



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zlepšení kvality výuky ekologických oborů na PřF UP v Olomouci
reg. č.: CZ.1.07/2.2.00/15.0265

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Praktika z půdní zoologie

Ivan H. Tuf

Olomouc 2013

Oponenti: prof. Ing. Slavomír Stašiov, PhD.
RNDr. Karel Tajovský, CSc.

1. vydání

© Ivan H. Tuf, 2013

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2013

Foto na obálce: stínka obecná (*Porcellio scaber*), oblíbený modelový druh půdních biologů.
Photo © Filip Trnka, 2009

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

ISBN 978-80-244-3479-7

Obsah

Předmluva	4
Co je to půda?	6
Jak půda vzniká	7
Složení půdy	9
Kořeny rostlin	11
Humus a jeho typy	12
Edafon	14
Metody vzorkování půdních bezobratlých	17
Odchyt půdních bezobratlých v terénu	17
Laboratorní zpracování půdních vzorků	26
Použitelnost jednotlivých metod výzkumu	30
Modelové skupiny půdní makrofauny	32
Žížalovití (Lumbricidae).....	32
Stonožky (Chilopoda).....	33
Mnohonožky (Diplopoda).....	35
Suchozemští stejnonožci (Oniscidea).....	36
Pavouci (Araneae)	38
Střevlíkovití (Carabidae)	40
Význam půdy pro člověka	42
Ohrožení půdy a její ochrana	44
Eroze půdy	44
Acidifikace půdy	45
Dehumifikace půdy	46
Kontaminace půdy	48
Kompakce půdy	49
Zábor půdy	50
Půda v právních souvislostech	51
Ohrožení edafonu a jeho ochrana	54
Pokusy.....	59
Experiment: Oživení půdy.....	60
Experiment: Život kolem nás.....	62
Experiment: Vliv vybraných skupin edafonu na půdu	64
Experiment: Účinnost zemních pastí 1	66
Experiment: Účinnost zemních pastí 2	68
Experiment: Účinnost zemních pastí 3	70
Experiment: Možnosti značení střevlíků	72
Experiment: Značení a opětovný odchyt střevlíků	74
Experiment: Možnosti značení plžů	76
Experiment: Možnosti značení suchozemských stejnonožců	78
Experiment: Možnosti značení svinulí.....	80
Experiment: Vliv značení svinulí na jejich chování	82
Experiment: Thanatóza jako obranná reakce střevlíků	84
Experiment: Thanatóza jako obranná reakce mnohonožek a stejnonožců	86
Experiment: Agregační chování stínek v přítomnosti predátorů	88
Použitá a doporučená literatura.....	90

Předmluva

Tento učební text vznikl jako pomůcka pro výuku předmětu Praktika z půdní biologie na katedře ekologie a životního prostředí Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Uvedený předmět je volitelný, vyučovaný jedenkrát za dva roky, přičemž (zatím) tato frekvence plně postačuje uspokojit poptávku studentů. Půdní zoologie je nicméně neprávem opomíjená disciplína ekologických věd, o čemž Vás, doufám, tento text přesvědčí.

Obecně lze na Zemi obývat „vzduch“ (ať už stojíte pevně nohama na zemi, nebo létáte v povětří), vodu (sladkou, slanou i podzemní) či půdní prostory (a jeskyně). Ve „vzduchu“ my lidé žijeme celý život, prozkoumáváme jej dennodenně a zdejší živočichové jsou nám často důvěrně známi (pokud nejsou příliš malí či noční). Zatímco hydrobiologie se svými poměrně jednoduchými potravními sítěmi a společenstvy dala vzniknout ekologii samotné, půda stojí stále v ústraní. Hlavní nevýhodou je špatně pozorovatelný život jejích obyvatel; zatímco pro sledování nosorožců či nosorožků v podstatě nic nepotřebujete a pro průzkum potoka Vám stačí síťka a (choulostivější vyžadují) gumáky, do půdy se nahlédnout lehce nedá. Aplikovaná hydrobiologie má také například velkou amatérskou základnu v rybářích či akvaristech. Rybáři se kromě ryb slušně vyznají i ve vodních bezobratlých, jakožto vhodné návnadě pro ryby. Zajímají se o různé skupiny vodních bezobratlých a snaží se je co nejvěrněji napodobit. Naproti tomu z půdy se žádné potenciálně zkonsumovatelné zvíře získat nedá (alespoň v našich podmínkách). Proto zahrádkáři znají maximálně žížalu (vítaná) a krtek (nevítaný). Drátovci, krtonožky, norníci – to už je obecně havěť, kterou je třeba hubit, k čemuž není třeba ji příliš pozorovat. Pokud zvíře úrodě neškodí (ať už na poli, na zahrádce či v lese), je tiše trpěno jako nezajímavý leč neškodný „podnájemník“, kterého vyhánět by bylo plýtváním energií.

Tato skripta se pokoušejí představit půdu jako nesmírně zajímavý objekt výzkumu, jako prostředí obývané pozoruhodnými živočichy. První část je

teoretická, představuje samotný půdní systém, jeho vznik, významné části a obyvatele, jakož i ohrožení a ochranu půdy i edafonu (s ohledem na obor, jež garantuje Katedra ekologie a životního prostředí). V druhé, praktické části uvádím návody na jednoduché experimenty, které lze ve výuce půdní biologie, respektive zoologie, provádět. Experimenty jsou řazeny přibližně dle stupně náročnosti, a to jak náročnosti zajištění, tak i provedení. Nejprve jsou uvedeny experimenty triviální, vhodné i například do výuky na základní škole, později experimenty komplikovanější. Komplikované jsou sice na pochopení či znalosti chování živočichů, domnívám se však, že i je lze zařadit do výuky na nižších stupních škol. Koneckonců, i děti na základní škole jsou schopny kvalitně „dělat vědu“ ☺ (viz studii Blackawton a kol. 2011).

Co je to půda?

Odpověď na otázku v názvu kapitoly se liší podle toho, kdo na ni má odpovědět. Objektivně řečeno, je půda nejsvrchnější vrstvou zemské kůry, je prostoupená vodou, vzduchem a organizmy, vzniká v procesu pedogeneze pod vlivem vnějších faktorů a času a je produktem přeměn minerálních a organických látek. Vnějšími faktory, rozrušujícími půdotvorný substrát (např. skalní podloží), jsou klimatické a fyzikální (změny teploty, gravitační síla, promývání), chemické (rozpuštění, rozleptávání, krystalizace) a biologické (kořenové exudáty, organická hmota, promíchávání a provzdušňování půd organizmy) vlivy. To je odpověď pedologa, vědce, který půdu studuje. Jinou odpověď by však dali živočichové, pro které je půda substrátem, po kterém se pohybují, místem, kde mohou nacházet útočiště trvalé či dočasné, kde nacházejí potravu, kde se vyvíjejí. I člověk si (možná od nepaměti) zpevňuje půdu pro usnadnění pohybu a transportu, i člověk si hloubí zemižanky, sklepy a bunkry, i člověk z půdy vyhrabává brambory, lanýže, podzemnici či vajíčka tabonů a želv. Rostliny by zřejmě v odpovědi zdůraznily skutečnost, že v půdě musí být dostatek vody, vzduchu (pro dýchající kořeny) i živin a že půda musí být dostatečně prostupná pro růst kořenů a dostatečně pevná, aby se rostlina udržela ve vzpřímené poloze, když se snaží rozprostřít své listy nad okolní porost. Naproti tomu zemědělec a lesník by půdu nazvali výrobním nástrojem, který jim umožňuje pěstovat komodity, o které mají spotřebitelé zájem (plodiny, píci, dřevo). Ekologové by kromě produkční funkce půd uvedli ještě její význam pro filtraci vody a pufrační médium pro řadu škodlivin a potenciálně rizikových látek, roli půdních mikroorganismů v dekompozici mrtvé organické hmoty a koloběžích řady prvků (C, N, P, S), zjevnou vlastnost půdy poskytovat prostor pro umístování staveb, pro rekreační činnost a další aktivity člověka. Rovněž války se primárně vedly o zemi a porobený národ přicházel o půdu. V neposlední řadě by i mohlo být uvedeno, že půda je prostředím, v němž probíhá archeologický a paleontologický výzkum.

Skutečnost, že půda vzniká spolupůsobením abiotických a biotických faktorů, ji odlišuje od jiných anorganických substrátů, které půdou nejsou. Pouze abioticky zvětralé substráty (například prach na Měsíci, ve kterém je obtisknuta slavná Armstrongova šlépěj) jsou pouhým regolitem bez důležitých vlastností typických pro půdu. Tvrdívá se, že půda je oživený (dané organizmy jsou v půdě jaksi „navíc“) subsystém (součást ekosystému); mnohem pravdivější je však tvrzení, že půda je živý systém. Bez půdních organizmů by půda nebyla půdou.

Jak půda vzniká

Stručná odpověď na otázku v nadpisu je „pomalu“. Pokud se však pokusíme odpovědět zevrubněji, musíme si uvědomit, že na vznik půdy má vliv pět hlavních faktorů. Jsou to Klima, Reliéf, Čas, Matečná hornina a Organizmy (mnemotechnická pomůcka: počáteční písmena tvoří „slovo“ KRČMO). *Klima* ovlivňuje vznik půd jednak množstvím a charakterem srážek a jednak teplotou. V chladném klimatu jsou chemické i biologické procesy pomalejší, zpomaluje se i dekompozice. Teplota také ovlivňuje míru evaporace půdy a transpirace rostlin. Ve vlhkém klimatu, což je v podstatě často provázeno nadměrným přísunem vody do půdy, často dochází k vyplavování rozpustných látek ze svrchních vrstev půdy – takové půdy mohou být chudé živinami. *Reliéf* (neboli topografie) označuje, v jaké krajině půda vzniká. Reliéf převážně souvisí s náhyností k erozi – strmé svahy jsou často erodovány vodou a přítomné půdy jsou velmi chudé. Naproti tomu na úpatí svahů mohou vznikat často mocné půdní vrstvy. S reliéfem souvisí také tvar a hloubka hladiny podzemní vody. *Čas* je faktor, který určuje množství vzniklé půdy, respektive její stáří. Některé půdy jsou velmi staré, jiné zase poměrně mladé (strmé svahy, půdy aluvií velkých řek atp.). V mladých nevyvinutých půdách převládá vliv matečné horniny, staré půdy jsou silně ovlivněny dlouhodobým vývojem, oživením a vegetací, která na nich roste. *Matečná hornina*, která zvětrává a poskytuje hlavní minerální složku půdy, může být vyvřelá hornina (žula, čedič), sedimentární hornina (vápenec, pískovec, břidlice), metamorfovaná hornina (rula, mramor), ale také vrstvy materiálů (substrátů) vzniklé činností ledovce, vody či větru (ledovcové morény, písky, štěrky, duny, vulkanický popel, spraš).

