

## Rok českých pralesů V. Divoké půdy pod divokými stromy

Do paměti půdy se zaznamenává celý její vývoj, od počátku tvorby, typicky na dosud nezávětralé hornině, až po poslední okamžik, kdy půdu hodnotíme. Může jít i o tisíce, desítky tisíc nebo dokonce miliony let. Záznam ale není v době hodnocení zdaleka úplný, mnoho informací se neustále přepisuje, tak jako v lidské paměti silnější zážitek překrývá ten slabší. Půda se navíc mnohdy zcela ztrácí erozními procesy, a tím mizí i její paměť. Pralesní půdy se dosud vyvíjejí spontánně a faktory, které je spoluutvářejí, ještě nebyly výrazně (de)formovány lidskými aktivitami. Je cenné zjistit, jaké vlastně jsou tyto půdy a jak probíhá jejich evoluce – už jen proto, že jejich základ je tentýž, jaký mají půdy řepkových lánů, domestikované půdy našich zahrad nebo skryté půdy pod betonovými chodníky. Dozvídáme se tak více o půdě, i o tom, jak měníme krajinu.

Na začátku semestru na univerzitě ukazují studentům fotografii astronauta Buzze Aldrina z r. 1969 kráčejícího po povrchu Měsíce a ptám se jich, zda kráčí také po povrchu půdy. Chci zjistit, co si pod slovem „půda“ představují. Kdysi jsem tuto otázku položil v neformální diskusi prof. Randalla J. Schaetzelovi z Michigan State University v USA, který patří mezi ikony světové půdní vědy. Odpověděl šalamounsky, že pod podrážkami astronauta půda je, jinde nikoli. Poukázal tak na jednu z klíčových charakteristik půdy, a sice že je spoluutvářena organismy. Oživení je součástí definice půdy po desetiletí (viz též seriál Živá půda v Živě 2000, 1–6). Přes dekády trvajícím výzkum ale ještě dnes některá zjištění o roli bioty v evoluci půd nutí k zamýšlení nad obecným konceptem jejich vývoje. Pralesní půdy jsou unikátní tím, že v nich lze studovat působení přirozeně utvářených společenstev organismů, v našem případě zejména stromů.

### Půda je mikrokosmos

Než ale nahlédneme do procesů, kterými stromy mění půdu a samy jsou půdou v dalších generacích formovány, je třeba zmínit faktor času. Čas představuje jednu z mála nezávislých proměnných v propletení vzájemných vazeb živé a neživé složky půd. Tím ale výhody tohoto neviditelného půdotvorného faktoru končí. Ve vykopaném půdním profilu pozorujeme odraz různě vzdálené minulosti. Vedle sebe nacházíme v jedné chvíli stopy staré stovky milionů let (kameny aj.), tisíciletí (povlaky jílu) i složky staré jen několik okamžiků (koprolity žíval). Půda z této perspektivy představuje malý vesmír. Není problém v půdě nalézt nějaký časový údaj, problém je dokázat odhalené datum vztáhnout ke konkrétním procesům v půdě. Faktor času do vývoje půd vstupuje i v dynamické podobě narušení – disturbance. Narušení jsou v lesních půdách často spojena s vlivem stromů, mění směr evoluce půd, nebo ji dokonce „resetují“.

V historických úvahách o evoluci půd představoval faktor času černou skříňku. Na jeho význam se často nahlíželo podle stupně vývoje půdy – pedogeneze. Tím se rozuměla např. hloubka půdy od jejího povrchu až po nezávětralé podloží, přičemž hlubší půdy měly být starší. Stupeň vývoje mohl vyjadřovat i kvalitativní vlastnosti, jako třeba míru odvápnění povrchových vrstev karbonátových půd. Jinými slovy, stáří často nebylo nezávislou informací o půdě, která by pomohla ověřit správnost našeho chápání pedogeneze, ale bylo artefaktem jiných půdních vlastností. Konkrétní půda se takto posuzovala perspektivou konceptu, jehož platnost se detailně nestudovala. Půdní věda totiž záhy po svém odštěpení od geologie převzala z biologického výzkumu představu jedinečné vývojové trajektorie systému a jeho závěrečného stadia, klimaxu. Vznikla vývojová sekvence půd a půdní klimax, označovaný v angličtině jako steady state. Tento koncept je dodnes široce přijímán. Půdy se měly vyvíjet po jedné trajektorii směrem ke klimaxu. Předpokládalo se, že postupně „dozrají“ a pak oscilují okolo stavu dynamické rovnováhy, kdy síla eroze na jejich povrchu odpovídá intenzitě zvětvávání a tvorby půdy na kontaktu s horninou.

