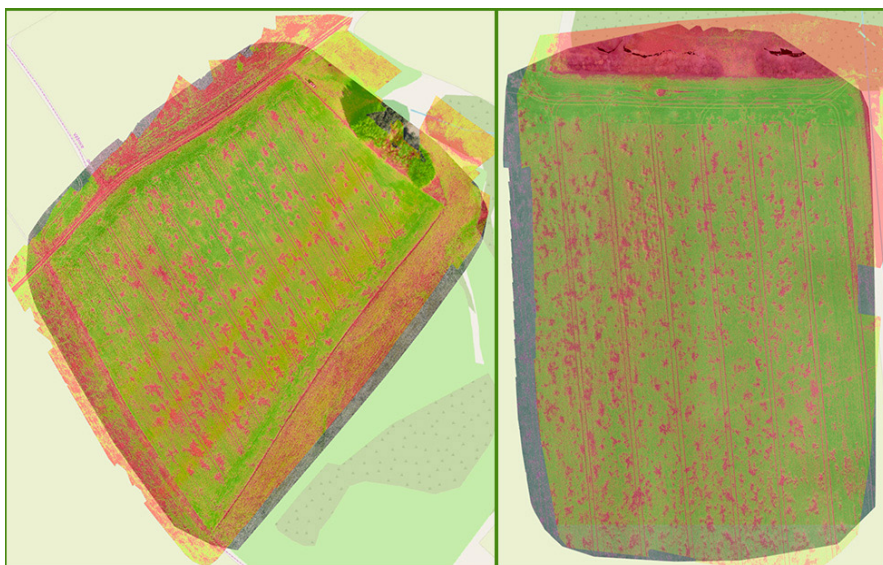
PROČ JE HRABOŠ TAK OBÁVANÝ ŠKŮDCE V ZEMĚDĚLSTVÍ?

Hraboš polní (obr. 1) patří mezi drobné hlodavce s čeledi myšovitých (Muridae), kteří se začali diverzifikovat na přelomu Miocénu a Pliocénu. Tato skupina živočichů je tedy relativně mladá a ještě stále zvyšuje svoji genetickou diverzitu. Řada hlodavců je mimořádně plodná a také hraboš se, podobně jako např. lumíci, vyznačuje extrémní rozmnožovací schopností a rychlým pohlavním dospíváním. Samička hraboše je schopná vyvést mláďata 2–4krát, v příznivých letech však i 7–8krát ročně, přičemž v 1 vrhu bývá 5–6, ale může být až 14 mláďat. Jediný pár se je tedy schopen

během jedné sezóny namnožit i na několik tisíc jedinců. Přihlédneme-li k dalším faktorům, kterými jsou velmi brzká pohlavní dospělost, jež může být u samic zrozených na jaře už ve věku 2 týdnů a krátká doba březosti, která se pohybuje pouze okolo 20 dní, je zřejmé, že hraboš má opravdu ohromný reprodukční potenciál. Dalšími biologickými faktory, které významně podporují škodlivost hraboše, jsou jeho rychlý metabolismus s nutností každé 2–3 hodiny přijímat potravu, jeho celoroční aktivita (na zimní období si vytváří zásoby potravy) a jeho sdružování do, někdy i velmi rozsáhlých, kolonií, což z něho dělá významného kalamitního škůdce, který může



Obr. 1 Mladý jedinec v ústí nory. Foto Jakub Beránek



Obr 2: Kombinované snímky porostů poškozených hrabošem (červeně) zachycené pomocí dronu v průběhu března 2020; zdroj: *Check.Land, s.r.o.*

v průběhu své gradace způsobit značné ekonomické ztráty v řádu i několika miliard korun. I když toho o hraboši víme relativně mnoho, působení jednotlivých faktorů, které ovlivňují jeho populační cyklus, není stále jednoznačně a uspokojivě vysvětleno. Převládající periodou jeho populačního cyklu bývají 3 roky, přičemž může gradovat ještě v období dvou následných let.

Hraboš polní tak patří mezi škůdce, který je schopen se v relativně krátkých intervalech opakovaně namnožit a díky svému reprodukčnímu potenciálu dosáhnout, z téměř nulových hodnot, relativně rychle 100 až 1000násobného zvýšení své početnosti, čímž je schopen zásadně narušit ekosystémové vazby na dané lokalitě. Bohužel v současné době není k dispozici žádný algoritmus, na jehož základě by bylo možné sestavit na gradace hraboše předpovědní model. S ohledem na heterogenitu české krajiny a míru synchronnosti populací je populační dynamika hraboše polního v prostoru a čase velmi různá a není možné s jistotou tvrdit, kde a v jaké míře jeho kalamita vypukne či naopak odezní.

MŮŽE ZA PŘEMNOŽOVÁNÍ HRABOŠE ZPŮSOB OBHOSPODAŘOVÁNÍ KRAJINY?

Řada lidí je toho názoru, že kdybychom lépe obhospodařovali naši krajinu, hraboší kalamita by nenastala. Je snadné kritizovat způsob obhospodařování zemědělských pozemků a myslet si, že po 40 letech kolektivizace se dá vše snadno do pořádku. Přestože se ještě stále na našich polích

vyrovňáváme s minulostí, současný způsob hospodaření nemá na průběh gradace hraboše polního velký význam. Dokladem jsou jednak historické údaje o hraboších kalamitách na našem území, zaznamenané např. již v roce 1893, a jednak velmi obdobná současná situace v Německu, Rakousku, Švýcarsku či jinde, kde je k půdě odlišný vztah, jednotlivá pole jsou zcela jiných rozměrů a krajina mnohem rozmanitější.

BYLA NUTNÁ APLIKACE RODENTICIDU?

Kolem této otázky již byla k dispozici řada polemik. Předně je důležité si vyjasnit, co je cílem aplikace rodenticidu v zemědělské krajině. V tomto případě není smyslem vyhubení škůdce, jako je tomu v případě biocidů pro komunální hygienu, nýbrž snížení jeho početnosti, resp. snížení hospodářských škod. Je sice pravda, že příroda má vlastní přirozené mechanismy na snížení početnosti druhu, což v případě hraboše znamená, že pokud jeho populační hustota dosáhne množství kolem 3 000 jedinců na hektar, dojde k tzv. přirozenému propadu populace s konečnou hustotou třeba i jednoho jedince na 2–3 hektary. Jedná se o základní vnitřní mechanismus otevřeného systému, který udržuje jeho dynamickou rovnováhu zajišťující tlumení vzniklé odchylky, kterou v tomto případě představují přemnožení hraboši, a obnovu jeho původního stavu.