Matečná hornina určuje základní chemizmus půd – podle podloží můžeme poznat, které prvky budou v dostatku a které v nedostatku. Mezi *organizmy* ovlivňující vznik půd patří jednak rostliny, které svými kořeny mohou napomáhat zvětrávání matečné horniny, jednak mikroorganismy a živočichové, kteří se podílejí na dekompozici převážně mrtvé rostlinné hmoty a jejím promícháváním a zapracováváním do minerální složky půd. Vegetace je také nejvýznamnějším zdrojem mrtvé organické hmoty v půdě (ve formě nadzemního i podzemního opadu). V chladných klimatických podmínkách, kde je rozklad organické hmoty silně brzděn, mohou vznikat namísto minerálních půd (založených na zvětrávání matečné horniny) tzv. půdy organické. Ty se tvoří postupnou akumulací opadu a jeho velmi pomalou přeměnou.

Kromě těchto pěti faktorů se na vzniku půd podílejí také fyzikální, chemické a biologické procesy. Těch je mnohem více, některé z nich jsou univerzálně společné všem půdám, jiné jsou více specifické. *Fyzikální zvětrávání* je rozrušování matečné horniny působením změn fyzikálních podmínek. Vlivem kolísající vlhkosti může být hornina rozrušována zmokřením a vysušením, podobně působí teplotní výkyvy (zmrznutí a tání substrátů či horniny), změny tlaku způsobují vznik trhlin apod. Vlivem energie větru či proudu vodního toku může docházet k abrazi (obrušování) a následnému transportu částic. Výsledkem toho jsou vždy menší částice, jež se podílejí na stavbě půdy. Při *chemickém zvětrávání* naproti tomu je rozpouštěna hornina a odplavují se ionty určitých prvků (viz krasové jevy při rozpouštění vápence slabou kyselinou uhličitou). S tím souvisí i *eluviace* půd, kdy svrchní vrstvy půdy jsou ochuzovány o rozpuštěné látky a nejmenší jílové částice. Hlubší obohacený horizont, ve kterém probíhá *iluviace*, obsahuje vysrážené látky a jílové částice, jež je zhutňují. Další půdotvorné procesy jsou například *akumulace organické hmoty* v podmínkách, kde je proces dekompozice velmi pomalý (rašeliniště, tajga atp.), ať už se přitom jedná o opad nadzemních částí rostlin, či hromadění odumřelých kořenů v půdě (prárie, stepi). V půdě také probíhají *oxidačné redukční* reakce, při nichž vznikají či se uvolňují například různé ionty železa, které následně zabarvují půdní horizonty hnědavě či rezavě. Půdy mohou být v suchém klimatu také *zasolovány* – podzemní voda, vzlínající kapilárními

silami k povrchu, přenáší rozpuštěné soli z matečné horniny a ty se pak vysrážejí na povrchu půdy.

Půda vzniká velmi pomalu, centimetrová vrstvička půdy řádově stovky let. Na druhé straně pak může být velmi rychle člověkem zničena...

Složení půdy

Půda nejsou jen pevné částice, půda má i plynnou a kapalnou fázi.

Plynná fáze – půdní póry mohou obsahovat vzduch. Nejvíce vzduchu je samozřejmě ve strukturních rozvolněných půdách, nejméně je ho v jílovitých půdách s malými póry. Každopádně se složení půdního vzduchu liší od složení vzduchu mimo půdu. Hlavní rozdíl je v obsahu dvou plynů, které úzce souvisejí s metabolismem organismů – kyslíku a oxidu uhličitého. Kyslíku je v půdě obecně méně než mimo půdu, oxidu uhličitého je více, konkrétní hodnoty jsou velmi proměnlivé a ovlivněné metabolismem půdních organismů. Důvodem je pomalá difuze plynů mezi půdou a atmosférou. Zatímco v půdě přítomné organismy respirují a produkují oxid uhličitý, fotosyntéza doprovázená uvolňováním kyslíku probíhá jen v nejsvrchnější vrstvičce půdy, do které pronikají sluneční paprsky. Obsah kyslíku obvykle dosahuje 10–20 %, ale často je nižší, obsah oxidu uhličitého v půdách kolísá v rozmezí 0,5–5 %, v blízkostech kořenů či v určité období ale dosahuje i desítek procent! Dlužno však podotknout, že půdní organismy jsou dobře adaptovány na zvýšenou koncentraci oxidu uhličitého, řada z nich dokonce podle změny koncentrace dokáže aktivně vyhledávat svou potravu – (respirující) kořeny rostlin. Třetí významná odlišnost je vzdušná vlhkost půdního vzduchu. Je-li v půdě dostatek vody, vlhkost půdního vzduchu se udržuje na 100 % i během letních měsíců.

Kapalná fáze – půdní póry, které nejsou vyplněny vzduchem, jsou zaplaveny vodou. Voda se do půdy dostává jednak dešťovými srážkami, jednak přitéká. Přitékat může po povrchu, velmi významný je však i podpovrchový tok půdní vody. Voda v kapilárách se nazývá kapilární a může kapilárními silami stoupat k povrchu půdy a odpařovat se. To dobře vědí zemědělci, razící heslo „kdo nezalévá, ať okopává“. Právě okopávání má za následek přerušení těchto

kapilár a vede ke snížení odparu z povrchu půdy. Druhý typ půdní vody je voda adsorpční, která je vázána hygrokopicky na povrch půdních částic. Voda gravitační vyplňuje větší otvory a chodby v půdě a zasakuje hlouběji.

Voda obsahuje rozpuštěné a eventuálně i vyluhované látky, organické i anorganické. Ve vodě jsou rozpuštěny i živiny nezbytné pro růst rostlin, kromě kationtů zásad obsahuje také ionty hydrogenuhličitanové, síranové a dusičné a stopové prvky. Kromě chemických reakcí, které voda vyvolává či umožňuje, má také vliv na fyzikální vlastnosti půdy, jako je mimo jiné teplota.

Pevná fáze – půdu tvoří kromě vodního roztoku a vzduchu také pevné částice. Vzhled půdy určují jak minerální složka (kameny, písek, jílové částice), tak organické složky. Organická hmota je v půdě jednak v mrtvém stavu (odumřelé kořeny a zbytky živočišného původu, opad, humus), jednak v živém (kořeny rostlin, edafon).

Anorganickou složku půdy představují minerální částice různé velikosti. Velikost půdních částic přitom určuje zrnitostní složení půdy neboli texturu půdy. Zjišťuje se laboratorně poměrně jednoduše (fyzická náročnost se nepočítá) tak, že se vysušená půda rozdělí na soustavě sít na jednotlivé velikostní frakce a vyjádří se jejich hmotnostní zastoupení v půdě. Na základě textury určíme půdní druhy: písčité půdy obsahují velké procento minerálních částic větších než 2 mm, hlinité půdy obsahují převážně částice o velikosti 0,02 mm. S velikostí zrn souvisí také rychlost vysychání a vymývání půd; proto písčité půdy hostí relativně chudá společenstva rostlin. Nejvýznamnější pro půdní chemismus jsou jílové částice (menší než 0,002 mm). Mají záporný náboj, a proto ochotně poutají kationty, s humusem tudíž vytvářejí organominerální komplexy důležité nejen pro výživu rostlin, ale i pro vznik struktury půdy (půdní agregáty). Jíly jsou nicméně náchylné k eluviaci a utužení. Vlivem iluviace také vznikají „zacementované“ vrstvy v půdním profilu, které podobně jako utužené vrstvy brání růstu kořenů rostlin a edafonu v jeho hloubení chodeb a také omezují vsakování srážkové vody.

Kořeny rostlin

Většina rostlin koření v půdě a získává pomocí kořenových systémů z půdy vodu a živiny. Tvar a rozvoj kořenů není náplní tohoto učebního textu, ale obecně můžeme říci, že na rozvoj kořenů má vliv jednak mocnost půdy, jednak její úživnost a jednak zamokření, respektive hloubka hladiny podzemní vody. Kořeny dobře prorůstají strukturními neslehlými půdami a jsou pak přístupné mikroflóře (bakterie, houby, aktinomycety) i v hlubších vrstvách půdy. Dlužno však podotknout, že rozmanitost kořenových systémů souvisí také s druhovou příslušností rostlin.

Humus a jeho typy

Mrtvá organická hmota v půdě se mění v humus. Humus sám je vlastně směs humusových látek (polysacharidy, aminové kyseliny, fenolické látky), které jsou navíc nestabilní. Humus je amorfní a rozměry jeho částic se mohou měnit tak, jak se složitá síť polymerů přeuspořádává. Tato komplikovaná trojrozměrná síť má díky tomu velký aktivní povrch, proměnný náboj (podle toho, kolik iontů je orientováno „ven“) a velmi ochotně vytváří komplexy s dostupnými půdními kationty. Humusové látky se proto významně podílejí na vzniku půdních agregátů.

Dle stupně rozkladu mrtvé organické hmoty vznikají různé typy humusu. V chladném klimatu rostou rostliny, které ve svých pletivech mají velké množství ligninu (typicky jehličnaté lesy či bučiny). Opad takovýchto rostlin je chudý na dostupný dusík a proto špatně stravitelný pro mikroorganismy i půdní živočichy. Půdy v těchto oblastech navíc jsou poměrně kyselé a obsahují málo zásad. Nedokonalým rozkladem vznikají převážně fulvokyseliny, které nejsou neutralizovány zásadami a dále okyselují půdu. V kyselé půdě se nedaří bakteriím ani aktinomycetám (které by dále rozkládaly opad) a navíc v takové půdě erodují existující jílové koloidní komplexy. Fulvokyseliny příliš bohaté organominerální komplexy nevytvářejí, tyto půdy jsou proto chudé živinami a obsahují výraznou vrstvu nerozloženého či nedokonale rozloženého opadu na ochuzeném iluviálním horizontu. Tento typ humusu se nazývá mor. Protože je silně prorostlý hyfami hub, má i starší název mykogenní humus.

