

Penetrabilita půdy: významný faktor ovlivňující přítomnost zvířat

Penetrabilita je mechanická vlastnost půdy sloužící často k vyjádření její kompaktnosti. I když se s tímto pojmem setkáme nejčastěji v zemědělství, neboť příliš kompaktní (zhuťnělá) půda potlačuje růst pěstovaných plodin, v posledních letech bylo zjištěno hned několik případů, kdy změny v penetrabilitě půdy vedly k obsazení nebo naopak opuštění dané lokality řadou druhů živočichů – savců, ptáků, ale i hmyzu. U některých z nich bývá podobným způsobem ovlivněno i jejich sociální chování.

Důležitost optimální penetrability půdy vyvstala poprvé v souvislosti s intenzifikací evropského zemědělství, kdy se během druhé poloviny 20. stol. ztrojnásobila jak hmotnost používané mechanizace, tak i frekvence jejího užití (Horn a kol. 1995). Používání těžké mechanizace obecně vede k narušení struktury půdy, k jejímu zhuťnění a k narušení, až úplnému potlačení transportu vody, iontů a plynů. Zvýšená kompaktnost půdy snižuje schopnost pronikání kořenů rostlin, potlačeno je také její provzdušnění, snížená propustnost pro vodu vede často až k erozi. Ochrana půdy s důrazem na její produkční funkci proto v posledních letech pronikla i do evropské legislativy.

Nejen polní plodiny

Penetrabilita půdy ovšem není rozhodujícím faktorem jen pro růst polních plodin.

Přímo ovlivňuje celou řadu organismů, nejviditelněji bezobratlé specializované na život v půdě (žížaly, chvostokoci) i na jejím povrchu (brouci, pavouci, štíři). Přítomnost půdy s optimálními fyzikálními vlastnostmi je klíčová i pro druhy využívající půdní prostředí jen k rozmnožování (např. některé samotářské včely, obr. 1). Zprostředkovaně pak na změny v druhové skladbě a početnosti bezobratlých reagují četné druhy ptáků, zejména pak bahňáci – čejka chocholatá (*Vanellus vanellus*), bekasiny (*Gallinago gallinago* a *G. media*), vodouš rudonohý (*Tringa totanus*), kameňáček pestrý (*Arenaria interpres*, obr. 2), ale i hmyzožraví pěvci, např. drozd zpěvný (*Turdus philomelos*) nebo konipas luční (*Motacilla flava*). Dokumentováno je i snížení početnosti dravců (např. krahujec obecného – *Accipiter nisus*) v oblastech, kde došlo ke zhoršení kvality a produkti-

vity půdy (Newton a kol. 1986). Někdy může mít penetrabilita půdy na hnízdící ptáky i přímý efekt – jde zejména o druhy vyhrabávající si nory, jako jsou břehule říční (*Riparia riparia*), vlhy (*Merops* spp.) a ledňáček říční (*Alcedo atthis*). Uvažuje se i o tom, že příliš kompaktní půdě se při tvorbě hnízda vyhýbá i výše zmíněný konipas luční.

Na optimální penetrabilitě půdy jsou závislí také norující savci. Např. u sociálně žijících jihoamerických hlodavců tukotuko talarských (*Ctenomys talarum*) či australských vačnatců vombatů chluponosých (*Lasiornhinus latifrons*) byly pozorovány změny ve strategii hloubení nor a v sociálním chování zvířat v závislosti na snižující se penetrabilitě substrátu.

Přes všechna tato pozorování jsou znalosti o vlivu fyzikálních vlastností půdy na jednotlivé živočichy velmi kusé a stranou hlavních směrů výzkumu a ochrany biologické rozmanitosti. Nedávná zpráva Jamese J. Gilroye a jeho britských kolegů (2008) však poukazuje na skutečnost, že tyto změny by mohly do značné míry stát za mizním ptáků v zemědělské krajině. Podívejme se tedy na některé konkrétní příklady závislosti zvířat na optimální penetrabilitě půdy.