Z uvedeného by se mohlo zdát, že by tedy stačilo jen počkat na přirozenou ekosystémovou reakci. Nutno si však uvědomit,

že příroda má jednak zcela jiná časová měřítka než člověk a že díky probíhajícím klimatickým změnám, které způsobily sérii mírných, pro hraboše velmi příznivých zim, není v současné době snadné konec jeho gradace odhadnout (viz obr. 4). Čekání na přirozený proces, což nakonec potvrdil i rok 2019, vede v tomto případě k miliardovým hospodářským ztrátám (viz obr. 2). Nutno podotknout, že ohrožena není pouze výroba rostlinná, ale v případě nedostatku píce i živočišná.

Přemnožení hraboše a situace zemědělců s tím spojená by se dala přirovnat požáru rodinného domu. Asi nikomu z nás by se nelíbilo stát bezmocně před svým domem, poslouchat ode všech, že až oheň všechno stráví, tak nakonec uhasne, a čekat až požár skončí. Každý z nás by se logicky snažil dům zachránit. Nehledě na to, že přemnožení hraboši se, stejně jako požár, šíří do okolí, kde obsazují okolní volné niky a způsobují další citelné škody. Je tu však ještě jedna zajímavá paralela mezi přemnožením hraboše a požárem, tou je načasování záchrany ohroženého majetku. Čím dříve začneme hasit, tím zvyšujeme předpoklad, že zachráníme větší část, respektive hodnotu domu. Podobně je to s aplikací přípravku na ochranu rostlin. Její provedení má pro zemědělce smysl jen do určitého okamžiku. Jakmile se totiž hraboš „rozhoří“, účinnost aplikace rodenticidu je o poznání nižší.

PROČ BYLA UMOŽNĚNA APLIKACE RODENTICIDU ROZHOZEM NA POVRCH PŮDY?

Přestože by se dala tato otázka zodpovědět velice jednoduše, je nezbytné upozornit, že má několik rovin, které všechny byly pečlivě zohledňovány. Rozsah přemnožení hraboše na našem území dosáhl mimořádného stavu v ochraně rostlin a mimořádné situace si vyžadují mimořádná řešení. V takovýchto extrémních případech, kdy je na pozemcích několik tisíc aktivních výchoďů z nor na jeden hektar, přičemž mohou být zasaženy desítky až stovky hektarů, by aplikace rodenticidu do nor byla logisticky nezvládnutelná, neboť by trvala týdny až měsíce a nedosáhla by žádaného efektu.

Právě s ohledem na tuto skutečnost, že se hraboš dokáže extrémně namnožit (viz obr. 3 a 4), byl přípravek Stutox cíleně vyvinut pro aplikaci na povrch půdy. Jeho základními vlastnostmi jsou, na rozdíl

od antikoagulantů, rychlý účinek v řádu několika hodin a jeho rychlá degradace. Jeho granule záměrně zapáchají po obilovinách, aby lákaly hlodavce, a při rozkladu po štiplavém česneku pro odpuzení jiných živočichů. Během vývoje tohoto přípravku byla rovněž testována barva granulí, aby nelákala pernatou zvěř, přidány přísady, způsobující nechutenství či vyvrhnutí kontaminované potravy, což vylučuje dlouhodobější požívání granulí a maximálně snižuje dopad na necílové živočichy. Působení tohoto přípravku bylo tedy testováno a jeho bezpečné použití dlouhodobě vyzkoušeno. V České republice byl přípravek Stutox, a to dokonce ve dvojnásobné dávce jako Stutox I, povolen aplikovat rozhozem v letech 1994–2015. V tomto období byly sice hlášeny ojedinělé úhyny necílových obratlovců, avšak spojitost s aplikací Stutoxu nebyla jednoznačně prokázána. Otravy v minulých letech byly v naprosté většině způsobeny antikoagulanty, které omezují srážlivost krve a jedinec tak uhynie na vnitřní vykrvácení. Riziko těchto přípravků pro necílové obratlovce se považuje za výrazně vyšší než u fosfidu zinku, tedy u přípravku Stutox I/II, a z toho důvodu již není tento typ přípravků na ochranu rostlin povolován ani v mimořádných situacích.

JE APLIKACE PŘÍPRAVKŮ NA BÁZI FOSFIDU ZINKU ROZHOZEM OPRAVDU TAK NEBEZPEČNÁ?

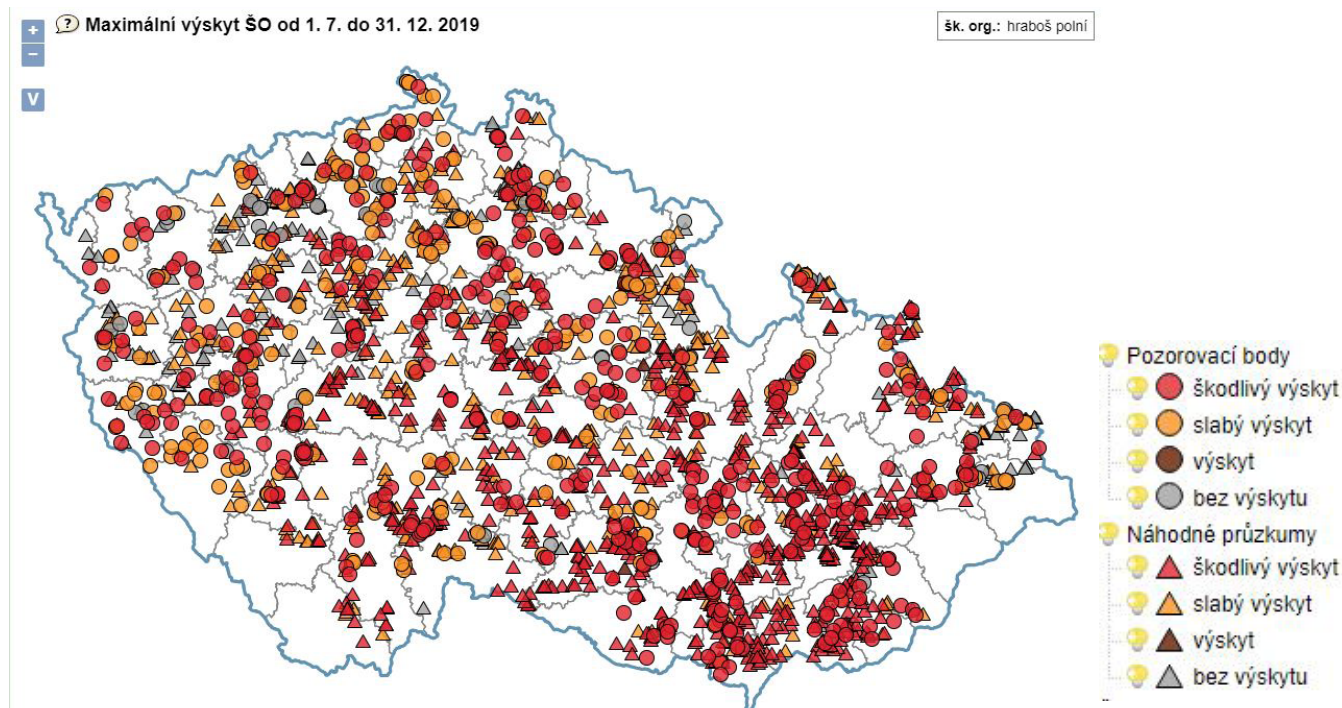
Tvrdit, že při aplikaci fosfidu zinku rozhozem na povrch půdy neexistuje žádné vedlejší riziko, by byla hloupost. Riziko existuje vždy, je však podmíněno selháním lidského faktoru. V tomto případě se nabízí srovnání s řízením automobilu. Kdyby si každý jezdil, jak se mu zlíbí, pravděpodobně by bylo užívání automobilů společensky nepřijatelné. Proto jsou nastavena jasně definovaná pravidla (omezená rychlost, bezpečnostní pásy, nepožívání alkoholu, dopravní značení apod.), při jejichž dodržování je automobilová doprava přijatelná, resp. vůbec možná. To samé platí při aplikaci jakéhokoliv přípravku na ochranu rostlin. V tomto případě však zákon 361/2000 Sb., o silničním provozu nahrazují podmínky platného povolení, resp. údaje na etiketě přípravku, které je každý uživatel povinen dodržovat.