V klimaticky mírnějších podmínkách produkují rostliny opad s vyšším obsahem dusíku (listnaté lesy). Ten umožňuje rozvoj bohatších společenstev mikroorganismů i půdních bezobratlých. Ty vytvářejí chodbičky, které napomáhají lepšímu zasakování vody i provzdušnění, což dále napomáhá rozvoji mikrobiálních společenstev. Rozklad opadu však není dokonalý, humus se makroskopicky skládá hlavně z úlomků rostlinných pletiv a exkrementů

půdních bezobratlých. Proto se moder (jak se tato forma humusu nazývá) jmenuje také koprogenní humus.

V teplém a vlhkém klimatu (v našich podmínkách nížinné lesy, travnaté porosty atp.) je dostatek dusíku i zásad pro maximální rozvoj společenstev bakterií, aktinomycetů i půdních živočichů. Zásady neutralizují fulvokyseliny a ty jsou také resyntetizovány v trávicím traktu větších živočichů (například žížal) do organominerálních komplexů huminových kyselin a jílových částic. Na vzniku půdních agregátů se kromě těchto komplexů podílejí také mukózní látky, vylučované žížalami ve formě slizu, a rozvoj houbových vláken. Tato ideální forma humusu, která dokáže vázat nejvyšší množství dostupných kationtů (a postupně je uvolňovat pro potřebu rostlin), se nazývá mull, neboli jemný humus (čili měl).

Nedostatek půdních zásad převážně v horských lesích namnoze zapříčinil člověk. Lesní ekosystémy soustavně po mnoho staletí ochuzoval o vápník, draslík i hořčík jednak kácením a odklizením stromů, jednak hrabáním steliva pro dobytek (odtud pojem *hrabanka*). Proto v dnešní době tento poznatek prakticky uplatňují lesníci pro vápnění lesů. Dodatek vápníku sníží kyselost půd a umožní kvalitnější rozklad opadu. V příliš vlhkých (deštivých) podmínkách však mohou být tyto živiny ze svrchních vrstev vyplaveny do podzemní vody a vápnění tak může způsobit totální ochuzení půd o živiny.

Edafon

Edafon, česky též *živěna půdní*, je termín, který do ekologie zavedl Němec Raoul Heinrich Francé v roce 1913 vydáním knihy „Das Edaphon. Untersuchungen zur Oekologie der bodenbewohnenden Mikroorganismen“. Edafonem se v dnešní době nazývá soubor organismů, které se volně vyskytují v půdě. Nepatří sem tedy kořeny rostlin ani jejich semena.

Půdní organizmy se klasicky dělí na *zoedafon* a *fytoedafon*, přičemž toto dělení je podle příslušnosti k dvěma říším rozlišovaným na začátku taxonomie. V dnešní době bychom mohli říci, že k fytoedafonu řadíme příslušníky říší bakterie, Archea, houby a rostliny, zatímco k zoedafonu řadíme zástupce prvoků a živočichů. Ekologové (nejen němečtí) rádi škatulkují, takže klasifikaci edafonu se posléze objevila celá řada. Zajímavé je dělení zoedafonu *podle místa výskytu* v půdním profilu:

1. *Epigeon* je souhrnné označení pro druhy, které obývají povrch půdy a opadanku čili hrabanku (nadložní organický horizont O). Typickými zástupci jsou například střevlíci, štírci, slídáci, stínky atd.
2. *Hemiedafon* je souhrnné označení pro druhy, které se vyskytují ve svrchních vrstvách půdy (humusový horizont A). Patří mezi ně řada menších druhů stonožek a mnohonožek, řada druhů chvostoskoků, stonoženky atd.
3. *Euedafon* je souhrnné označení pro druhy, které nalézáme hlouběji v půdě. Klasickými zástupci jsou například tzv. hlubinné žížaly, ponravy chroustů, krtek, většina zemivek atd.

Velmi inspirativní je dělení zoedafonu *podle míry vazby* druhů na půdu. Autorem tohoto dělení je Čech Josef Kratochvíl:

1. *Euedafon* je označení pro druhy, které prodělávají celý životní cyklus v půdě. Jsou na život v půdě dobře adaptované a půdu

pokud možno neopouštějí, či jen výjimečně. Patří mezi ně zemivky, stonožky, rypoši a další.

2. *Protedafon* je označení pro druhy, které v půdě prodělávají postembryonální či larvální vývoj. První (= proto-) část vývoje tráví v půdě, dospělci pak žijí mimo půdu. Dobře známými příklady jsou cikády, chrousti či kovařící.
3. *Hemiedafon* je označení pro druhy, které jsou na půdu vázány jakoby „napůl“ (hemi- znamená polo-). To znamená, že v půdě žijí, ale potřebné podmínky (vzdušná vlhkost, tma, konstantní teplota) mohou nacházet i mimo půdu například pod kůrou, v mraveništích, v dutinách stromů atp. Běžnými zástupci jsou mnohonožky, stonožky, stínky a ostatní skupiny epigeonu.
4. *Pseudedafon* označuje druhy, které sice v půdě najít můžeme, a půdu sami vyhledávají, ale jsou jen „jakoby“ (= pseudo) edafonem. Typicky k těmto druhům patří někteří savci (myši, myšice, hraboši, křečci, sysli, rejsci, jezevci, lišky, medvědi) a ptáci (ledňáčci, vlhy, břehule), kteří v půdě vyhledávají úkryt, ale aktivní část dne (či roku) tráví mimo půdu. Také mezi bezobratlými najdeme řadu druhů, které v půdě zimují (motýli, brouci, dvoukřídlí atd.).
5. *Tychedafon* je zbytková kategorie pro druhy, které do půdy nepatří, a pokud se v ní ocitnou a nemohou ji dostatečně rychle opustit, hynou.

Tato dělení jsou informativní a tradiční, v moderní (nyní anglosaské) půdní zoologii se však neujala. Nejvýznamnějším dělením půdní fauny, které se skutečně běžně používá v odborné literatuře, je dělení *podle velikosti*:

1. *Mikroedafon* je soubor druhů, které jsou menší než 0,2 mm, dělí se na mikroflóru (bakterie, houby, aktinomycety, řasy, sinice) a mikrofaunu (prvoci, vířníci, želvušky, hlístice),
2. *Mezoedafon* je zastoupený mezofaunou – živočichy velkými 0,2 až 2 mm (roztoči, chvostokoci, velká část roupic),

3. *Makroedafon* představují živočichové (makrofauna) o velikosti 2 až 20 mm (suchozemští stejnonožci a různonožci, většina mnohonožek a stonožek, žížaly, brouci a plži)
4. *Megaedafon* jsou živočichové větší než 2 cm (megafauna; hlavně větší žížaly a obratlovci).

Na první pohled se může klasifikace organismů podle jejich velikosti jevit jako velmi nepřirozená, nicméně je praktická. Praktičnost se projeví hlavně při volbě postupů při jejich studiu, které souvisejí nejen s jejich tělesnými rozměry, ale také s jejich početností v půdě. Zatímco abundance zástupců jednotlivých skupin mikroflóry a mikrofauny se pohybuje řádově v milionech až bilionech (10^{12}) jedinců na čtvereční metr, mezofauna dosahuje abundancí desítek tisíců až milionů jedinců a makrofauna pouhých desítek až stovek. Při vzorkování společenstev mikrofauny proto stačí gramové navážky půdy nebo vzorky o velmi malé ploše, zatímco pro poznání druhového spektra např. mnohonožek (tj. zástupců půdní makrofauny) potřebujeme půdní vzorek o ploše optimálně $1/16 \text{ m}^2$ (pro lepší představu se jedná o čtverec $25 \times 25 \text{ cm}$). Jednotlivé velikostní skupiny se také liší ekologicky – například svou rolí v dekompozici opadu, tvorbě půdní struktury apod. Mikroflóra a mikrofauna se podílí na dekompozici hlavně biochemicky a chemicky, zatímco meso- a makrofauna rozkládá mrtvou organickou hmotu převážně mechanicky.

Metody vzorkování půdních bezobratlých

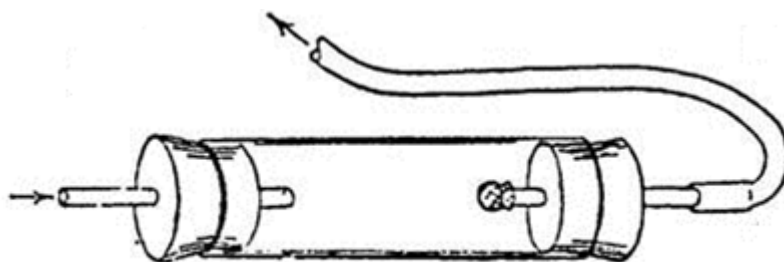
Pro potřeby posouzení stavu lokality a míry jejího případného poškození, je vhodné zhodnotit kvalitu společenstev organizmů, zde se vyskytujících. Nejjednodušší je poznat společenstva rostlin, jelikož tyto neutíkají, ani se (příliš) neschovávají. Často se však využívá také hodnocení společenstev různých skupin živočichů. Dle charakteru biotopu pak vhodnou modelovou skupinou jsou např. ptáci, obojživelníci, denní motýli či různé čeledi brouků. Bioindikační potenciál však mají i společenstva půdních bezobratlých, ať už ze skupin epigeonu či edafonu.