Vombati mění své sociální návyky

Vombati jsou nepočetnou skupinou krátkonohých, přibližně metr dlouhých vačnatců obývajících jihovýchodní Austrálii a Tasmánii. Pro studium vlivu penetrability jsou zajímaví tím, že si budují rozsáhlé podzemní systémy na ploše až desítek tisíc metrů čtverečních. Chodby vombatů mají poměrně velký průměr, což je samozřejmě činí velmi senzitivními na kompaktnost půdy: v méně soudržných substrátech jim hrozí zhroucení, stmelnější půdy s nižší penetrabilitou zase vyžadují výrazně větší energetické výdaje při jejich prodlužování. Vombati chluponosí žijí vesměs ve skupinách, systémy nor vybudované jednotlivými zvířaty bývají navzájem propojeny, svůj životní prostor tak sdílí až 10 jedinců. Pokud je systém nor vystavěn



- 1 Na optimální penetrabilitě půdy závisí přítomnost většiny samotářských včel.
- 2 Kameňáček pestrý (*Arenaria interpres*) je typický druh bahňáka, jehož kořist vyžaduje specifickou penetrabilitu půdy. Jedinec zimující v mexické rezervaci Ría Lagartos. Snímky P. Heneberga

v substrátu s kompaktnější půdou, hloubí si nory blíže u sebe a vznikají systémy využívané větším počtem vombatů. Naopak v půdách s vyšší penetrabilitou, umožňující snadnější hrabání, jsou jednotlivá zvířata navzájem méně tolerantní, jejich kolonie jsou rozvolněnější a méně početné (Walker a kol. 2007). Norujících savců existuje téměř 300 druhů, bude proto do budoucna zajímavé zjistit, zda je tento jev obecný.

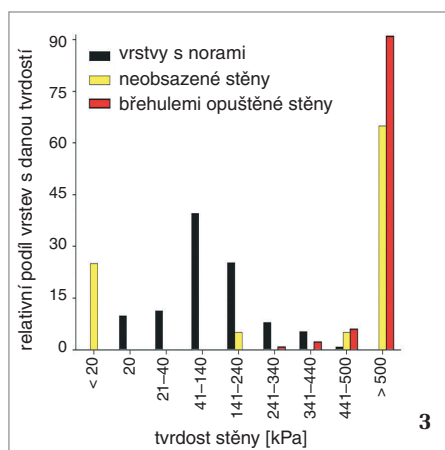
Norující ptáci

Pro dutinové hnízdiče je penetrabilita substrátu naprosto klíčová pro výběr hnízdní stěny, popř. hnízdního stromu. Jednotlivé druhy mívají poměrně specifické požadavky. Již několik let se ví, že zahnízdění ptáků vytesávajících si stromové dutiny (např. naší datli či strakapoudi) závisí na tvrdosti dřeva a schopnostech jednotlivých druhů (Schepps a kol. 1999). Jinými slovy, do příliš tvrdého dřeva se dutina vydlabává obtížně a navíc se tím zvyšuje energetická náročnost procesu rozmnožování. Naopak při vydlabání dutiny v příliš měkkém materiálu dochází častěji k predaci hnízda, popřípadě k destrukci dutiny vlivem povětrnostních podmínek. Obdobný vztah byl v posledních letech potvrzen i u druhů hloubících si své nory do písčito-hlinitých stěn (břehule, vlhy, ledňáček). Každý z norujících druhů ptáků žijících u nás má ale poněkud odlišné požadavky. Zdá se, že odlišná penetrabilita je dokonce jednou z hlavních příčin existence oddělených kolonií břehule říční a vlhy pestré (*M. apiaster*) na jižní Moravě. Místa potravně vyhovující vlahám jsou optimální i pro břehule (ne naopak), avšak vlhy využívají pro vyhrabávání hnízd substrát s odlišnou penetrabilitou a zrnitostí. Většinou jsou proto kolonie těchto dvou druhů prostorově odděleny, smíšené kolonie jsou vzácné, navíc i v nich můžeme vesměs vidět nory vln v jiných vrstvách písku než nory břehulí (Heneberg 2009).

Požadavky na optimální penetrabilitu hnízdních stěn norujících ptáků mají dokonce souvislost s ochranou těchto druhů. Dodnes často se vyskytující způsob „ochrany“ hnízdišť břehulí spočívá v pozastavení těžby v místě, kde jsou kolonie. Jde však o typickou ukázkou nevhodného přístupu. Pokud se hnízdní stěna ponechá bez těžebních zásahů, dojde buďto k její erozi a sesunutí, anebo naopak k razantnímu zvýšení kompaktnosti (příčinné ve stěně mohou být i po desítky let viditelné staré, ale neobsazené nory břehulí). Ponechání stěny v bezzásahovém režimu vede tedy k opuštění lokality. V původních hnízdištích, v březích řek, byl tento problém řešen pravidelnou erozí stěn během záplav v předjarním období. Na hnízdištích vytvořených člověkem (těch je nyní v ČR 97 %) je nutno zajišťovat během mimo-hnízdního období pravidelné odtěžování povrchu hnízdní stěny nejméně v dvouletých intervalech. Jen tak se udržuje penetrabilita exponovaného svahu v mezích přijatelných pro hnízdění břehule říční.