V případě mimořádných povolení přípravků na ochranu rostlin jsou pro jejich aplikaci samozřejmě nastavována i mimořádná závazná pravidla, jak tomu bylo i v případě mimořádných povolení pro omezené a kontrolované použití přípravků na bázi fosfidu zinku. Vedle tohoto procesního pohledu je tu ještě samotný mechanismus fungování rodenticidů na bázi fosfidu zinku, resp.

Stutoxu II, jehož aplikace byla mimořádně povolena rovnoměrným rozhozem na povrch půdy pomocí rozmetadla.

Stutox II obsahuje 2,5 % fosfidu zinečnatého (Zn_3P_2), což znamená, že 4 granule obsahují 5 mg této látky. Množství účinné látky v jedné granuli, které je oproti Stutoxu I, který bylo možné aplikovat rozhozem do roku 2015, poloviční, stačí k usmrcení jednoho hraboše, resp. jedince do hmotnosti 30 g. Po pozření granule vznikne v kyselém prostředí žaludku vysoce toxický plyn fosfan, který způsobí úhyn hraboše do 3–5 hodin.

Ve srovnání s antikoagulanty, kdy je průběh otravy pozvolný a nastupuje až po několika dnech, je v tomto případě riziko pozření predátorem a vzniku sekundárních otrav významně nižší. Dalším důležitým faktorem je skutečnost, že již po dvou dnech by tělo otráveného hraboše nemělo být zdrojem sekundární otravy, neboť z něho většina účinné látky, tj. plynný fosfan, vytéká či se odbourá. Riziko sekundárních otrav je dále eliminováno i faktem, že predátoři při požívání mršin zpravidla nekonzumují trávící ústrojí (požívají pouze hlavu a horní část hrudníku), díky čemuž se nedostanou do kontaktu s nejvíce kontaminovanou částí uhynulých hrabošů, která je z hlediska otravy nejrizikovější. To však neplatí u některých ptáků, jako jsou sovy, čápi nebo



Obr. 3: Mapa škodlivého výskytu hraboše polního (červeně) v období 1. 7.-31. 12. 2019; zdroj: Rostlinolékařský portál ÚKZÚZ

volavky, kteří hraboše polykají celé, a představují tak nejrizikovější skupinu necílových živočichů. Pro eliminaci primárních otrav pak slouží některé povinné zásady, podmínky aplikace, jako je povinnost aplikovat rodenticid do vzešlého porostu a jen do té doby, dokud rostlinný pokryv umožňuje propad granulí až na povrch půdy. Tato opatření vychází ze skutečnosti, že zvěř požírá přednostně zelenou hmotu rostlin, než aby hledala malé granule rodenticidu. Dalším důležitým prvkem, který rovněž omezuje možnost náhodných otrav jinými živočichy, je krátká životnost vlastní granule. Pokud ji totiž hraboš nesežere, již díky malé vlhkosti, jakou představuje večerní či ranní rosa, dochází do dvou dnů k jejímu rozpadu na zbytky, které již nepředstavují žádné další nebezpečí. Fosfid zinku se v půdě vlhkem zcela rozloží na malé množství fosfanu, který se uvolní do atmosféry a rychle se rozloží na netoxické látky, a na zinek, který se naváže na půdní soli a stane se tak přirozenou součástí ekosystému. Přípravky na bázi fosfidů tak nepředstavují žádné další nebezpečí pro půdu, vodu ani pěstované rostliny.

JE-LI FOSFID ZINKU TAK BEZPEČNÝ, PROČ UHYNULI V ROCE 2019 ZAJÍCI A ČÁPI?

V roce 2019 uveřejnila média případy několika desítek uhynulých zajíců a dvou čápů a je pravda, že v obou případech byla v některých tělech zvířat zjištěna rezidua fosfanu, avšak nebylo již prokázáno, zda byl úhyn skutečně důsledkem otravy nebo ze zcela jiných příčin. U zajíců by v případě

intoxikace připadala v úvahu pouze otrava primární, což by pro tříkilogramového zajíce znamenalo přímou konzumaci asi 30 granulí. Mimořádně povolená dávka přitom představuje rovnoměrný rozhoz, aby se netvořily na pozemcích hromádky, v množství maximálně 5 granulí na metr čtvereční plochy.