Odchyt půdních bezobratlých v terénu

Individuální sběr – je nejjednodušší metodou vzorkování. Spočívá ve skutečnosti, že člověk si sám na lokalitě nasbírá potřebné množství živočichů (nebo taky nenasbírá). Pomůcky, které se k individuálnímu sběru používají, jsou:

- 1) pinzeta – nejvhodnější jsou měkké, tzv. entomologické pinzety, které sníží pravděpodobnost rozmačkání drobnějších živočichů,
- 2) exhaustor – nádoba s dvěma otvory, z jednoho vede hadička do úst „lovce“, jenž vzduch nasává, čímž vytváří v nádobce podtlak (obr. 1). Ten je vyrovnáván proudem vzduchu vedeným druhým otvorem skrze trubičku či hadičku, kterou lovec používá jako vysavač. Exhaustor se hodí převážně na sběr drobných a pohyblivých živočichů, optimálně hmyzu či pavouků. Nohatější skupiny (stejnonožci se sedmi páry nohou, dospělé mnohonožky s 13 a více páry a stonožky s 15 a více páry noh) se substrátu drží relativně silně a je třeba nasávat vzduch intenzivněji. Podobně jako je ve vysavači sáček na nečistoty, je vhodné opatřit hadičku vedoucí do úst nějakým sítkem, které udrží bezobratlé v nádobce a zabrání jim proletět až do plic „lovce“.

3) štěteček – je vhodný pro sběr drobných členovců, jako jsou štírci, stonožky či roztoči. Po namočení do fixační kapaliny (lihu) nebo vody se živočichové na štětec přichytí díky adhezi na povrchu této kapaliny a následně je snadno přeneseme do sběrné nádoby. V nouzi podobně může posloužit i nasliněný prst.



Obrázek 1: Exhaustor sloužící pro „nasávání“ drobných bezobratlých (převzato z Winkler 1974)

Individuální sběr provádíme s ohledem na předpokládané mikrohabitaty, které jako životní prostředí půdní bezobratlí upřednostňují. Během něj tedy odkládáme na zemi ležící kameny a kusy dřev, prohlížíme pozorně nahromaděný opad, rozebíráme trouchnivějící pařezy a klády, kontrolujeme stěny jeskyní apod. Kromě zmíněných pomůcek proto přijde vhod i nůž či malá zahradnická lopatka. Individuální sběr je metoda velmi vhodná, pokud potřebujeme nasbírat určité množství živých jedinců konkrétního druhu, například na laboratorní pokusy. Pokud potřebné množství jedinců není příliš vysoké je to často nejrychlejší a nejefektivnější metoda. V případě potřeby vyšších počtů jedinců je obvykle vhodnější si podle možností založit a vést laboratorní chovy příslušného druhu. Pro potřeby poznání společenstva půdních živočichů na určitém stanovišti je individuální sběr sice metoda základní, ale jejím omezením je velká časová náročnost, často i pracnost a potřeba „zacvičení“ jak ve schopnosti zvíře najít, tak je uvidět a pak i chytit (efektivita noviců sběračů je často žalostně nízká). Další nevýhodou je špatná možnost kvantifikace získaných údajů (tj. počtů jedinců) v úlovku pro potřeby porovnání prostorové i časové variability společenstev. Jistá schopnost kvantifikace se naskýtá ve formě definovaných

„člověkohodin individuálního sběru“, nicméně vzhledem ke kolísání schopností jednotlivých sběračů je i toto srovnání jen velmi přibližné.

Zemní pasti – jsou zřejmě nejrozšířenější metodou ekologicky zaměřených studií půdních bezobratlých. Ačkoliv se používaly již od devatenáctého století, jedna z prvních souhrnných publikovaných prací o jejich praktičnosti a využití pochází ze začátku třicátých let minulého století, kdy je Angličan Barber použil pro odchyt jeskynních brouků. Jelikož v jeskyních je individuální sběr obvykle málo efektivní, tato metoda se stala velmi populární a zemní pasti jsou proto známy i jako Barberovy pasti. V češtině je nazýváme i padacími pastmi či pastmi formalínovými pro nejběžněji používanou fixační tekutinu. Princip metody je jednoduchý – jedná se o nádobu, zakopanou tak, aby její hrdlo lícovalo s povrchem substrátu, respektive země (proto zemní pasti). Živočich pohybující se po povrchu substrátu překročí okraj a (ideálně) spadne do pasti. Aby z pasti neunikl, je v ní umístěn nějaký smrtící roztok. Aby pasti mohly být instalovány po delší dobu a odchycení a uhynulí jedinci se v roztoku nerozkládali, je tento smrtící roztok i roztokem fixačním. Nejběžněji se používá vodný roztok již zmiňovaného formaldehydu (koncentrace obvykle 4–15 %), etylenglykol (hlavní složka nemrznoucích směsí), etanol (alespoň 70%) či nasycený solný roztok. Všechna tato média mají své metodické klady i zápory (rozebírané již v Barberově článku), ať už s ohledem na preparaci uloveného materiálu (formaldehyd není vhodný pro pozdější preparaci brouků) či s ohledem na reprezentativnost úlovku (každé médium působí jako atraktant a repelent zároveň, s ohledem na různé skupiny bezobratlých). Pro potřeby srovnání společenstev půdních bezobratlých je tedy třeba dbát ohled i na fixační roztok a při srovnávacích sběrech používat stejné médium.

Zemní pasti mohou být zhotoveny z různého materiálu (sklo, plast, kov), mohou mít různý tvar, průměr i hloubku, což všechno má vliv na vlastní efektivitu pasti (např. nejvíce živočichů dokáže unikat z kovových pastí). S průměrem pasti souvisí plocha hladiny fixační tekutiny, která ovlivňuje odpar. Velké formalínové pasti jsou tedy více cítit a uloví méně živočichů, které formalín odpuzuje, než malé pasti. Atraktivitu pastí pro predátory a mrchožravé skupiny bezobratlých

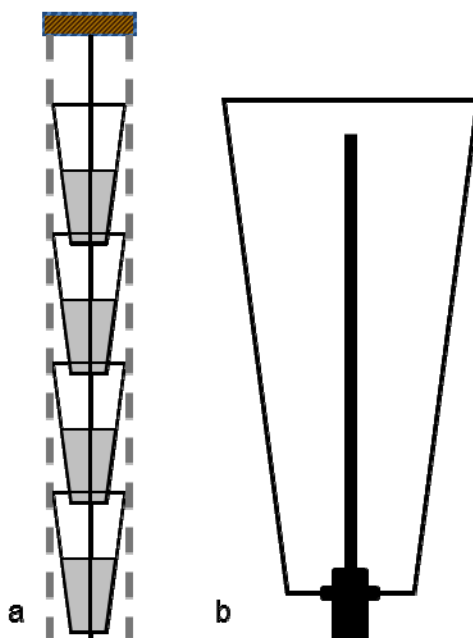
lze zvýšit použitím vhodné návnady. Návnada je obvykle umístěna v menší nádobce uvnitř pasti a tvoří ji hnijící maso či sýr. Ústí pasti může být opatřeno nálevkou (živočich nepřepadává přímo přes okraj, ale pokračuje do pasti po šikmé ploše a klouže do ní), což opět zvyšuje efektivitu pasti. Z laboratorních experimentů je totiž známo, že řada živočichů dokáže „nepřepadnout zcela“ přes okraj a z pasti poté opět vycouvat a uniknout (pozorováno zejména u forem s delším tělem a vysokým počtem párů noh, jako jsou např. mnohonožky a stonožky). Na efektivitu pasti má vliv i délka expozice (Barber vybíral pasti po půl roce) – dlouho exponovaná past je plná mrtvolek a vzniklý zápach odpuzuje většinu bezobratlých. Proti napadání listů či pro snížení odparu smrtící a fixační tekutiny je běžné pasti opatřovat stříškou, obvyklé jsou kovové, plastové, dřevěné, či jednoduše z různých přírodních materiálů (kůra, kámen). Použitá stříška však modifikuje nejbližší okolí pasti a tím může mít vliv na její efektivitu. „Přírodní stříšky“ mohou přitahovat bezobratlé, pod plechovými může být přes den naopak příliš horko a sucho (jsou-li v otevřeném terénu a na slunci).

Další metodologický aspekt, který má vliv na velikost úlovku v pastech, je délka výzkumu a prostorové rozmístění pastí. Pasti umístěné příliš blízko sebe si navzájem „konkurují“ v úlovku a podhodnocují abundanci společenstev (doporučená vzdálenost jednotlivých pastí je dle prostředí 15–25 m). Vliv na kvalitu poznání společenstva má i počet pastí – pokud je pastí málo, řada „vzácnějších“ druhů se do nich nechytí (optimální počet pastí závisí na dané skupině bezobratlých: pět pastí zachytí jen polovinu druhového spektra střevlíkovitých, které dokáže zachytit na stejné lokalitě 25 pastí). Navíc velikost úlovku ovlivňuje i „stář“ pasti. Čerstvě zakopané pasti se zdají být velmi atraktivní (tzv. *digging-in effect*), i když není jasné, zda se jedná o vliv fixační tekutiny, vliv disturbance okolí při instalaci pasti či o něco jiného. Navíc pasti instalované více let mají často tendenci „chytat“ méně živočichů určitých skupin (není jasné, zda se jedná o vylovení či trvalé ovlivnění okolí pasti např. častými inspekciemi).

Zemní pasti byly modifikovány pro potřeby vzorkování v různých atypických mikrohabitátech. Existují proto plovoucí zemní pasti, které zachytávají živočichy pohybující se po vodní hladině (povrchové napětí hladiny fixační kapaliny je sníženo přidávkem detergentu, takže i bruslařky a vodoměrky se do fixační tekutiny v pasti potopí), byly vytvořeny padací pasti i pro umístění na kmeny stromů (přímo kmene se dotýká jen malá část obvodu pasti – typicky z PET lahve – efektivita pasti se zvyšuje přidáním naváděcích bariér na kmen). Pasti, jejichž ústí je opatřeno jakýmsi límcem (papírový, textilní apod.), je možno umístit do materiálu, který neumožňuje kvalitní zalícování okraje pasti s povrchem. Takovými substráty jsou třeba trouhy v dutině kmenů, suť apod. Padací pasti se mohou umísťovat i pod povrch země, zvláště do porézních suťovitých půd či praskajících vysychajících jílovitých půd. Jejich kontrola je však značně namáhavá a je vhodné je instalovat na delší dobu. Zajímavou modifikací jsou podzemní pasti (*subterranean traps*). Vertikálně zakopaná plastová trubka, ústící na povrch, je po celé délce perforovaná. Do ní se umístí kelímek odpovídajícího průměru (aby „lícovál“ se stěnami trubky) do potřebné hloubky. Případně lze do pasti spustit soustavu rozšroubovatelných kelímků, které odchyťávají živočichy z příslušných půdních horizontů (obr. 2).