Podporou zmíněnému konceptu byl výzkum dokladující nejrychlejší zvětvávání u středně hlubokých půd (již Gillbert 1877). Zvětváváním vzniká půda a hloubka patří mezi její klíčové vlastnosti. Grove Karl Gillbert a jeho následovníci ukázali, že u velmi mělkých, nebo naopak velmi hlubokých půd je rychlost vývoje pomalejší, protože klesá význam biologické složky zvětvávání, zejména kořenů rostlin. Kvůli počátečnímu nárůstu a následnému poklesu zvětvávání s hloubkou půdy hovoří pedologové slangově o „hrbaté funkci tvorby půdy“. Tvorba půdy měla postupně zpomalit a nakonec dosáhnout potenciálu daného prostředí, který odpovídá klimatu, matečné hornině a tvaru terénu. To je stav dynamické rovnováhy. Popsaná vazba se odráží i v jiných vlastnostech půd, třeba kyselosti nebo obsahu živin a jílu. Nerovnosti z počátečního stadia vývoje podle tohoto konceptu postupně mizí a půda se v prostoru homogenizuje a hypoteticky dosahuje dynamické rovnováhy na velkých plochách. Hovoříme o sbíhavé (konvergentní) evoluci, neboť pestrost půdních vlastností se v prostoru postupně snižuje. V určitém regionu, kde je homogenní klima a geologické podloží, mají půdy podle této představy úzce kopírovat terén. Na plošinách bez eroze jsou hluboké, na strmých svazích mělké. V dalších kapitolách nahlédneme, že jde pouze o jednu z možných cest.

### Proměnlivost půd v krajině

Mapa půd konkrétního regionu je v danou chvíli výsledným projevem působení všech půdotvorných faktorů, jejichž kompozice se může měnit místo od místa, z pohledu půdní vědy pedon od pedonu. Výše naznačený koncept dynamické půdní rovnováhy opravdu na mnoha místech nachází oporu. Na nových úsecích dálnic a energetických prořezávacích krajinu skutečně někdy vidíme rovné linie půdních horizontů kopírující tvar terénu; na polích má oraná půda zase na velkých plochách vsu-





1 Věnc kamenů vznikající po obvodu stromu označovaný jako Baumstein. Chráněná krajinná oblast Šumava

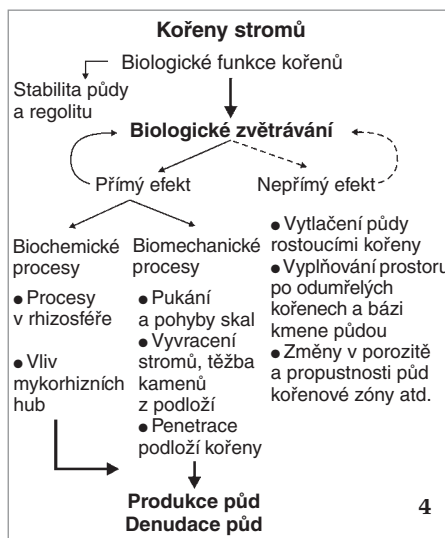
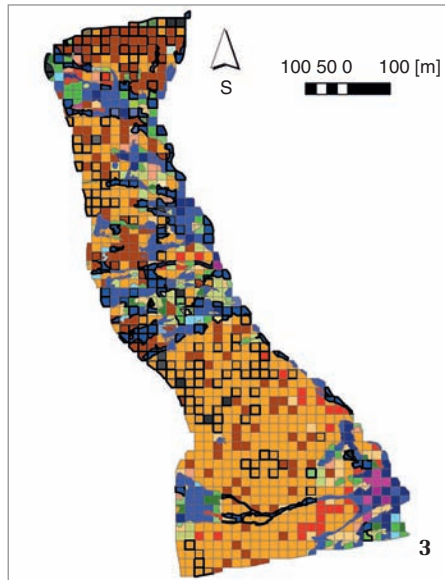
2 Kryptopodzol modální neboli typický je rezavou a živinami chudou půdou našich vrchovin a hor. V půdě již vlivem méně příznivých klimatických podmínek a kyselé podložní horniny dochází k rozpadu jílu. Rezavá barva je způsobena silným projevem sloučenin železa a hliníku. Žofinský prales, žula, ca 800 m n. m.