Je velmi nepravděpodobné, že by byl zajíc schopen po správně provedené aplikaci rozhozem sbírat granule přímo z povrchu. Při představě, co vše by muselo nastat, aby k takové situaci došlo, se jednoznačně nabízí selhání lidského faktoru. Je velmi zajímavé, že k úhynu tak velkého množství zajíců došlo pouhý týden po vydání mimořádného povolení pro omezené a kontrolované použití přípravku Stutox II rozhozem na povrch, když do roku 2015 nebyla hlášena jediná otrava v souvislosti s ošetřováním zemědělských ploch, a to se tehdy přípravek aplikoval s dvojnásobným množstvím účinné látky. Podivuhodnost této kauzy podtrhává i fakt, že navzdory řady aplikací Stutoxu II rozhozem, které se uskutečnily v letošním roce, byla přítomnost fosfidu zinku prokázána pouze ve 2 případech - 1 bažant a 1 káně.

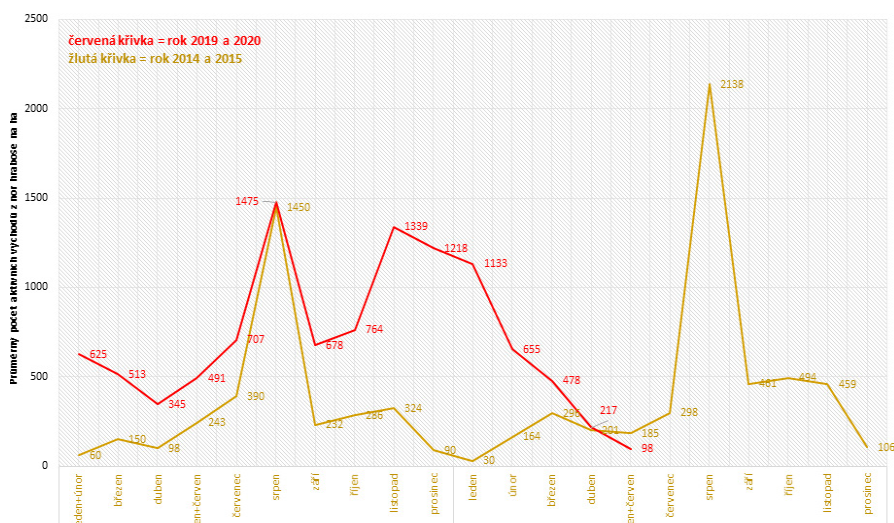
Připustíme-li, že v případě zajíců opravdu došlo k lidskému selhání, zůstává otázka, zda k tomuto selhání došlo opravdu na poli. V případě čápů se naopak jednalo o kontaminaci sekundární, tj. nejspíše po pozření hrabošů. Představíme-li si opět kolik uhynulých a v tu chvíli ještě „jedovatých“ hrabošů by musel pozřít čáp, jehož hmotnost se pohybuje kolem 2,5–4,5 kilogramu, je tato situace ještě nepochopi-

telnější. Přestože v obou případech byla v tělech některých uhynulých zvířat prokázána přítomnost fosfanu, jsou závěry, že primární příčinou byla aplikace rodenticidu, unáhlené. Zmiňované úhyny je složité vyhodnotit, musí se zohlednit i celková kondice a zdravotní stav zvířat, případně další podmínky prostředí, neboť v přírodě dochází k úhynům z mnoha dalších příčin.

ZÁVĚR

Průběh současné hraboší kalamity by měl každopádně být pro nás všechny poučným. Nejen pro zemědělce nebo ochránce přírody, ale pro celou společnost. Hraboš je přirozenou součástí naší krajiny a jeho přemnožení se budou v budoucnu opakovat, jak již tomu koneckonců je od dob Marie Terezie. Cílem tohoto příspěvku nebylo hájit zemědělce či bagatelizovat obavy ochránců přírody, neboť při používání pesticidů vždy existují určitá rizika. Cílem ani nebylo nikoho přesvědčit, že je správné aplikovat rodenticidy na povrch půdy, ale spíše ukázat celý problém v mnohem širších souvislostech. Pokud necháme zemědělskou produkci napospas chorobám a škůdcům, mohlo by v extrémních případech, jako je přemnožení hraboše, dojít k ohrožení zdrojů primárních surovin pro výrobu potravin. Veřejnost dala jasně najevo svůj názor, avšak má opravdu riziko úhynu několika necílových živočichů mnoha miliardovou hodnotu?

Svět je dnes dokonale propojen a prožíváme období blahobytu, avšak neměli bychom zapomenout, že jedním z důležitých strategických prvků státu je i potravinová soběstačnost a že dovoz potravin ze zahraničí nemusí být vždy takovou samozřejmostí. Letošní jaro jasně ukázalo, že není třeba válečného stavu k uzavření hranic. Stačí nenápadný mikroorganismus a celý systém je dokonale narušen...



Srovnání průběhu populační dynamiky hraboše polního v letech 2019/2020 (škody kolem 2 mld Kč) s roky 2014/2015 (minimální hospodářské ztráty).

RHIZOSFÉRA – PROSTOR PROPOJUJÍCÍ NADZEMNÍ A PODZEMNÍ ČÁST EKOSYSTÉMU

EVA KAŠTOVSKÁ

doc. Mgr. EVA KAŠTOVSKÁ, PhD.

Zabývá se půdními procesy - především interakcemi mezi rostlinami a půdními mikroorganismy a mikrobiální procesy zodpovědnými za dekompozici rostlinných vstupů, přeměny a mineralizaci uhlíku a dusíku a tvorbu půdní organické hmoty. Vedle výzkumu se věnuje také výuce a vedení studentů na Přírodovědecké fakultě JU.

VÝZNAM PŮDY

Půda je základem suchozemských ekosystémů. Je unikátním živým systémem, který nejsme schopni žádnou pokročilou technologií vyrobit, ani zcela nahradit jeho fungování a služby, které poskytuje. Půda byla historicky ceněna hlavně kvůli své produkční funkci. Kvůli půdě vedli lidé války. Připravit nepřítele o půdu znamenalo připravit ho o obživu. Ztráta úrodnosti půdy vedla k úpadku vyspělých civilizací. Kromě toho půda poskytuje mnoho dalších služeb, které doceňujeme až dnes. Dlouhodobě poutá obrovské množství uhlíku a živin ve formě půdní organické hmoty. Díky ní je schopná zadržet velké množství vody a má rovněž významné čistící schopnosti. Je životním prostředím nespočtu druhů půdních organismů i zdrojem mikroorganismů, ze kterých lze potenciálně získat nové biologicky aktivní látky. Zároveň je i prostředím uchovávajícím naše biologické a kulturní dědictví.