Zemní pasti mají řadu výhod i nevýhod. Kladem je skutečnost, že fungují v naší nepřítomnosti a že tudíž jsou velmi nenáročné na čas výzkumníka. Velmi výhodné je, že poskytují možnost kvantifikace úlovku pro posouzení např. změn velikosti populací během sezóny. Jejich možnost srovnání s jinými výzkumy je však omezená s ohledem na výše naznačené vlastnosti pastí, které ovlivňují jejich efektivitu. Mezi zápory patří právě metodologický chaos, znemožňující kvalitní srovnávání výsledků různých studií. Dále sem patří toxicita většiny fixačních tekutin a hlavně neselektivnost pastí. Do zemních pastí se kromě žádoucí skupiny chytají i další bezobratlí, často ve velkých počtech. Na hranici zákonnosti používání pastí je fakt, že do nich padají i drobní obratlovci (běžně obojživelníci, plazi, savci, mimořádně i ptáci). Proti zachycení větších živočichů je vhodné opatřit ústí pasti pletivem (doporučoval již Barber). Jistou nevýhodou je i fakt, že neznáme velikost efektivní odchyťové plochy, tzn., že pasti nám podávají pouze jakýsi index abundance (resp. epigeické aktivity), nikoliv vlastní

početnost na dané ploše. Zemní pasti se však mohou použít také pro odchyt živých jedinců (pro chov, fotodokumentaci či pokusy), v daném případě je však nezbytné pasti vybírat velmi často (i několikrát denně), abychom zamezili predaci uvnitř pasti. Do takovéto pasti bez fixační tekutiny je vhodné umístit nějaký materiál, poskytující úkryt i potřebnou vlhkost (například zmuchlané vlhké noviny či filtrační papír, nebo jen vlhký mech či spadané listí). Pasti bez fixáže jsou vhodné i pro odhad velikosti populace půdních bezobratlých metodou CMR (*capture-mark-release* neboli chyt'-označ'-vypust'). Při ní je úlovek označen a vypuštěn. Při opětovném odchytu nás zajímá, jaké procento v druhém úlovku představují dříve označení jedinci – stejné procento by měli v ideálním případě představovat jedinci z prvního úlovku vůči celé populaci. Zásadní nevýhodou zemních pastí je však skutečnost, že dokáží vzorkovat jen epigeicky, tj. povrchově, aktivní část společenstva půdní fauny. Míra epigeické aktivity je však závislá nejen na taxonomické (nejen druhové) příslušnosti daného živočicha, ale často i na jeho vývojovém stádiu a období roku. Pro vzorkování edafických forem je nutno zvolit jiné metody.



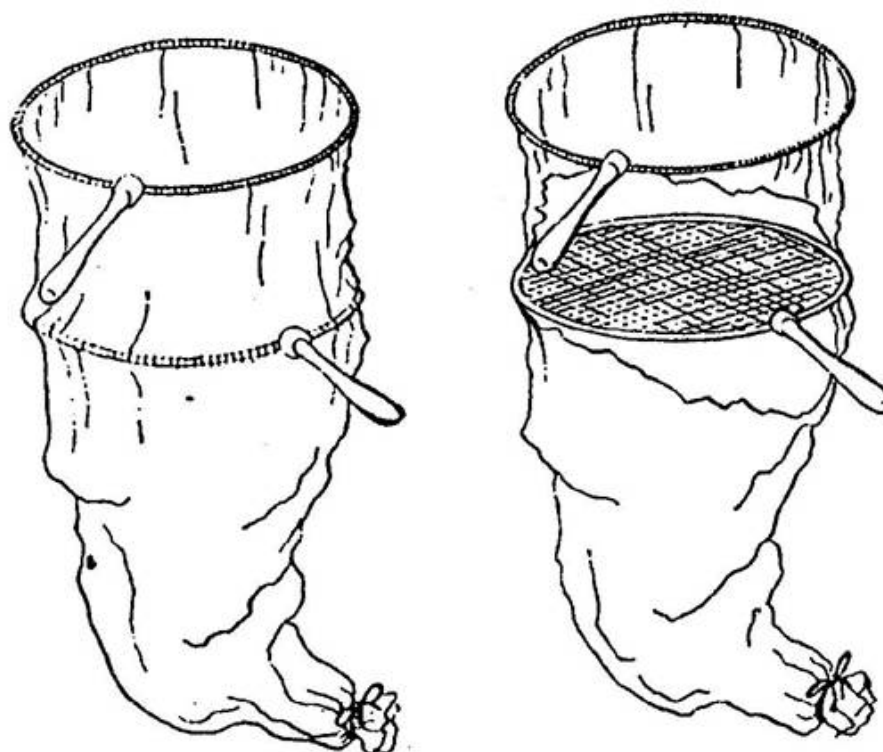
Obrázek 2: Schéma konstrukce podzemní pasti: a) soustava několika kelímků, b) průřez kelímkem s osovou závitovou tyčí a maticemi, do spodní vysoké matice lze zašroubovat vrchní část závitové tyče dalšího kelímku. (orig. Tuf)

Extrakce živočichů z půdy – (z latinského *extractio* = vytažení) znamená jejich vypuzení přímo v přírodě. Tato metoda je aplikovatelná na relativně velké živočichy (aby je bylo možno přímo na půdě vidět), kteří jsou zároveň dostatečně rychle pohybliví, aby vylezli z půdy během krátké doby. Obvykle se proto používá při studiu žížal. Žížaly lze z půdy vypudit vodou, kdy je povrch půdy přelit větším množstvím vody (vhodné je vytvořit na povrchu „ohrádku“ například z plechů zaražených do země, aby se voda nerozlila po okolí, ale vsákla do definované plochy). Pro zvýšení efektivity se do vody přidává vhodná dráždivá látka, která žížaly nutí vylézat na povrch půdy. Používají se různé látky, od didakticky a ochranně vhodného vodního roztoku hořčice až po vědecky definovaný a účinnější půlprocentní roztok formaldehydu. Žížaly lze z půdy vypudit i elektrickým proudem, standardně se používá tzv. oktetová metoda, při níž se do půdy zabodne osm elektrod po obvodu kruhu. Vytvářené elektrické pole je relativně homogenní a lze jej regulovat. Účinnost těchto metod závisí na vlhkosti a teplotě půdy, nevýhodou je, že některá vývojová stadia vypudit nelze (např. kokony). Existuje i tzv. vibrační metoda, spočívající ve skutečnosti, že žížaly vylézají z půdy, když se tato otřásá. Tuto metodu využívají někteří havranovití ptáci, kteří klovou do kamenů, čímž žížaly vypuzují. Tato metoda je jistým druhem starého umění v USA, kde ji provozovali hlavně rybáři (shánějící návnadu na háček). Klasický postup spočívá v zaražení delší pružné desky do půdy. O den dva později (až se žížaly uklidní po rušivém zásahu) za příhodné vlhkosti (optimálně po dešti či alespoň po důkladném zalití plochy) lovec přijde k desce a o její konec (trčící pár desítek centimetrů nad povrch půdy) přejíždí silným kovovým drsným plátem. Tím začne zakopaná deska vibrovat a tyto vibrace se přenášejí do půdy. S jistým úspěchem lze podobného výsledku dosáhnout tehdy, když přes vyšší pařez stromku (průměr několika centimetrů) budete přejíždět pilou s většími zuby. Tato metoda se používá hlavně pro žížaly čeledí *Acanthodrilidae* a *Megascolecidae*, není účinná pro žížaly čeledi *Lumbricidae* (typické pro střední Evropu). Za zmínku stojí, že na Floridě se koná „Festival bručení žížalám“ (*Worm Grunting Festival*).

Návnadové pasti – jsou jiným typem pastí, které přímo lákají půdní bezobratlé. Atraktivní mohou být jak potravní nabídkou (potravu pro predátory i mrchožrouty

jsme zmínili u zemních pastí) pro dekompozitory, či druhotně pro predátory, tak vhodnějšími mikroklimatickými podmínkami (teplota a hlavně vlhkost). Typická návnadová past (*bait trap* či *litter bag*) je tvořena kapsou ze síťoviny či pletiva, naplněnou opadem či jiným organickým materiálem. Ta je položena na povrch půdy či zakopána těsně pod povrch. Pokud je tato past instalována v prostředí, kde je potravy nedostatek (např. na poli či v jeskyni), je rychle kolonizována dekompozitory, kteří se do ní stahují. Výzkumník posléze past vyjme a může ji prohlédnout na místě (např. v plastové misce) či odnést do laboratoře k podrobnějšímu rozboru. Jistou modifikaci představují tzv. travní pasti, což jsou kupky posečené trávy, pod nimiž se shromažďuje řada brouků, stejně jako mnohonožky, stejnonožci a další půdní bezobratlí. Návnadové pasti pro dekompozitory nejsou příliš často používány, běžněji se využívají *litter bags* při studiu dekompozičních procesů. Jejich výhody a nevýhody proto zatím nejsou příliš známé, i když je zřejmé, že hlavní nevýhodou bude nerovnoměrné zastoupení jednotlivých druhů v pasti v závislosti na různé míře atraktivity.

Prosívání – je metoda, využívající prosívadlo (obr. 3). To je tvořeno sítím či pletivem v rámu (velikost ok obvykle od pěti do deseti milimetrů) umístěným napříč (jako překážka) zhruba ve střední části plátěné nohavice. Ta je dole opatřena provázkem, jenž ji umožňuje uzavřít. Část nohavice nad sítím je kratší, okraj je navlečen na drátěném oku. Oko i síťo mají držadla. Výzkumník umístí do prostoru nad sítí vhodný materiál (trouch, hrabanku, apod.), jednou rukou potřepává sítím (prosívá) a druhou udržuje okraj nohavice (prosívadla) nahoře tak, aby prosívaný materiál nepřepadával ven. Prosetý materiál (tzv. prosev) je shromážděn ve spodní části prosívadla svázané provázkem a je odtud posléze vyjmut k dalšímu zpracování. Prosívání je metoda primárně entomologická, protože je vhodná hlavně na ty skupiny, které na vyrušení reagují thanatózou, neboli předstíráním smrti. Vhodnější označení je *tonic immobility*, což lépe odpovídá popisu polohy s přitaženými nohama i tykadly, než nepřesné české „dělání mrtvého brouka“. Tuto pozici zaujme při vyrušení řada brouků, stejně jako ploštice, štírci, roztoči – pancířníci, svinky či svinule. Takto „zabalení“ pak lehce propadnou sítím, na rozdíl od druhů, které se snaží utéci (stonožky, mnohonožky, škvoři atd.).