3 Neobvykle komplexní mapa půd Boubínského pralesa. Barvy vyjadřují výskyt specifických půdních jednotek, které se vzájemně liší projevem stagnující vody, stupněm zvětrávání a vyluhovacích procesů nebo obsahem kamenů. Každá barva vyjadřuje jinou půdní jednotku (kryptopodzoly modální jsou oranžové apod.), silnější okraje čtverců se šířkou hrany 22 m ukazují na vysoký obsah kamenů.

Podle: P. Daněk a kol. (2016), upraveno

4 Konceptuální model působení kořenů na formování a odnos (denudaci) půd. Prerušované linky představují biologické procesy v širším smyslu slova. Podle: L. Pawlik a kol. (2016), upraveno

de stejnou barvu, což navozuje dojem homogenity. Rovněž některá přímá datování půd radioaktivními izotopy (např. izotopem berylia  $^{10}\text{Be}$ ) jsou v souladu s obrazem tisíce let trvající rovnováhy mezi tvorbou půd zvětráváním a jejich povrchovou erozí. Na hrubé krajinné úrovni můžeme současně hovořit o vertikální zonalitě půd odvozené od vlivu klimatu, což je další podpora tradičního pohledu. Zatímco v nížinách nacházíme černozemě, s rostoucí nadmořskou výškou je charakteristicky střídají hnědozemě, pak kambizemě modální, dystrické, v podhorských oblastech kryptopodzoly (obr. 2) a ještě výše podzoly (viz např. <http://klasifikace.pedologie.czu.cz/>). Zároveň ale existuje mnoho



výjimek, které jsou zcela v rozporu s obrazem prostorově homogenních půd a jejich sbíhavým vývojem. Pro celkové pochopení evoluce půd jsou ale neméně podstatné. Typickými příklady, kde obecný koncept konvergentní evoluce platí jen částečně a kde počet výjimek může být vyšší než počet podporujících dat, jsou temperátní pralesy.

Studovali jsme pestrost a prostorovou složitost (komplexitu) půd podhorských a horských pralesů Beskyd, Novohradských hor, Šumavy i pohoří Čálimani, Giomalá v Rumunsku a Horhany na Ukrajině. Pedomorfologicky a pedochemicky jsme hodnotili i stovky půdních profilů v Michiganu. Na celkem 20 lokalitách napříč nadmořskými výškami a stanovištními poměry České republiky jsme rovněž posuzovali dlouhodobé změny ve vývoji půd. Všechna tato data opravdu souborně naznačují zonalitu půd. Neméně viditelná je ale výjimečná prostorová variabilita vlastností pralesních půd (např. tluštěk půdních horizontů) a často i extrémní lokální pestrost půdních typů (kambizem, podzol, glej aj.). Např. v jádru Boubínského pralesa bylo na ploše 46 ha popsáno podle mezinárodní půdní taxonomie (Michéli a kol. 2007) celkem 37 rozdílných skupin půd (obr. 3). Půdní jednotky navíc na Boubíně tvoří souvislé celky, ale spíše pestrý a složitý vzor. Místo toho, aby

se podzoly nacházely na velkých plochách v nejvyšších nadmořských výškách, jak lze dovodit z tradičního konceptu, jsou tu a tam rozestry podél vodních toků při spodním okraji rezervace, často přímo v kontaktu s kambizeměmi, které ale tvoří opačný pól zvětrávacího/vyluhovacího gradientu. Přestože hodnocená místa byla od sebe v pravidelné síti pouze 22 m, v mnoha případech se sousední profily půd naprosto lišily. Jeden profil byl např. kryptopodzol bez jakýchkoli známek ovlivnění stagnující vodou, o 22 m dále jsme ale našli profil gleje, celý ve vodě. Ostré přechody v ovlivnění půd vodou, projevem zvětrávacích a vyluhovacích procesů i v obsahu kamenů doslova na několika metrech byly pozorovány i v Žofinském pralesu, stejně jako v horských smrkových pralesích Rumunsku a Ukrajiny. Ostré přechody způsobují enormní nárůst prostorové složitosti divokých pralesních půd. Pestrost půdních typů se vytrácí jen tam, kde je některý z půdotvorných faktorů naprosto hraniční, což vede k dominanci jediného půdotvorného procesu, jehož projevem je jediný půdní typ. Příkladem mohou být extrémně chudé sedimentární horniny Michiganu, kde se mohou vyvíjet pouze podzoly. I v podobných případech jsou ale pralesní půdy výjimečně prostorově proměnlivé např. v tluštěce půdních horizontů. Ty se dramaticky mění už na vzdálenosti několika decimetrů (Šamonil a kol. 2016).