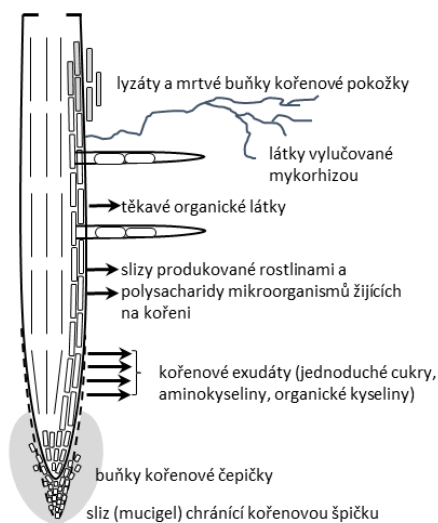
PŮDA JAKO ZDROJ ŽIVIN PRO ROSTLINY

Půda umožňuje růst rostlin. Už děti na základních školách se učí, že rostlina se pomocí svých kořenů „ukotví“ v půdě a čerpá odsud vodu a v ní rozpuštěné živiny. Pokud pomineme ornou půdu, kterou jsme v podstatě degradovali na pouhý pasivní substrát, do kterého zasejeme, ale zároveň dodáme potřebné živiny ve formě minerálních hnojiv, tak to tak zcela jednoduché není. Půdy přirozených či polopřirozených systémů, kam činnost člověka významně nezasahuje, jsou na dusík a fosfor poměrně chudé. Naprostá většina živin je navíc vázána v komplexních organických látkách, jejichž hlavním zdrojem je materiál rostlinného původu. Rostliny ale nedokážou živiny ve složitých organických formách využít. Pomocí kořenů dokážou přijímat jen minerální formy dusíku – dusičnanové a amonné ionty, pří-

padně jednoduché aminokyseliny. V tomto ohledu jsou odkázané na aktivitu celé řady půdních organismů, především pak půdních mikroorganismů (hub a bakterií). Ty jako jediné dokážou štěpit vysokomolekulární organické látky pomocí extracelulárních enzymů na jednoduché sloučeniny a nakonec z nich uvolní živiny ve formách dostupných pro rostliny.

ROSTLINA PODPORUJE AKTIVITU PŮDNÍCH MIKROORGANISMŮ VYLUČOVÁNÍM ORGANICKÝCH LÁTEK

Vztah rostlin a půdních mikroorganismů je oboustranný. Rostliny potřebují živiny v jednoduchých rozpustných formách, které jsou v půdě vzácné. Za jejich zajištění „platí“ půdním mikroorganismům organickým materiálem, ze kterého potřebují tyto živiny získat, a který je zároveň pro mikroorganismy zásadní potravou. Tento vztah funguje nejtěsněji ve vegetační sezóně, kdy rostliny aktivně rostou a pro budování své biomasy potřebují velký přísun živin. Jsou tedy závislé na neustálé a intenzivní spolupráci půdních mikroorganismů. Platidlem, kterým stimuluje mikrobiální aktivitu, ale není opad-viditelný rostlinný vstup do půdy tak, jak si lidé tradičně představují. Rostlinná biomasa, která z velké části skončí po sezóně jako opad, se vlastně teprve tvoří. Loňský opad je naopak již zčásti rozložen, zbaven jednoduchých a z pohledu mikroorganismů těch nejlákavějších látek. Jeho hůře rozložitelné zbytky (především lignocelulózové komplexy) již obsahem energie ani dusíků nepostačují mikroorganismům k náročné syntéze extracelulárních rozkladných enzymů. Ve vegetační sezóně vše probíhá skrytě, přímo v půdě, a organická hmota produkovaná v tu dobu rostlinou na podporu mikrobiální aktivity je pouhým okem neviditelná. Jakmile se rostlina na počátku vegetační



Obr. 1. Různé typy organických sloučenin, které vylučuje živý kořen do půdy během vegetační sezóny, se souhrnně nazývají rhizodepozice. Patří sem celá škála látek od jednoduchých, nízkomolekulárních látek nazývaných kořenové exudáty, přes těkavé organické látky, enzymy, hormony atd., až po složité polymerní látky pocházející z mrtvých buněk kořenové pokožky nebo slizovité látky sloužící k ochraně rostoucího kořene. Nejvíce látek včetně snadno rozložitelných kořenových exudátů se do půdy uvolňuje v okolí kořenové špičky, ze starších částí kořene se do půdy dostávají spíše komplexnější látky.

sezóny probudí a začne fotosyntetizovat, část asimilátů posílá pod zem, aby podpořila růst a aktivitu kořenů. Živé kořeny pak začnou v podstatě nepřetržitě vylučovat do půdy celou škálou organických látek různého složení a různého určení. Tyto látky jsou souhrnně nazývány rhizodepozice (viz obr. 1). Patří k nim primární metabolity, především jednoduché cukry, aminokyseliny, případně další nízkomolekulární látky jako organické kyseliny, které „unikají“ do půdy přes kořenové vlášení a v okolí rostoucích kořenových špiček, kde není vytvořena bariéra proti ztrátě látek. Tyto látky – kořenové exudáty – mohou tvořit až polovinu rhizodepozice a rostlina v nich „ztrácí“ kolem 10 % fixovaného uhlíku. K nim se přidává celá škála dalších organických látek vylučovaných kořeny aktivně. Patří k nim enzymy, hormony, látky pomáhající s příjmem živin (fytosiderofory - látky vytvářející rozpustné sloučeniny s kovy, zajišťující příjem železa, zinku, vápníku, hořčíku a dalších živin, karboxylové kyseliny regulující pH a usnadňující příjem fosforu, apod.), různé sekundární metabolity, slizovité látky chránící rostoucí kořenové špičky proti oděru, celé buňky olupující se z kořenové čepičky či

lyzáty z odumírajícího kořenového vlášení. Složení rhizodepozice napovídá, že jde o materiál bohatý uhlíkem, ale s relativně nízkým obsahem živin. Oproti opadu má ale příznivější molekulární složení a látky v ní obsažené jsou energeticky bohatší. Kořeny ovlivňují své blízké okolí i jinými aktivitami. Dýchají – spotřebovávají kyslík a produkují oxid uhličitý, čerpají vodu a v ní rozpuštěné živiny, které vyměňují za jiné ionty, ovlivňují půdní reakci (pH), kořeny mokřadních rostlin své okolí okysličují. Kořeny fotosynteticky aktivních rostlin tak prostřednictvím vylučování rhizodeponií a dalších aktivit vytvářejí ve svém okolí zcela specifické prostředí, které se nazývá rhizosféra.