Obrázek 3: Prosívadlo pro prosívání hrabanky, trouchu a dalších materiálů.
(převzato z Winkler 1974)

Výhodou prosívání je, že nám pomáhá zredukovat objem prohlíženého materiálu a zvýšit tak „koncentraci“ živočichů v prosevu. Pomáhá nám odstranit z materiálu velké úlomky větviček, listů apod. Výhodou také je, že pomocí prosívání můžeme vzorkovat špatně dostupné materiály, jako trouch pařezů či dutin stromů. Prosívání však má také své nevýhody. Základní je samozřejmě velikostní selektivita metody. Chceme-li prosívat velká zvířata, použijeme prosívadlo s velkými oky a musíme se smířit s velkým množstvím prosátého materiálu. Naopak malá oka nám sníží objem prosevu na úkor větších forem živočichů. Navíc při prosívání mohou být někteří jedinci poškozeni, dokonce mohou přijít o některé části těla, které nesou pro nás důležité determinační znaky (vlečné nohy stonožek řádu Lithobiomorpha). Nevýhodou prosívání je i jeho špatná kvantifikovatelnost (získané počty jedinců lze vztáhnout např. na objem prosátého materiálu či definovanou plochu půdy, ze které byl získán materiál na prosívání) a závislost na stavu počasí či stavu prosívaného materiálu (mokrý listí prosívat nelze). Prosev můžeme prohlédnout přímo

v terénu na vhodné podložce (typicky miska či plachta) či jej transportovat do laboratoře pro další zpracování. Jistou výhodou je, že prosíváním lze získat také živý materiál půdních bezobratlých.

Odběr půdních vzorků – je standardní metoda půdní zoologie. Při vzorkování je rychle ohraničena definovaná plocha půdy do definované hloubky vzorku. Tento vzorek je opatrně vyjmut z půdy a může být buď přímo na místě rozebrán, či transportován do laboratoře pro další zpracování. Velikost půdního vzorku závisí na zaměření dané studie a studované skupině živočichů. Již dříve jsme se zmiňovali, že drobnější formy mají mnohem vyšší abundance a pro jejich vzorkování tedy stačí vzorky o malé ploše. Makroedafon naproti tomu je vhodné vzorkovat pomocí vzorků o ploše 1/20 či vhodněji 1/16 čtverečního metru. Odběrák na půdní vzorky přitom může ohraničovat plochu o tvaru čtverce či kruhu. Kruhový odběrák má tu výhodu, že může být dole opatřen zuby (jako zuby pily) a otáčením může být snáz zaříznut do půdy.

Výhodou metody půdních vzorků je, že dává poměrně přesný obraz o osídlení půd. Touto metodou můžeme získat představu o abundancích jednotlivých druhů, včetně neaktivních stádií. Je tak možné lépe poznat skutečnou strukturu společenstva. Nevýhodou je však fyzická i časová náročnost vzorkování, stejně jako nemožnost použít odběrák na půdách mělkých a kamenitých (sutě, skály). Fyzická náročnost této metody souvisí se skutečností, že se pracuje většinou s velkými objemy půdy, které je nutné transportovat do laboratoře, a ne vždy je možné využít k přesunu vozidlo. V neposlední řadě je třeba si uvědomit, že v místě po odběru vzorku zůstává v půdě jáma. Opakované vzorkování stejné lokality po delší dobu tedy může být poměrně destruktivní (a hodnoceno negativně i majitelem pozemku, ať už se jedná o les, louku, či pole).

Laboratorní zpracování půdních vzorků

Transportem půdního vzorku (či prosevu) z terénu do laboratoře nemáme zdaleka vyhráno. Před námi sice leží vzorek o definované ploše a hloubce se všemi svými obyvateli, ti se však skrývají v zemině. Na výběr máme několik metod, které můžeme rozdělit na pasívní (neboli mechanické) a aktivní (neboli

behaviorální). Pomocí pasivních metod dochází k extrakci edafonu na základě jeho fyzikálních (velikost, tvar, hustota) vlastností.

Individuální rozbor – je základní nejjednodušší metodou, která nám pomáhá vybrat živočichy ze vzorku ručně pomocí pinzety či exhaustoru. Vzorek je postupně po malých množstvích rozebírán na podložce a pečlivě prohlížen. Živočichové jsou vybíráni na základě pozorovatelovy schopnosti je odlišit od ostatního materiálu (substrátu, půdy). Základní nevýhodou této obecně velmi jednoduché metody je její časová náročnost a nízká efektivita. Nezaškolený pozorovatel obvykle vybere ze vzorku 10–30 % přítomných živočichů. Následně použitá behaviorální metoda, která dokáže vyseparovat zbývající živočichy, dosahuje 9–3 krát vyšší účinnosti. Některé modifikace této metody zvyšují její efektivitu, například tzv. Haddornova metoda využívá při rozboru vzorků plechovou podložku, pod kterou je umístěn zdroj tepla. Zahřívání vybudí bezobratlé, používající thanatózu ve snaze vyhnout se spatření a ulovení. Běžící brouci, ploštice či svinky snáz upoutají pozornost pozorovatele. Jinou modifikací je roztrdit si vzorek na soustavě několika sít na jednotlivé velikostní frakce. Ve velikostně homogenním materiálu je možné lépe vidět tvar jednotlivých živočichů na pozadí uniformní struktury substrátu. Takovéto třídění může proběhnout na třepače, či pomocí proudu vody (tzv. prosívání za mokra).

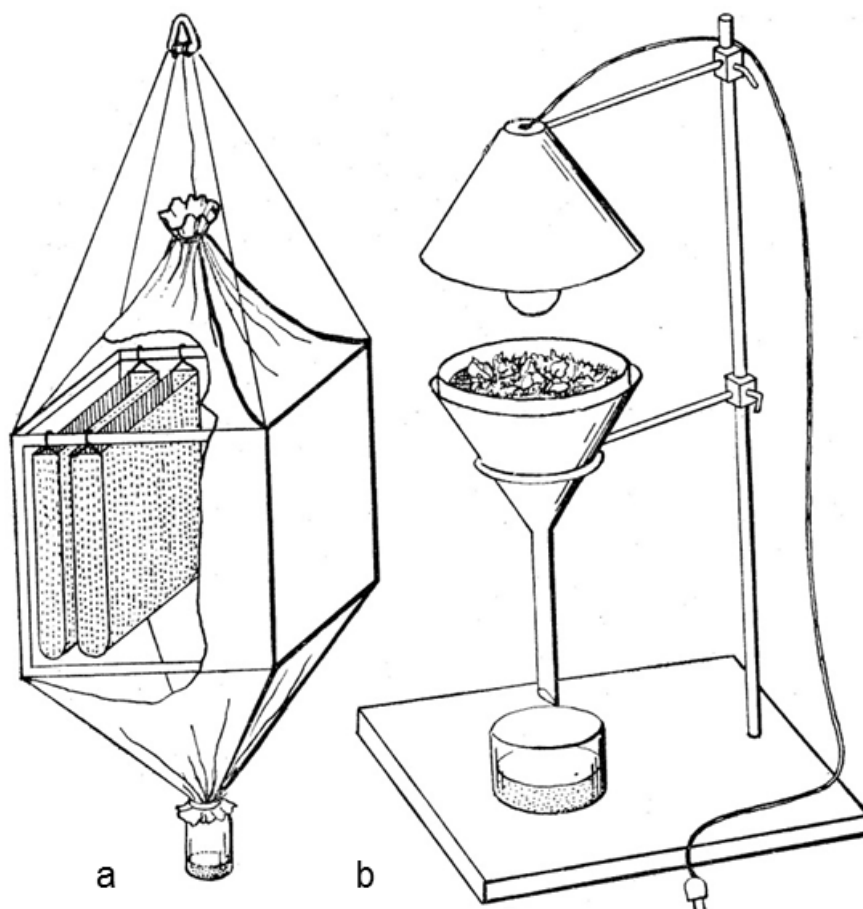
Flotační metoda – je obvyklá spíše v hydrobiologii či paleoekologii, lze ji však použít i v půdní biologii. Spočívá v rozplavování vzorku v kapalině. Principem metody je oddělení jednotlivých frakcí na základě jejich hustoty, obdobným způsobem, jakým se rýžuje zlato v korytech či na pánvích. Jednou variantou může být větší nádoba, kterou pomalu protéká voda a odtéká přes síto. V nádobě vzorek rozmělnujeme a živočichové unášeni vodou jsou zachyceni na sítu, zatímco těžší anorganický materiál klesá spíše ke dnu. Jinou modifikací je rozplavování vzorku v roztoku, jehož hodnota hustoty je mezi hodnotami hustot rostlinných pletiv a živočišných tkání. Pletiva (včetně mrtvé organické hmoty a samozřejmě anorganiky) klesnou ke dnu a živočichové zůstanou na hladině. Těchto výsledků je hydrobiologických studiích dosahováno pomocí

nasyčeného cukerného roztoku. Edwardsonova a Denisova metoda vyvinutá pro flotaci stonoženek z půdních vzorků používá nasycený solný roztok pro oddělení anorganického a organického materiálu, stonoženy (a ostatní organika) jsou pak z hladiny sebrány sítkem.

Behaviorální metody využívají schopnosti živočichů se aktivně pohybovat, obecně jsou založeny na jejich vypuzení z půdního vzorku či prosevu. Základní princip spočívá ve využití reakce živočichů na klesající vlhkost substrátu, kdy živočichové unikají z vysychajícího do vlhčího prostředí. Prakticky to znamená, že když půda či hrabanka začne vysychat (typicky v létě), edafon na to reaguje stažením se do hlubších vlhčích vrstev. Zařízení využívající tento princip se obecně jmenují extraktory (extrakce = vytažení) či eklektory (eklekce = vybrání), v názvu se může objevit i předpona xer- či termo-, podle toho, zda je vzorek pouze vysušován, či pro urychlení vysychání i zahříván.