Pozorovaná pestrost půdních typů a vysoká variabilita půdních vlastností pralesovitých území naznačují, že v tvorbě půd se musejí účastnit síly, které jinde, třeba na polích, tak výrazně nejsou. Evidentně nejde o roli klimatu nebo geologického podloží, neboť ty jsou v mnoha studovaných rezervacích téměř homogenní, a nemohou proto nijak vysvětlit prostorovou složitost půd. Část této komplexity lze jistě vztáhnout k tvaru terénu, ale opravdu pouze část. Zbývá neobjasněný podíl výjimečné prostorové proměnlivosti půd, pro jehož vysvětlení musíme hledat další zdroj. Detailně jsme se proto začali zabývat vlivem jednotlivých stromů v pralesovitých územích. Domníváme se totiž, že stromy mohou biochemicky urychlit, zpomalit či přeměrovat evoluci půd. Zároveň mohou biomechanicky půdu obrátit, přesunout, nebo promíchat, a tak úplně nebo částečně vynulovat pedogenetické hodiny (obr. 4). Je hypoteticky možné, že pozorovaná pestrá mozaika půd v pralesích je zčásti vysvětlitelná mozaikou jejich různého stáří a jejich historicky různého ovlivnění stromy.

#### Stromy – bibličtí Goliášové

Spolu s některými druhy hub, u nichž byla odhalena neobvyklejší prostorová kontinuita, genetická podobnost a dlouhodobá stabilita mycelia napříč lesními ekosystémy (např. václavka hlíznatá – *Armillaria gillii*, syn. *A. bulbosa*, Smith a kol. 1992), patří stromy nepochybně k největším organismům na Zemi. Stromy jsou v tomto smyslu Goliášové lesních ekosystémů, jejichž síla nezaostává za jejich velikostí. Byť se samy nemohou pohybovat, dokážou uvést do pohybu nebo naopak zastavit enormní množství půdy. Hovoříme

o biogeomorfologických procesech, jejichž podstata je totožná v temperátních i tropických pralesích stejně jako v našich zahradách. Např. v Boubínském pralese stromy prokazatelně mechanicky ovlivňují 322 m<sup>3</sup> půdy na každém hektaru (Šamonil a kol. 2018) – lze si představit 80 naložených legendárních nákladních vozů Praga V3S. Stromy neovlivňují pohyb půdy a regolitu (fyzikálně rozpadlé horniny, která ještě není půdou) jen na svazích, ale i na rovině, a to horizontálními přesuny hmoty a mísením půdy; na půdu působí během života i po něm (viz níže).

Radiální růst kořenů i kmene je příkladem aktivního působení stromů. Vede nejdříve k deformaci půdy a posléze k jejímu vytlačování do stran v případě tloustnutí kmene, nebo do všech směrů v případě růstu kořenů. Pokud kmen nebo kořen potká při svém tloustnutí kámen, pokouší se ho rovněž odtlačit, což celý proces ještě objemově umocňuje. Následkem enormního tlaku kořenů, který může přesáhnout i 0,9 MPa (Bennie 1991), vzniká v okolí kmene často tzv. kořenová kupa, nebo dokonce věnec kamenů. Tento věnec označujeme německy slovem Baumstein (viz obr. 1), v překladu stromový kámen. Podle obecných alometrických studií představují objemy kořenů asi pětinu objemu nadzemní biomasy stromů, v českých pralesích to bývá na každém hektaru přes 100 m<sup>3</sup>. Je to zároveň objem půdy, který musí být při růstu kořenů vytlačen. Kořeny se neustále obnovují, v pralesích je současně na každém hektaru několik desítek m<sup>3</sup> mrtvých kořenových systémů po nedávno odumřelých stromech. Ty se postupně rozkládají a uvolněný prostor je zpětně vyplněn. I tento proces představuje pohyb a mísení půdy. Kořeny dokonce pohybují půdou i při silném větru, šelest pohybu je slyšitelná při seizmickém měření. Současně pronikají do podloží, axiálně (podélně) působí tlakem až 1,5 MPa, a tím prohlubují půdu (obr. 5). Při pronikání do štěrbin mezi kameny „objímají“ horninu. To hraje značnou roli při vyvrácení stromů. Vyvrácené stromy, jejichž kořeny byly v kontaktu s podložní horninou, jí totiž doslova „těží“ z podloží (obr. 7). Tím urychlují zvětvávání a lokálně půdu prohlubují.