RHIZOSFÉRA – PŮDA OVLIVNĚNÁ ČINNOSTÍ KOŘENŮ

Rhizosféra je půda v bezprostředním okolí kořenů, která je ovlivněna jejich aktivitou. Nemá jasně určené hranice, protože různé kořenové aktivity ovlivňují okolní půdu do různé vzdálenosti. Pohyblivost různých živin se liší – kationty vázané na půdní částice přijímá kořen jen z bezprostřední blízkosti, mobilní dusičnany pak z mnohem větší vzdálenosti. Plyny přijímané a vylučované kořenem pak mohou pronikat v půdě také poměrně daleko a unikat až do volné atmosféry. Rhizodepozice ovlivňuje jen bezprostřední okolí kořene, odhaduje se 2-5 mm, protože většina látek je velmi rychle spotřebována mikroorganismy sídlícími na jejich povrchu nebo v blízkém okolí. Pro účely zkoumání oživení a složení rhizosféry je většinou odebírána půda, která ulpí na kořenech po jejich mírném oklepání (viz obr. 2). V půdním prostředí je odhadováno, že rhizosféra může tvořit 5-25 % objemu půdy, podle typu ekosystému – biomasy kořenů, hloubky a intenzity prokořenění (viz obr. 3).

RHIZOSFÉRA – PROSTŘEDÍ S UNIKÁTNÍM SLOŽENÍM MIKROBIÁLNÍHO SPOLEČENSTVA, UTVÁŘENÉ ČINNOSTÍ KOŘENŮ

Rhizosféra představuje z pohledu půdních mikroorganismů výborně zásobený obchodní dům, hotspot aktivity v půdě. Díky neustálému přísunu organických látek je oživení rhizosféry vyšší a složení rhizosféryho společenstva mikroorganismů se výrazně liší od okolní půdy. Základními zástupci rhizosféryho mikrobiálního spo-

lečenstva jsou rostlinní symbioti. Jsou to mikroorganismy, které mají oplátku za svou pomoc s živinovým zásobením rostlin (a často i za další služby poskytované rostlinám, jako je příjem vody, ochrana před patogeny, zvýšená tolerance vůči toxickým látkám apod.), exkluzivní přístup k rostlinným asimilátům. Rostliny jim dovolují je čerpat přímo v kořenech. To pro ně představuje obrovskou konkurenční výhodu, protože nemusí o tyto zdroje soutěžit s dalšími členy rhizosféryho společenstva sídlícími v okolí kořenů. Nejběžnějšími symbionty jsou mykorhizní houby. Mykorhiza vytváří naprostá většina existujících rostlinných druhů a mnoho nám známých druhů hub. Mykorhizní houby částí svého těla pronikají do kořene rostliny, buď jen do mezibuněčných prostor (ektomykorhiza) nebo až do vnitřního prostoru buněk kořene (endomykorhiza), kde dochází k výměně živin a uhlíkatých látek mezi oběma partnery. Významnou částí mykorhizní houby je její externí mycelium, tedy část nacházející se



Obr. 2. Rhizosféra – část půdy v bezprostředním okolí kořenů, která je ovlivněna jejich činností.



Obr. 3. Prokořenění půdy v přirozeném travinném ekosystému a na poli (polní plodinou je zde pšenice). Obrázek ukazuje rozdíl mezi oběma systémy v hloubce a celkovém objemu půdy, která je přímo ovlivněná činností kořenů a tvoří rhizosféru. V travinném ekosystému bývá biomasa kořenů vyšší než nadzemní biomasa a kořeny ovlivňují značný objem půdy. Nadzemní a podzemní část ekosystému je tak úzce propojena. Zemědělské plodiny jako pšenice jsou vyšlechtěné tak, aby většinu biomasy investovaly do tvorby nadzemní biomasy a semen. V tom jim významně pomáhá také přihnojování minerálními hnojivy, které obsahují živiny v jednoduchých, rostlinami přijatelných formách. Nepotřebují proto tvořit rozsáhlejší kořenové systémy.

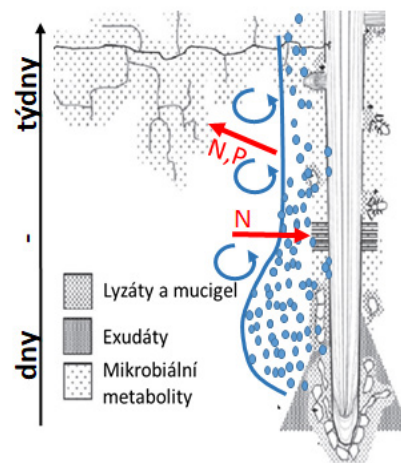
vně kořene, která je v kontaktu s okolní půdou. Rostliny si pomocí externího mycelia hub výrazně zvětšují objem půdy, ze kterého mohou získávat vodu a živiny, především fosfor a dusík. Mycelium, které je tenčí než kořeny, proniká i do mnohem menších půdních pórů, než by dokázaly samy kořeny. Většina hub vytvářejících mykorrhizu (zejména ektomykorrhizu typickou pro dřeviny a řadu kloboukatých hub) navíc produkuje řadu extracelulárních enzymů a látek, které umožňují i příjem organicky vázaných živin. Někteří další symbionti, jako například fixátoři vzdušného dusíku (hlízkové bakterie rodu *Rhizobium* či *Frankia*), žijí přímo kořenových hlízkách některých čeledí rostlin a výměnou za přímé zásobování asimiláty jim pomáhají s dusíkovou výživou. V okolí kořenů se pak selektují mikroorganismy, které dokážou rychle a efektivně využít vylučované energeticky bohaté látky. Většinou jde o rychle rostoucí druhy bakterií. Velká biomasa bakterií v rhizosféře láká predátory, především půdní prvky,