Bahňáci

Na optimálních vlastnostech půdy nejsou závislé jen norující druhy ptáků. O bahňácích, skupině druhů vázaných převážně



3 Penetrabilita půdy dramaticky ovlivňuje ochotu břehule říční (*Riparia riparia*) hnízdit na dané lokalitě. Podle: P. Heneberg (Ecol. Res. 2009, 24: 453–459)

na vodu a hnízdicích většinou na zemi, je již řadu let známo, že umístění jejich lovišť i hnízdišť souvisí s měnící se penetrabilitou půdy. Důvody jsou patrné dva. Prvním je ochrana hnízda – čím nižší penetrabilita, tím nesnadnější je přístup k hnízdu pro případného čtyřnohého predátora. Hnízda v méně přístupných částech louky či pláže jsou tedy lépe chráněna. Tento vztah byl zaznamenán např. u vodouše rudonohého (Smart a kol. 2006).

Druhým z důvodů je dostupnost potravy. Penetrabilita půdy totiž úzce souvisí s výskytem bezobratlých – nejen těch suchozemských, ale i vodních druhů žijících v pobřežních zónách a sloužících bahňákům jako častá kořist. Úzký vztah mezi penetrabilitou příbřežní zóny a výskytem jednotlivých druhů bezobratlých byl zjištěn u tak rozmanitých skupin, jako jsou mlži, mnohoštětinatci, máloštětinatci, pásnice, sumýšovci, různonožci, krabi, pakomárovití nebo jiní dvoukřídlí (Hsu a kol. 2009). Vzhledem k tomu, že tyto živočichové tvoří podstatnou část potravy většiny bahňáků, nepřekvapí, že vedle výšky vegetace tvoří penetrabilita substrátu jednu z klíčových proměnných ovlivňujících přítomnost těchto ptáků na dané lokalitě (např. Colwell a Dodd 1995).

Konipasi a ptáci zemědělské krajiny

Posledním příkladem jsou ptáci otevřené zemědělské krajiny. Početnost většiny z jejich druhů v celé Evropě včetně České republiky setrvale klesá (Reif a kol. 2008). Spekuluje se o vlivu používání pesticidů, insekticidů, nesprávného načasování zemědělských prací, poklesu výměry orné půdy aj. Pokud se ale podíváme na početnost jednotlivých druhů v menším měřítku, řekněme na úrovni jednotlivých farem a zemědělských podniků, naskytne se nám poněkud odlišný obrazek. Na některých místech stále ještě potkáme druhy, které v sousední vesnici před několika málo lety vymizely. Jeden z těchto biotopů musí tedy hnízdicí ptáci rozpoznávat jako kvalitnější a druhý jako méně kvalitní. Zde se skrývá možný klíč k nápravě neutěšeného stavu – je nutné najít jeden či více rozdílů mezi skupinami farem, z nichž jedno-

tlivé druhy nemizí, a naopak druhou, kde bývaly jen v minulosti.

O něco podobného se pokusil již zmíněný J. J. Gilroy u anglického poddruhu konipasa lučního (*M. flava flavissima*), u něhož byl v Anglii zaznamenán 65% úbytek mezi lety 1972 a 2006. Na vybraných farmách zjišťoval celou řadu proměnných – od klasické početnosti hmyzu (potravy konipasa) a druhu pěstovaných plodin, přes podíl organické složky v půdě, až k penetrabilitě půdy. A právě ta se ukázala být faktorem, který nejlépe vysvětloval změny v početnosti konipasa lučního. Tam, kde půda po užití nevhodné technologie ztvrdla, konipas chyběl. Důvodem může být skutečnost, že místa se ztuhlou půdou podporují přítomnost menšího množství hmyzu. Ztvrdlá půda může sloužit konipasům jako jakýsi signál, že daná lokalita nebude v době hnízdění schopna poskytovat dostatečné množství potravy. Druhým důvodem, o němž Gilroy uvažuje, je možnost, že kompaktní půda konipasům ztěžuje hloubení hnízdní kotlinky a její dostatečné odvodňování v obdobích s větším množstvím dešťových srážek.