Vývraty patří k nejdůležitějším a nejviditelnějším biomechanickým vlivům stromů na půdy (obr. 8). Půdu v pralesovitých



rezervacích „orají“ a nutí ji se znovu a znovu vývojově vracet. Půdy se tím omlazují. Namísto sousedního neporušeného kryptopodzolu nacházíme často v horských lesích ve vývratu kambizem, tedy obecně mladší a méně „zvětralou“ půdu, ještě stále s mnoha primárními nezvětralými minerály, jakými jsou např. biotit, amfibol nebo živce. Plocha největších vývratů v českých pralesích dosahuje 40 m<sup>2</sup>, objem až 60 m<sup>3</sup>. Stromy dokážou při vyvrácení vyzdvihnout z půdy obrovské kameny o hmotnosti až 5 tun. V Boubínském nebo Žofínském pralese ročně vývraty postihují více než 4 m<sup>3</sup> půdy/ha, v pralesích Beskyd (rezervace Razula, Salajka) je to jen o málo méně. Objem půdy ve vývratových kupách může přesáhnout i 260 m<sup>3</sup>/ha, např. v rezervaci Razula v Beskydech. Pouze v nížinných pralesích (Ranšpurk na soutoku Moravy a Dyje), kde stromy často kořeny hluboko kúlovým kořenem, je roční hektarový objem vývratů pod 0,5 m<sup>3</sup>. Celkově mají vývraty ve středoevropských pralesích největší význam v nadmořské výšce mezi 700 a 1 100 m, kde jim objemem vyvrácené půdy dokonce nemohou konkurovat ani vědecky studované pralesy v USA – Yosemiteký prales, Wind River nebo Utah, často s většími stromy (www.forestgeo.si.edu). Vývraty jsou v našich horských pralesích natolik časté, že

by během asi 1 300 let pokryly celou lokalitu (tento údaj se v disturbanční ekologii označuje jako rotační perioda). Je proto velmi pravděpodobné, že většina míst v našich pralesích byla během holocénu vícekrát narušena vývraty. Zdá se, že vývoj půd po době ledové byl podstatně méně lineární, než jsme se dříve domnívali. Extrémně krátkou rotační periodou s délkou pouze 200–400 let vykazují boreální pralesy Aljašky (Bormann a kol. 1995). Tamní půdy jsou neustále v pohybu.

O mnoho menší objemy půdy sotva v řádu jednotek m<sup>3</sup>/ha jsou spojeny s procesy označovanými anglicky jako stemwash a trunkwash. Tyto biogeomorfologické jevy byly popsány nedávno (Phillips a kol. 2017) a dosud nemají český ekvivalent. Koncentrovaný tok vody po stojícím kmeni odplavuje organický i minerální materiál na jeho bázi (stemwash, obr. 6), případně se podobný proces děje pod ležícím kmenem. Stemwash je velmi častý v beskydských pralesích (Razula, Salajka, Mionší), kde hlavně u buku lesního (*Fagus sylvatica*) dochází k postupnému obnažování kořenů.

Stromy nepůsobí jen pohyb hmoty, ale i jeho blokování. Za patou stojícího stromu nebo po celé délce ležícího stromu se zachytává materiál gravitačně putující po svahu. V regionech s aktivními svahovými procesy může jít o děj viditelný téměř





9

5 Kořen buku lesního (*Fagus sylvatica*) pronikající mezi kameny. Plitvická jezera, Chorvatsko

6 Při tzv. stemwash dochází koncentrovaným odtokem srážkové vody po kmeni k odplavování vrstvy nadložního humusu půd i povrchových minerálních horizontů a obnažování kořenů. Národní přírodní rezervace Razula, Beskydy