kteří svým požíváním nutí bakterie k ještě větší růstové rychlosti. Na metabolity, které bakterie a prvoci vylučují, případně na jejich odumřelé buňky, je vázána řada saprotrofních hub, tedy takových, které rozkládají mrtvou organickou hmotu. Samy nejsou tak konkurenčně zdatné, aby využily energeticky bohaté kořenové exudáty přímo, dostávají se k nim proto zprostředkovaně přes mikrobiálně přepracované sloučeniny. Saprotrofní houby se svými schopnostmi produkovat extracelulární hydrolytické i oxidativní enzymy a další látky narušující strukturu organických komplexů řadí mezi nejvýznamnější dekompozitory organické hmoty v půdě. Na rozdíl od malých a téměř nepohyblivých bakterií svými mycelii dosáhnou i na místa mimo úzkou rhizosféru, kde mohou rozkládat zbytky opadu, těžko rozložitelné chitinové schránky uhynulých živočichů či mrtvé hyfy jiných hub nebo stabilizované humusové látky. Rostliny tedy prostřednictvím rhizodepozice ovlivňují přímo i nepřímo aktivitu širokého půdního mikrobiálního společenstva. Rhizosféra samotná, ač sama představuje jen omezený objem půdy (odhaduje se méně než čtvrtina objemu půdy v ekosystému), tak vlastně určuje dění v půdě v průběhu vegetační sezóny. Okolní neovlivněná půda je ve srovnání s rhizosférou v podstatě polopoušť. Přežívají v ní v omezené míře pomalu rostoucí mikroorganismy a mikroorganismy v klidových stádiích a čekají, až k nim voda, nějaký půdní živočich nebo rostoucí kořínek dopraví potravu.

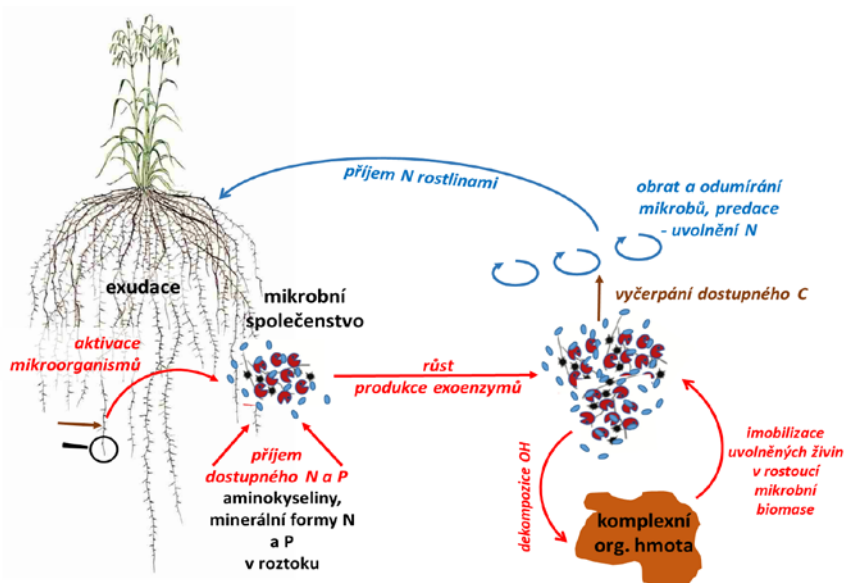
OBROVSKÁ ČASOVÁ A PROSTOROVÁ DYNAMIKA PROCESŮ V RHIZOSFÉRE

Je důležité si uvědomit, že půdní mikroorganismy, a to nejen ty volně žijící v rhizosféře, ale ani rostlinní symbionti, nejsou žádní altruisté. Při stavbě svých těl spotřebují na jednotku uhlíku ve srovnání s rostlinami mnohem více dusíku i fosforu. Živiny, které právě díky podpoře rostlin pracně získávají z rozkládající se organické hmoty, z velké části využijí samy. Rostlině uvolní jen přebytek (viz obr. 4). Jak je tedy možné, že rostlina přeci jen dostane tolik, aby mohla růst? Souvisí to s obrovskou prostorovou a časovou dynamikou dějů, které v rhizosféře probíhají. Velmi zásadní je rozdíl v délce života rostliny a mikroorganismů. Bakterie či houby, které do své biomasy zprvu zabudují většinu dostupných živin, žijí v rhizosféře jen několik dní (v případě

hub pak i týdnů) a potom odumírají a do půdy se uvolní obsah jejich buněk. Část z nich využijí jiné žijící a rostoucí buňky v populaci, ale zbytek živin může být využit rostlinami. To se děje při každé obměně mikrobiální biomasy. Jakmile rostliny uvolní živiny přijmou a zabudují do biomasy, zůstanou zde vázány do konce vegetačního období nebo i déle. A mikroorganismy, pokud chtějí nadále růst, se musí znovu snažit vydobýt pro sebe další živiny z organické hmoty v půdě. Zatímco mikroorganismy mají prvotní výhodu – dokážou si živiny uvolnit z organických komplexů a snáze je přijmou, rostliny vítězí z dlouhodobější perspektivy. Tím, že rostlina své mikroorganismy vydatně živí látkami uvolňovanými z kořenů, stimuluje jejich růst a zvyšuje rychlost obrátu jejich biomasy, a tím i rychlost a četnost uvolňování dostupných živin. Podobně funguje také predace bakterií půdními prvky. Ti část potravy využijí k získání energie a prodýchají ji a přebytek živin uvolní do půdy, kde opět nastává souměř mezi mikroorganismy a rostlinami. Kromě toho je zde ještě další důležitý aspekt. Kořeny aktivních rostlin rostou. Tím se mění poloha kořenových špiček, uvolňujících do rhizosféry největší množství jednoduchých organických látek. Z pohledu téměř nepohyblivých bakterií to vypadá, jako by jim



Obr. 4. Interakce rostlin a půdních mikroorganismů v rhizosféře je oboustranně prospěšná. Kořenové exudáty aktivují půdní mikroorganismy, které se v daném místě nacházejí. Ty začnou růst a produkovat extracelulární enzymy, které rozkládají komplexní organické sloučeniny v půdě na jednodušší. Mikroorganismy je využívají a živiny z nich zabudovávají do svých buněk. Jak kořen odrůstá, zóna zásobení půdy exudáty se posouvá jinam a velké mikrobiální společenstvo začne strádat. Z odumírajících buněk se uvolňují živiny ve formách, které mohou přijmout kořeny rostlin nebo jejich symbiotičtí partneři.