Na tomto místě je důležité podotknout, že v Evropské unii existují směrnice na ochranu zemědělské půdy. Jsou ale zaměřeny jen na udržení jejich produkčních vlastností. Z pohledu platných norem byly všechny Gilroyem testované vzorky půdy v pořádku. Konipas je tedy k degradaci půdy citlivější než zemědělské plodiny. Zůstává otázkou, zda je zjištěná závislost omezena jen na tento jeden druh, anebo zda jde o obecný fenomén ovlivňující rozšíření a početnost většího spektra druhů zemědělské krajiny.

Klíčové druhy

Změny ve fyzikálních vlastnostech půdy, např. penetrabilitě, mají dramatický dopad na přítomnost jednotlivých klíčových druhů – ekosystémových inženýrů – čímž následně ovlivňují i výskyt desítek dalších na ně vázaných organismů. Za významné ekosystémové inženýry bývají považováni zejména mnozí živočichové hloubící si v půdních sedimentech chodbičky či nory (obr. na 3. str. obálky). Jde o druhy, které svou aktivitou vytvářejí podmínky pro život dalších organismů. Např. nory vlhy pestré využívá nejméně 15 druhů ptáků, dva druhy plazů, jeden druh obojživelníka, čtyři druhy savců a desítky druhů bezobratlých. Ani o něco menší nory břehule říční nezůstávají stranou zájmu ostatních organismů: v Británii bylo zjištěno hnízdění 16 druhů ptáků ve starých norách břehulí (Mead a Pepler 1975). U nás je využívá zejména vrabec polní (*Passer montanus*), pro kterého představují důležitý hnízdní biotop mimo intravilány obcí. Podobné příklady lze nalézt i u savců (např. nory krtka obývá pět druhů obojživelníků, tři druhy plazů a 16 druhů malých savců), u plazů (severoamerické želvy rodu *Gopherus*) a hlavně půdních bezobratlých (žížaly aj.).

Na optimální penetrabilitě půdy tedy závisí výskyt mnoha skupin živočichů, a proto by měla být změnám ve fyzikálních vlastnostech půdy věnována při ochraně přírody mnohem větší pozornost než dosud.

Laboratorní chov čmeláků a jeho význam

Význam čmeláků jako opylovačů mnoha rostlinných druhů je znám již po staletí, avšak možnostmi jejich chovu za účelem zlepšení a zvýšení výnosů v zemědělství se začali vědci zabývat až přibližně ve druhé třetině 20. stol. Úvahy o domestikaci čmeláků se ale objevují již v knize F. W. L. Sladena *The Humble-bee* z r. 1912. První pokusy s chovem byly po mnoho let zaměřeny prakticky jen na sezonní chov v malých úlech ve volné přírodě. Během následujících desetiletí přinesly výzkumy v oblasti života čmeláků mnoho nových poznatků, které postupně umožnily tyto blanokřídlé využívat k opylování v zemědělství podobně jako včely. Zásadní pokrok v chovu čmeláků však znamenal až přesun řízeného chovu do laboratoří v 60. letech 20. stol., který vyřešil počáteční problémy s iniciací čmeláčích matek ke kladení vajíček a s laboratorním zimováním matek. Jakmile byla zvládnuta metoda laboratorního chovu, i nezávisle na ročním období, začalo se uvažovat o možnostech jejich komerčního chovu, který byl nakonec zahájen v r. 1987. Nyní se na světě ročně vyprodukuje kolem milionu kolonií čmeláků, a to převážně čmeláka zemního (*Bombus terrestris*) a *B. impatiens*. Tyto druhy vytvářejí početné kolonie a nejlépe se přizpůsobují laboratorním podmínkám. V České republice se již od 60. let zabývá laboratorním chovem čmeláků Vladimír Ptáček z Masarykovy univerzity v Brně, který je uznávanou vědeckou osobností v této oblasti výzkumu u nás i v zahraničí.