7 Vývrat stromu s kameny vytrženými z podloží. NPR Praděd

8 Mohutný smrk v Boubínském pralese při orkánu Herwart 29. října 2017

9 Ohnuté báze kmenů v NPR Kněhyně – Čertův mlýn v důsledku svahového pohybu půdy a tlaku tajícího sněhu

10 Ležící kmen bránící svahovému transportu půdy a odtoku vody tvoří kmenovou hráz v boubínské rezervaci.

11 Pod pahýlem buku na flyši v národním parku Gorce (Polsko) dochází k projevu stagnující vody v půdě. Barva půdy se mění z rezivě na šedou až šedomodrou.

u každého stromu a nejméně o několik m<sup>3</sup> materiálu na každém hektaru (viz obr. na webové stránce Živy). Ve flyšovém pásmu Karpat, kde jsou svahové procesy aktivní, můžeme nalézt zachycené kameny již za ležícími větvemi. To ukazuje na rychlost procesu, protože materiál musí být zachycen za pouhých několik let, během kterých



10

se větev rozloží. Po jejím rozložení putuje materiál dál po svahu. Rozklad ležících stromů trvá desítky let, stojící strom v pralesích zachycuje materiál i pět století. Někdy se stává, že padlý kmen přehradí drobný vodní tok a vytvoří kmenovou hráz – log dam (obr. 10). Zachycený materiál je rychle nasycen (saturován) vodou, která současně prodlužuje dobu rozkladu ležícího stromu až na staletí. Saturace půd vodou zároveň během i několika měsíců změni barvu půd a její vlastnosti.

Tenké stromy se na bázi vlivem plíživého gravitačního pohybu půdy po svazích ohýbají, pohyb půdy se označuje ploužení (anglicky creep, obr. 9). Rovné báze mohutných stromů ve stejných porostech naopak naznačují, že stromy mohou postupně při svém růstu stabilizovat svahy a měnit tak strukturu svahových procesů. To je předmětem našeho aktuálního výzkumu. Strom může i stovky let blokovat ploužení půdy, pak ji však v okamžiku vyvrácení náhle mobilizuje. To ukazuje, jak komplexní a těžko předvídatelný je vliv stromů.

Všechny popsané biomechanické vlivy stromů lokálně mění půdní vlastnosti. Způsobují odstranění, nebo naopak nárůst některých půdních horizontů. V prostoru se tím zvyšuje pestrost, tedy komplexita půd. Vývraty bočně přemísťují značné množství půdy, a tím mění její hloubku. Pod kupami je půda náhle velmi hluboká, v depresích naopak mělká. Tím je omezena platnost hrbaté funkce tvorby půd.

### Stromy – chemičtí inženýři

Stromy neovlivňují půdu pouze biomechanicky, ale i biochemicky, a sice svými kořenovými metabolity, specifickým rozkladem asimilačních orgánů, kmene, větví nebo kořenů. Strom během celého života stahuje z okolí skrze síť kořenů velké množství živin. V případě odumření stromu se náhle na malém prostoru uvolňuje značné množství nahromaděných prvků. Vědecké studie se poněkud rozcházejí v efektu tohoto koncentrovaného rozkladu na půdu. Někteří píší o obohacování půd o živiny (Kayahara a kol. 1996), jiní o ochuzování půd v důsledku uvolňování značného množství organických kyselin z rozkládaného dřeva (Spears a Lajtha 2004). Zdá se, že velmi záleží na vlastnostech půdy, která je buď schopna zachytit uvolněné živiny i organické sloučeniny, nebo není, a pak



11

vlivem agresivních organických kyselin ztrácí i živiny, které již poutala. Rozkládající se kmen každopádně představuje ve vývoji půd ostře prostorově i časově definovaný impulz měnící lokálně jejich vlastnosti. Z našich výsledků v Žofínském pralese plyne, že tento impulz trvá desítky let a zasahuje nejen povrchovou vrstvu půd, ale i minerální horizonty do hloubky asi 15 cm. Výsledky naznačují, že na Žofíně jde o vratný proces podporující představu konvergence půd. Na silně podzolovaných chudých pískách ale může jít o proces chemicky nevratný. Cesta zpět je v takovém případě možná pouze přes mechanické narušení a promísení půd, např. vývratem.