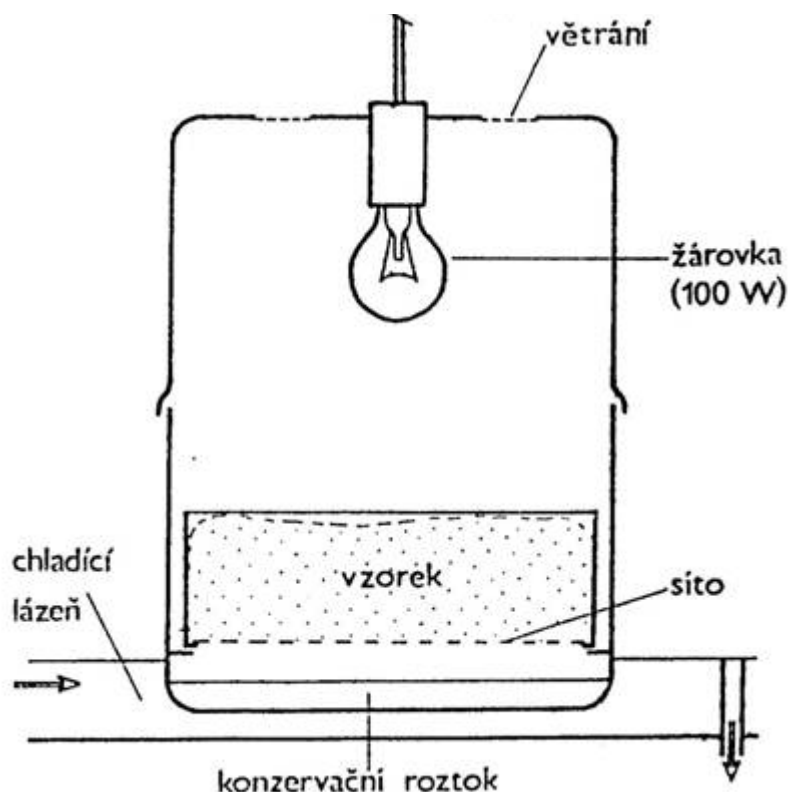
Berleseho a Tullgrenův extraktor – byly první přístroje, které této skutečnosti využívaly. Jejich princip spočívá v tom, že se půdní vzorek umístí na pletivo (obr. 4). Živočichové, snažící se zahrabat hlouběji, tímto pletivem propadávají do podložené nádoby s fixační tekutinou. První přístroje byly sestaveny z velkých skleněných nálevek a nad vzorkem byl umístěn vhodný zdroj tepla (např. žárovka) pro urychlení vysychání. Pod ústím nálevky byla epruveta s lihem či kyselinou pikrovou. V současnosti existují i různé přenosné terénní skládací extraktory, využívající nálevky z tvrdého papíru, konstrukce z latěk a jednoduché elektrické instalace.

Xereklektor – je alternativou, skládající se z kapes z pletiva naplněnými prosevem či hrabankou, které jsou umístěny v konstrukci potažené mušelinem, jež je dole opatřena sběrnou nádobou s fixační tekutinou (obr. 4). Byly vynalezeny Emilem Moczarskim v roce 1907 a na trh uvedeny firmou Winkler & Wagner (zvané proto Winklerovy či Moczarského aparáty). V těchto xereklektorech prosychá vzorek pomalu, proto valná většina živočichů dokáže prosychající materiál včas opustit.



Obrázek 4: Zařízení pro vypuzení edafonu ze vzorku: a) Xereklektor, b) Tullgrenův, resp. Berleseho extraktor. (převzato z Winkler 1974)

Kempsonův extraktor – byl sestaven ve snaze minimalizovat ztráty vypuzovaných živočichů při použití klasické nálevky. Základem této modifikace je eliminace nálevky pod sítem a umístění síta se vzorkem těsně nad širokou miskou s fixační tekutinou (obr. 5). Vypuzování živočichové padají přímo do misky, nemají možnost unikát mimo systém extraktoru ani nezůstávají na nálevce. Dalšími vylepšeními jsou regulace osvětlení a ohřevu (tj. výkonu žárovky nad vzorkem tak, aby živočichové nehynuli už ve vzorku před jeho opuštěním) a zároveň v chlazení misky s fixační tekutinou. Výsledný teplotní i vlhkostní gradient (od povrchu vzorku k hladině fixační tekutiny v misce) zvyšuje efektivitu extrakce na více než 90 % v závislosti na taxonomické příslušnosti modelové skupiny.



Obrázek 5: Kempsonův extraktor pro vypuzení edafonu z půdy. (převzato z Tajovský a Pižl 1998)

Goddardova nálevka – je specifická modifikace vlhké extrakce máloštetinatých červů z půdních vzorků. Ze vzorku zabaleného v kapse z mušelínu či jemné síťoviny a ponořeného do teplé vody vylézají žížaly a roupice.

Společnou výhodou extraktorů je jejich poměrně vysoká účinnost a malá náročnost na obsluhu. Nevýhodou je jejich často vysoká pořizovací cena (ačkoliv levné varianty lze sestavit i svépomocí) a v případě využití ve větším počtu kusů vzrůstají nároky na prostor v laboratoři a komplikuje se jejich provozování (nutnost klimatizace).

Použitelnost jednotlivých metod výzkumu

U každé metody jsme si uvedli její klady i zápory, o žádné metodě tedy nelze říci, že je ideální a stoprocentně účinná pro poznání skladby a struktury daného společenstva. Samozřejmě záleží na dané modelové skupině, kterou chceme poznat, a jejím způsobu života (epigeický vs. endogeický). Například pro

studium střevlíkovitých brouků (většinou epigeičtí) je metoda odběru půdních vzorků zbytečně nákladná, pro poznání žížal (převážně endogeické) je však nezbytná. Pro skupiny, ve kterých známe jak epigeické, tak endogeické druhy (stonožky, mnohonožky, suchozemští stejnonožci), je klíčové použití kombinace zemních pastí a tepelné extrakce půdních vzorků; individuální sběr či prosevy jsou metody doplňkové.

Modelové skupiny půdní makrofauny

V této kapitole se podrobněji zaměříme na vybrané skupiny edafonu, jež jsou typické pro středoevropské podmínky.

Žížalovití (Lumbricidae)

Žížaly jsou obecně známé organizmy (žížaly již u předškolních dětí zpropagovala D. Patrasová) s červovitým tvarem těla nápadně růžové (či červené, bledé, hnědavé) barvy. Z území naší republiky známe přes padesát druhů (celosvětově cca 5500 druhů žížal). Naše žížaly lze rozdělit do tří ekologických skupin.

- 1) Žížaly epigeické – žijí na povrchu půdy, respektive v místech s nadbytkem organické hmoty. Tyto žížaly jsou relativně drobné, tmavší a pohybují se poměrně rychle. Patří sem druhy straminikolní (v opadu žijící) i subkortikální (pod kůrou padlých kmenů), živí se čistě mrtvou organickou hmotou a mají vyšší reprodukční potenciál a krátký životní cyklus. Proto jsou ekonomicky zajímavé (jsou využívány v tzv. vermikulturách) pro možnost rozkladu biomasy a „průmyslovou“ produkci kompostu.
- 2) Žížaly endogeické – žijí v půdě, konkrétně ve svrchní vrstvě půdy, ve které je dostatek mrtvé organické hmoty. Tyto žížaly si hloubí horizontální chodbičky při hledání potravy, tyto systémy chodeb nejsou trvalé (bortí se), protože potravy je relativně dostatek.
- 3) Žížaly anektické – neboli hlubinné, žijí v hlubších půdních horizontech (řádově desítky centimetrů). V těchto hloubkách je potravy nedostatek, z toho důvodu si žížaly hloubí vertikální chodby, které ústí na povrch půdy. V noci tyto žížaly vylézají ven z půdy a hledají opad, který si zatahují do chodbiček. Tam počkají, až jej osídlí správná mikroflóra. Jejich chodby jsou náročné na hloubení, a proto

jsou trvalé. Žížaly si dokonce stěny chodeb cementují vlastními výkaly, čímž se podílejí na promíchávání organické a anorganické hmoty (naopak vynášejí exkrementy na povrch půdy). Tyto žížaly jsou často poměrně velké, jsou světlé a mají menší reprodukční potenciál. Činností těchto žížal vzniká nejpokročilejší forma humusu, měl, a jejich systémy chodeb výrazně napomáhají provzdušnění půdy, kořenění rostlin (opuštěná žížalí chodba vymazaná exkrementy – nic lepšího nemůže kořínky chtít) i zasakování srážek.

Žížaly lze vzorkovat pomocí řady metod, kromě metod mechanických, spočívajících v laboratorní analýze odebraného půdního vzorku (ruční rozbor vzorků, zmíněné mokré prosívání či jejich flotace v roztoku síranu hořečnatého), to jsou i metody behaviorální. Mezi ně patří hlavně tepelná extrakce půdních vzorků, kterou lze vhodně kombinovat s formalínovou extrakcí. Vhodná plocha vzorku se s ohledem na abundance žížal a technické možnosti pohybuje od 0,125 do 0,5 čtverečního metru, hloubka vzorku je 10–30 cm. Do místa po odebraném půdním vzorku lze nalít 0,5% roztok formaldehydu (dle vlhkosti půdy cca 5–20 l/m²) a počkat několik minut, až žížaly nacházející se v hlubších vrstvách pod zalitým místem vylezou. Případně lze v terénu využít oktetovou metodu nebo vibrační metody. Pro kvantifikaci abundance žížal lze využít i některé indexy početnosti, vyjádřené například jako počet chodeb (otvorů chodeb na povrchu půdy), kokonů či exkrementů na metru čtverečním.