Obr. 5. Časový rámeček rhizosférických procesů. Mikroorganismy reagují na přítomnost jednoduchých organických látek velmi rychle. Minuty stačí na zrychlení dýchání, které postupně zajistí dostatek energie k růstu a produkci enzymů. Bakteriální biomasa se v bohatém prostředí rhizosféry dokáže zdvojnásobit během jednoho až několika málo dnů. Během této doby ale odroste kořenová špička - zdroj snadno přijatelných látek, mikrobiální biomasa začne strádat a odumírat a navíc je spásána půdními prvky. Živiny z ní uvolněné přijímá rostlina pomocí kořenového vlášení a pomocí externího mycelia mykorhizních hub, které osidlují starší části kořene.

do chudé vesnice nejprve přijela pojizdna prodejna plná dobrot, která se ale po čase přesouvá do další vesnice, kam za ní nelze dojít. Bakterie, které na místě v hojnosti žily, narostly a do své biomasy zabudovaly spoustu živin, začínají strádat, postupně odumírat a uvolňovat jednoduché organické látky a živiny zpět do půdy. Většinou na nich narůstají další druhy bakterií a hub, které ale tvoří mnohem menší biomasu, rostou pomaleji a živin zdaleka nepotřebují tolik. Dlouhá společná evoluce suchozemských rostlin a půdních mikroorganismů způsobila, že rostlina tuhle situaci dokáže dobře využít. Na kořenu se za odrůstající kořenovou špičkou tvoří zóna kořenového vlášení, které efektivně přijímá dostupné živiny. Objevuje se na správném místě ve správnou dobu, aby mohla absorbovat živinový pulz z odumírající mikrobiální biomasy. Ještě výše na kořeni sídlí mykorhizní houby, které pomocí externího mycelia rovněž přijímají uvolněné živiny a část jich předají rostlině (viz obr. 5).

RHIZOSFÉRA JE KAŽDOROČNÍ „SEZÓNÍ ZÁLEŽITOST“

Takto fungující dynamická rhizosféra postupně zaniká, když rostlina na konci vegetační sezóny přestává fotosyntetizovat a kořeny přestanou vylučovat rhizodeponie. Velmi těsné vztahy mezi rostlinami a půd-

ními mikroorganismy se rozvolní. Část nadzemní rostlinné biomasy sloužící v sezóně k fixaci CO₂ a také část kořenů odumírá. Ve formě pevného opadu se dostává na povrch půdy, respektive přímo do půdy. Zde se začíná součinnost půdní fauny, která ho mechanicky fragmentuje, a mikroorganismů, kteří zajišťují jeho biochemické štěpení a následnou přeměnu, rozkládat. Díky nízkým teplotám v zimním období je rozklad pomalý, mikroorganismy živící se opadem velmi pomalu rostou a uvolněné živiny ukládají ve své biomase. Situaci mění přechod ze zimy do jarního období, který s sebou nese tání sněhu a významnou změnu teploty půdy. Způsobuje odumírání velké části mikrobiálního společenstva adaptovaného na zimní podmínky. Uvolní se přitom velké množství živin, které částečně odtéká z půdy s tajícím sněhem, ale zároveň je rychle spotřebováváno probouzejícími se rostlinami. Ty si pak opět postupně prostřednictvím rhizodeponií přebudují a zformují „své vlastní“ rhizosférické společenstvo.

POCHOPENÍ VZÁJEMNÝCH INTERAKCÍ ROSTLIN A ORGANISMŮ V RHIZOSFÉRE JE JEDNÍM Z KLÍČŮ EFEKTIVNÍ OCHRANY PŘÍRODY

Půda, její kvalita, oživení a půdní procesy, jsou spolu s klimatickými podmínkami klí-

čem k výsledné podobě ekosystému. Co by tedy měli lidé pracující v ochraně přírody vědět o půdě a rhizosféře? Rhizosféra je prostředí, které rostliny během vegetační sezóny formují v okolí svých kořenů – prostředí, kde se fyzicky setkává a propojuje nadzemní a podzemní část ekosystému. Je charakteristická vysokou aktivitou a intenzivní, oboustranně prospěšnou výměnou látek mezi kořeny rostlin a symbiotickými i volně žijícími půdními mikroorganismy. Rhizosféra se do této podoby vyvinula a funguje díky dlouhé koevoluci suchozemských rostlin a mikroorganismů v půdním prostředí. Kořeny fotosyntetizujících rostlin prostřednictvím řady organických látek vylučovaných do půdy selektují ze spektra přítomných půdních mikroorganismů, utvářejí ve svém bezprostředním okolí unikátní rhizosférické společenstvo a stimulují jeho aktivitu. Zásobením energeticky bohatými látkami umožňuje mikroorganismům syntetizovat extracelulární enzymy, pomocí nichž rozkládají komplexní organické látky na jednodušší a využívají je k růstu. Rychlý a efektivní růst mikroorganismů je nezbytnou podmínkou pro vznik stabilní půdní organické hmoty. Prostorová a časová dynamika rhizosférických procesů vede k uvolnění živin ve formách dostupných pro rostliny. Vztah mezi rostlinami a rhizosférickým mikrobiálním společenstvem je velmi těsný, což zajišťuje efektivní retenci živin v systému a zabraňuje jejich zbytečným ztrátám. Rhizosférické procesy řídí fungování půdy ve vegetační sezóně a zároveň kontrolují rostlinnou produkci limitovanou dobrou živin. Je třeba chápat, že žádná rostlina, žádný rostlinný druh nefunguje jen sám pro sebe, ale je součástí širokých vzájemných vztahů. Mnohé z těchto vztahů jsou pouhým okem neviditelné, odehrávají se pod zemí – v rhizosféře, ale rozhodují o výskytu a zachování jednotlivých rostlinných druhů ve společenstvu i o podobě a fungování celého ekosystému. Ochranná péče může být úspěšná jen v případě, pokud si bude vědoma celistvosti a komplexnosti systémů, které jsou předmětem ochrany. Při druhové ochraně rostlin nebo cenných biotopů je nutné se zaměřit na to, že podoba nadzemní části ekosystému je významně ovlivňována a regulována kvalitou a fungováním půdního prostředí.

FÓRUM OCHRANY PŘÍRODY představuje svobodný myšlenkový prostor založený na aktivním přístupu, vzájemné toleranci a schopnosti účastníků shodnout se na konsensuálních výstupech.

FÓRUM poskytuje prostor k diskusi, předávání poznatků a hledání řešení v různých aktivitách ochrany přírody. Zajišťuje svobodné vyjadřování názorů svých členů bez politických či institucionálních vlivů.

Fungování je založeno na permanentní názorové platformě v rámci provozu internetových stránek, na pravidelném setkávání a vydávání tohoto časopisu.

PODPOŘTE NAŠI ČINNOST

Snažíme se naše aktivity poskytovat zájemcům zdarma, což se daří díky projektům a další podpoře. Do budoucna se ale neobejdeme bez Vaší pomoci.

Vaše příspěvky můžete posílat na účet 2200318661/2010, použijte variabilní symbol 333.

DĚKUJEME VÁM