Půda se ale mění ještě za života stromů, a to vlivem jejich kořenových metabolitů, rozložených asimilačních orgánů i lokální změnou odtoku vody. V regionech s extrémně chudou horninou se pod stromy urychluje vývoj půd a vznikají tzv. basket podzols, půdy s extrémně mohutným a hlubokým vyběleným horizontem vypadajícím jako koš (Bloomfield 1953, obr. na webové stránce Živy). Naopak v jílovité půdě flyšového pásma Karpat se pod bukovými kmeny „ohýbá“ trajektorie vývoje půd, půda se z původní hnědé barvy zbarvuje domodra a hromadí se v ní stagnující voda (obr. 11). Pod stromy pozorujeme nelineární vývoj půd, někdy též vývoj polygenetický. To znamená, že na vývoji půd se účastní postupně více procesů.

Změny půdních vlastností v důsledku rozkladu asimilačních orgánů stromů jsou známy po desetiletí a není třeba je zde detailněji rozebírat. Nejméně od 40. let 20. stol. známe např. schopnost smrku ztepilého (*Picea abies*) oksylovat půdy opadem (Němec 1940). Lesnická praxe bohužel tento proces degradující lesní půdy stále příliš nereflektuje.

Půda se chemicky mění i ve vývratech. Nivelace vývratu, během níž se terén zrovná, může trvat ve specifických podmínkách až 6 000 let. V řadě lesních ekosystémů je proto mnoho času na unikátní vývoj půd ve vývratech. Přestože půdy ve vývratových kupách jsou téhož stáří jako půdy v přilehlých vývratových depresích, protože vznikly společně, mohou být z hlediska půd naprosto odlišné. Půda v depresi se často vlivem koncentrovaného odtoku vody a hromadění listů vyvíjí překotně (obr. 12). Během několika staletí může mít stejné parametry jako sousední neporušená půda, jejíž vývoj na rovině trvá po tisíceletí. Naopak půda ve vývratové kupě se vyvíjí často velice pomalu a vlastností kontrolního neporušeného místa nikdy nedosáhne. Tento odlišný vývoj půd v jednom vývratu, kdy se iniciální nerovnosti v čase neustále prohlubují, je příkladem rozbíhavé, tedy divergentní evoluce (Šamonil a kol. 2015). Divergentní evoluce půd byla prvně popsána Jonathanem D. Phillipsem (2001) a představuje neobyčejně významnou alternativu k tradičně uvažovanému konvergentnímu vývoji.

### Stromy – „opomíjení Davidové“?

Síla stromů je ale ještě větší, než je na první pohled patrné. Efekt bioty na půdy byl v minulosti řešen jen z pohledu celých společenstev organismů, nikoli jedinců. Mělo se za to, že se v čase a prostoru



„zprůměruje“. To se ale mnohde neděje a mladé stromy vyrůstají na místech předurčených minulou generací stromů. Vlastností stanoviště formované stromy tvoří pomyslnou pupeční šňůru mezi generacemi. Prostorová nenáhodnost vyrašení nového stromku způsobuje, že některá místa v lesích jsou stromy ovlivňována podstatně více než jiná. Působení jednoho stromu se tím pádem nezahluje, ale může být ještě posíleno v další generaci. To je nejlépe patrné na extrémním podloží pískovců nebo vápenců s mělkými půdami, v ČR např. v Adršpaško-teplických skalách nebo v Českém krasu. První generace dřevin se objeví ve šterbinách skal, kde během života půdu ještě prohloubí (obr. 13). Po odumření stromu je právě toto místo nejvhodnější pro přežití další generace. Opakovaným růstem stromů na témže místě se zde prohlubuje půda, zatímco v těsné blízkosti se naopak vůbec nevyvíjí. Jde o jasný příklad divergentního vývoje.

Stromy ovlivňují a mění okolní prostředí, tvoří nové ekologické niky a jejich potomci nebo i další druhy organismů z těchto změn profitují. Stromy jistě nemají sílu zcela přetlačit vliv klimatu nebo geologie, proto také obecně existuje zonálnost půd. Jsou ale určitě schopny probíhající procesy urychlit, zpomalit nebo přeměňovat, a to i na úrovni krajiny. V minulém dílu pralesního seriálu (Živa 2018, 4: 179–184) byla zmíněna změna disturbančního režimu v Novohradských horách přibližně před 6 000 lety. Nárůst zastoupení buku v lesích tehdy způsobilo zastavení opakovaných požárů a změnu režimu narušení. Dominantní roli začaly mít vývraty způsobené větrem a gradace biotických činitelů, např. lýkožrouta smrkového

(*Ips typographus*; Bobek a kol. 2018). Domníváme se, že současná pestrost půd v Žofínském pralesi je zčásti i důsledkem změn režimu narušení.