Čmeláci jsou oproti včelám vhodnější pro opylování v uzavřených prostorách, jako jsou např. skleníky, fóliovníky a izolační klece určené pro množení osiv v rámci genových zdrojů, protože na rozdíl od včel zde nepodléhají stresu. Další výhodou při využití ke komerčnímu opylování je jejich menší agresivita ve srovnání se včelami a to, že létají i při poměrně nízkých teplotách (6 °C), za podmračeného počasí či dokonce mírného deště. Čmeláci opylují zejména jeteloviny, raně kvetoucí košťaloviny, mnohé byliny a ovocné stromy. Nejvyšší ekonomický přínos však znamenají pro světovou produkci rajčat a paprik, kde pozitivně ovlivňují kvalitu plodů (pravidelnější tvar a vyšší hmotnost). Zde jako opylovači nemají konkurenci.

kých teplotách (6 °C), za podmračeného počasí či dokonce mírného deště. Čmeláci opylují zejména jeteloviny, raně kvetoucí košťaloviny, mnohé byliny a ovocné stromy. Nejvyšší ekonomický přínos však znamenají pro světovou produkci rajčat a paprik, kde pozitivně ovlivňují kvalitu plodů (pravidelnější tvar a vyšší hmotnost). Zde jako opylovači nemají konkurenci.

Využívání čmeláků v zemědělství má však i své záporné stránky, a to zejména v dovozu úlů s nepůvodními druhy nebo poddruhy čmeláků ze zahraničí. Příliv rozdílných genů ve formě různých ekologických variant spolu s převozem parazitů a chorob může narušit početnost a vitalitu místní populace. Z tohoto důvodu by bylo přínosné rozšířit umělý chov v našem zemědělství natolik, aby zcela pokryl potřebu po opylování z domácích zdrojů.

Kromě komerčního využití v zemědělství má laboratorní chov čmeláků velký význam pro vědu, kde jsou čmeláci často využíváni jako modelové organismy pro studium vztahů v ekosystémech a mechanismů vzniku a vývoje sociální hierarchie. Umožňuje sledovat způsob života kolonií různých druhů tohoto hmyzu a poskytuje mnoho cenných informací, které jsou užitečné při provádění aktivit směřujících k podpoře početnosti čmeláků v přírodě a k ochraně vzácných druhů. Všichni evropští znalci se totiž shodují na tom, že zejména vlivem intenzifikace a chemizace zemědělství čmeláků za poslední desetiletí v přírodě výrazně ubylo.

Život čmeláků

Čmeláci jsou sociální hmyz, avšak na rozdíl od včel vytvářejí pouze jednoleté kolonie, které zakládá matka bez pomoci dělnic. Oplozené matky totiž jako jediné z kolonie přežijí ve vhodném úkrytu zimu, zatímco dělnice a samci na podzim hynou. Jakmile se na jaře oteplí a rozkvetou první rostliny, matky opouštějí svá zimoviště. Poté, co si doplní energii v podobě nektaru a pylu z jarních květů, začnou hledat vhodné místo k založení hnízda, a to v zemi, ve stromech, budovách nebo pod trsy trávy. Hnízdní dutinu matka nejprve vystele vhodným materiálem z okolí a vystaví zde tzv. medový džbánek, kam uloží zásobu medu na dobu, kdy zejména za vydatného deště nebude moci opustit hnízdo. Med čmeláků je řidší než u včel, a protože jejich kolonie nepřezimují, jsou zásoby jen malé. Po několika dnech vytvoří matka voskovou buňku, do které naklade první vajíčka. Larvy se líhnou po 4–6 dnech a přibližně po 20 dnech intenzivního krmení se zakuklí v kokonu upředem z vláken vyprodukovaných slinnými žlázami. Po dalších dvou týdnech se z kokonu prokouše ven dospělý čmelák.

Zpočátku se za normálních okolností líhnou pouze dělnice a až později se objevují samci a matky další generace. Pokud však matka nebyla oplozena, začnou se ihned líhnout samci a kolonie brzy zaniká. Jedinci odchovaní z prvních vajíček dosahují často jen velikosti mouchy, protože je samotná matka nezládla dostatečně vyživit. S postupným přibýváním dělnic, tedy pomocníků, se však líhnou větší jedinci, ačkoli velikosti matky obvykle nedosáhnou. Po vylíhnutí prvních dělnic matka již nevyletuje z hnízda za potravou a věnuje se pouze kladení vajíček a péči o larvy. Ve vrcholné fázi rozvoje hnízda začne matka klást neoplozená vajíčka,

1 Samec čmeláka zahradního (*Megabombus hortorum*). Slunečnice jsou koncem léta vyhledávaným zdrojem potravy různých druhů čmeláků. Foto V. Ptáček