Každá dřevina přitom působí na prostředí odlišně, smrk se např. chová zcela jinak než buk. Můžeme se tak zamýšlet nad stálostí směsí těchto dřevin bez vnějších řídicích impulsů. Smrk okyseluje půdu, způsobuje hromadění nadložního humusu i lehce vázané vody, tím mimo jiné snižuje svůj handicap nižších sacích tlaků kořenů a zároveň blokuje obnovu ostatních dřevin. Nová generace smrku se pak obnoví na padlých kmenech předešlé generace. Smrk nejenže roste mnohdy na kyselém a mokřem stanovišti, taková místa i spoluutváří. Nejde o „promyšlenou strategii“, každá dřevina má něco jako „životní styl“. I takto by měli lesničtí hospodáři pohlížet na smrkové monokultury.

Stromy mohou zásadně vstupovat i do struktury svahových procesů. Domníváme se, že sukcesním vývojem rostlinného společenstva mohou postupně přebírat část energie, která se na svazích dříve uvolňovala abiotickými procesy, např. sesuvy nebo ploužením (Phillips a kol. 2017, obr. 14). V beskydské rezervaci Razula nacházíme vývraty na vývratu a k sesuvům dochází jen v jejím okolí. Četné vývraty jednotlivých stromů zásadně formují hydrologii tohoto území, odtok je nyní převážně podpovrchový, disperzní, s lokálními sedimentačními prostory v jámách po vývratech. To je pouze jeden z příkladů, kdy se vývoj rostlinného společenstva propojil s vývojem půd i vývojem celé krajiny. Je zřejmé, že dnes již nevystačíme s konstatováním, že půda je oživená. Moderní studie poukazují, že půda je sama součástí biotické evoluce druhů a evoluce celé kra-

12 Na řezu vývratem starým přibližně 4 200 let je patrný překotný vývoj podzolových půd ve vývrátové depresi (vpravo) a naopak pozvolný vývoj půd na kupě, která se postupně zarovňuje. Písečný glaciáluviální sediment, Upper Peninsula, Michigan

13 Břízy a borovice se uchytily ve šterbině skály, kde pomáhají zvětrávacím procesům a tvorbě půd. Tato místa budou i v budoucnu příznivější pro zmlazení stromů než okolní skála. Sloní kameny, Lužické hory. Snímky P. Šamonila

14 Konceptuální biogeomorfologický model vývoje přirozených lesů. Orig. P. Šamonil, upraveno podle: J. D. Phillips a kol. (2017)

jiný stojící na ekologických principech a historické paměti.

### Závěrem

Tradiční koncept konvergentní evoluce půd směrem ke stavu dynamické rovnováhy má oporu v reálné krajině, je ale omezenější, než se dříve předpokládalo. Zatímco vliv klimatu, geologie a terénu opravdu může směřovat půdy k dynamické rovnováze, biotická složka, reprezentovaná v pralesích např. stromy, může půdy od tohoto směřování vzdalovat. Mimo predikovatelnou složku vývoje půd pozorujeme v půdách i nepředvídatelnou stochastickou složku. Ta často souvisí s jejich narušením působením stromů. Půdy se v pralesích typicky vyvíjejí nelineárně, nebo i polygeneticky. Vedle sbíhavé (konvergentní) evoluce půd existuje její alternativa v evoluci rozbíhavé (divergentní), dokonce se mohou vzájemně na různých prostorových úrovních prolínat. Pohyb půdy biomechanickými vlivy stromů je zcela přirozený a může vést i k regeneraci půd. Díky výjimečné dynamice stromů a zachovalým vazbám mezi jejich generacemi jeví divoké pralesní půdy výjimečnou prostorovou komplexitu. Ta zpětně ovlivňuje stromové patro.

Zjednodušením struktury hospodářských lesů se ztrácí část pedokomplexity vázaná na bohatou strukturu původního pralesa. Mění se tím prostorové vlastnosti půd, svahové procesy i hydrologie území. Až polovina objemu půdy spojená s diskutovaným mechanickým působením stromů je ovlivnitelná lesnickým hospodařením.

**Kolektiv spoluautorů: Pavel Daněk, Libor Hort, David Janík, Kamil Král, Tomáš Vrška, Pavel Unar, Jakub Kašpar, Tomáš Přívĕtĕvĕjĕ a Dušan Adam**

Použitá literatura je uvedena na webových stránkách Živa.