Stonožky (Chilopoda)

Stonožky jsou jednou ze čtyř tříd podkmene stonožkovci (Myriapoda). Dorůstají běžně kolem 1,5–2 cm, ale největší naše druhy jsou výrazně větší (*Lithobius forficatus* či *L. validus* 3,5 cm, *Cryptops anomalans* 5 cm či *Himantarium gabrielis* až 19 cm). V České republice máme v současnosti doložen výskyt 70 druhů (celosvětově známe přes tři tisíce druhů). Stonožky jsou primárně dravé, potravu loví pomocí modifikovaných noh prvního tělního článku, tzv. kusadlových nožek (forcipuly). Řada druhů však přijímá i mrtvou rostlinnou hmotu jako potravu. Možná je toto chování způsobeno nižší vlhkostí v prostředí a snahou stonožek přijmout alespoň nějakou vodu v potravě.

Stonožky žijí často epigeicky, pod kameny, pod dřevem, v opadu (hlavně větší zástupci řádů Lithobiomorpha, ale i rody *Cryptops*, *Scutigera* a *Strigamia*), kde loví různý hmyz a drobné pavoukovce. Menší druhy, zemivky a juvenilní stádia všech stonožek, obývají svrchní vrstvy půdy (pokud je kamenitá, mohou sestupovat překvapivě hluboko); zemivky přímo pronásledují žížaly a roupice v jejich chodbách.

Druhy stonožek lze v našich podmínkách klasifikovat do tří ekologických skupin, dle jejich vazby na původní či málo narušená stanoviště. Druhy reliktní jsou vázané hlavně na pralesy a staré lesy a patří mezi ně o něco více než třetina našich druhů. Téměř polovina druhů patří do kategorie druhů adaptivních, které kromě původních lesních biotopů obývají i stanoviště narušená (hospodářské porosty) či umělá (parky, hřbitovy, fragmenty stromové vegetace v nelesní krajině). Zbytek druhů představují eurytopové, kteří se vyskytují prakticky všude, v lesích, na loukách, ve městech, na polích atp. Typicky eurytopními druhy jsou naše nejběžnější stonožky: stonožka proměnlivá (*Lithobius mutabilis*) nebo stonožka škvorová (*L. forficatus*).

Sběr stonožek lze provádět většinou z výše zmíněných metod. Klasický postup pro poznání druhového spektra epigeicky i endogeicky žijících stonožek je kombinace metody zemních pastí a tepelná extrakce půdních vzorků. Zemní pasti zachytí převážně větší stonožky řádu Lithobiomorpha a některé početné zemivky (např. *Strigamia*), z půdních vzorků lze vyextrahovat drobnější druhy stonožek a všechny zemivky. Efektivita těchto metod k poznání skutečného druhového spektra dané lokality samozřejmě závisí na charakteru lokality (homogenost pole či kulturního lesa či biotopová pestrost například suťových svahů či roklí), počtu pastí a vzorků a délce výzkumu. Počet zemních pastí by neměl klesnout pod deset, počet odebraných půdních vzorků pod pět. Velikost vzorků by přitom s ohledem na abundance stonožek neměla být výrazně nižší než 1/16 m², hloubka odebíraných vzorků by měla být alespoň 10 cm.

Je třeba si uvědomit, že většina stonožek jsou druhy žijící více let, proto je smysluplné vzorkovat (resp. mít instalované zemní pasti) i přes zimu. V ověřovacích studiích kombinace těchto dvou metod přinesla poznání 90–

100 % druhového spektra, tzn. individuální sběr a prosívání již zjištěné druhové spektrum nedoplňují. Obě posledně jmenované metody jsou však vhodné při kratším průzkumu lokality, hlavně však při snaze získat živý materiál stonožek (pro potřeby zhotovení fotografií, jejich demonstrace studentům či žákům či pro pokusy etologické a ekologické). Při transportu živých stonožek do laboratoře a při jejich chovech je třeba brát v potaz jejich sklon ke kanibalismu. Stonožkám je nezbytné nabídnout nejen dostatek potravy, ale i dostatek vlhkých úkrytů.

Mnohonožky (Diplopoda)

Mnohonožky jsou nejpočetnější třídou podkmene stonožkovci, v naší republice žije na 80 druhů (celkově bylo dosud popsáno okolo 10–12 tisíc druhů). Dorůstají velikosti od několika milimetrů do několika centimetrů, většina našich druhů má 1–2 cm. Mnohonožky jsou detritofágní, některé druhy příležitostně konzumují i živé kořínky či sazenice, statnější hrbule mohou příležitostně ulovit drobnou kořist.

Mnohonožky žijí v půdě či na jejím povrchu, většinou vyhledávají prostředí s dostatečnou vlhkostí, stálejší příznivou teplotou a dostatkem potravy. Kromě půdy a opadu mohou tyto podmínky nalézat také v jeskyních, v trouchnivějícím dřevě (pařezy, padlé kmeny, dutiny stromů) či jiných podobných mikrostanovištích. V České republice žijí zástupci šesti řádů. Chlupule (řád Polyxenida) jsou drobné mnohonožky živící se řasami na povrchu půdy či padlých kmenů, svinule (řád Glomerida) se dokáží stočit do kuličky a žijí v půdě, v opadu či pod kůrou. Ekomorfologická skupina klínovitých forem (*wedge types*) je u nás zastoupena hlavně plochulemi (řád Polydesmida) a některými hrbulemi (řád Chordeumatida), které se dokážou vklínit pod odchlíplou kůru, mezi vrstvy listů, pod kameny atp. Mnohonožky typu *buldozers* (řád Julida), mají zvětšený hřbetní štítek na prvním trupovém článku (*collum*). Ten, v kombinaci s pevnou kompaktní hlavovou schránkou a dlouhým tělem s velkým počtem krátkých noh, umožňuje zvířeti prorážet chodby v porézní půdě, podobně jako beranidlo či ještě lépe sněhový pluh. Ekomorfologická skupina vrtači (*borers*) z našich druhů zastupuje některé drobné hrbule a chobotuli (řád Polyzoniida). Jedná se o mnohonožky s drobnou hlavou, které žijí v půdě.

Podobně, jako lze klasifikovat stonožky dle vazby na nenarušená stanoviště, i mnohonožky lze rozdělit na druhy reliktní (přibližně třetina druhů), adatabilní (polovina druhů) a eurytopní. Nejvíce reliktních druhů mnohonožek v naší fauně patří do řádu hrbule, naopak řád plochule obsahuje nejvíce eurytopních druhů.

Společenstva mnohonožek lze vzorkovat stejnými metodami, jako stonožky. Opět platí, že je nezbytné kombinovat zemní pasti pro epigeicky aktivní část společenstva a tepelnou extrakci půdních vzorků pro zachycení endogeických druhů. Větší důraz je však kladen na dobu výzkumu. Na rozdíl od stonožek lze některé druhy mnohonožek určovat jen podle kopulačních struktur samců. Prokázání přítomnosti druhu na lokalitě tak může komplikovat situace, kdy se dospělí samci vyskytují jen krátkou část roku a po kopulaci se samicemi hynou. To je případ některých druhů hrbulí, navíc u nich páření probíhá v prvních jarních měsících. Dospělé samce tak lze nalézt jen po dobu několika málo týdnů v únoru až dubnu. V danou roční dobu proto může být velmi přínosné použít i doplňkové metody sběru, jako je individuální sběr, návnadové pasti či prosívání.

V případě transportu živých mnohonožek či jejich chovu je vhodné si uvědomit, že většina z nich používá chemickou obranu proti predátorům. Mnohonožky řádu Julida vylučují benzochinony, plochule zase kyanovodík. Umístění většího množství mnohonožek do malé nevětrané nádoby může způsobit jejich úhyn.

Suchozemští stejnonožci (Oniscidea)

Suchozemští stejnonožci jsou podřádem řádu stejnonožci (Isopoda) z podkmene korýši (Crustacea). Jsou sice jedinou skupinou diverzifikovaného podkmene, která je plně adaptovaná na život na souši (ostatní suchozemští korýši mají vodní larvy), zároveň ale v této volné níže dosáhli poměrně velké druhové diverzity. S třemi a půl tisíci známými druhy představují přibližně deset procent všech známých korýšů. Z České republiky je doložen výskyt bezmála 50 druhů suchozemských stejnonožců.

Jedná se o malé živočichy (cca 3–20 mm), kteří se živí mrtvou organickou hmotou. Jelikož se jedná o korýše, dýchají žábrami, které jsou modifikované do

podoby tracheálních políček na původních žaberních lupíncích. Drobné druhy přitom dýchají difuzí plynů přes pokožku. Jelikož je molekula vody menší než molekula kyslíku, je pro ně nezbytné zdržovat se v místech s vysokou vzdušnou vlhkostí. Nepříznivé části dne přežívají skryti v opadu, svrchních vrstvách půdy, pod kameny apod. Výpar vody z těla dokážou omezit pokud jsou ve skupině – u řady druhů suchozemských stejnonožců tedy můžeme pozorovat agregáčnící chování. Ke shlukování využívají hlavně čich, kromě amonných iontů vylučují také agregáčnící feromon.

Zajímavou adaptací suchozemských stejnonožců k terestrickému způsobu života je způsob jejich rozmnožování. Zatímco obecně larvy korýšů plavou volně ve vodě, larvy suchozemských stejnonožců jsou v péči jejich matky. Samice si vytváří na břišní straně hrudi jakýsi vak (*marsupium*), do kterého ukládá vajíčka. Vajíčka jsou omývána roztokem, který zprostředkovává výměnu plynů a dodává živiny. Z vajíček se posléze líhnou první larvální stádia (*mancas*), která se svlékají a opouštějí vak.

V rámci životních forem suchozemských stejnonožců rozlišujeme několik ekomorfologických typů. První z nich jsou běžci (*runners*), kam patří formy s delšíma nohama a většinou tenkou kutikulou. Patří sem beruška mokřadní (*Ligidium hypnorum*) či drobní zástupci čeledi Trichoniscidae. Podobně jako mnohonožky, někteří stejnonožci mají schopnost volvace. Svinky (*rollers*, čeleď Armadillidiidae a Cylisticidae) mají typicky klenuté tělo. Další skupinu lze nazvat přiléhavci (*clingers*), jedná o formy s výrazněji plochým tělem a schopností přitisknout se těsně k podkladu. Okraj jejich těla je rozšířen, takže jejich profil poněkud připomíná buňku. Tato adaptace jim, podobně jako svinkám, umožňuje chránit tenkou kutikulu na břišní straně těla proti výparu, jelikož hřbetní část je kryta obvykle pevným krunýřem. Mezi přiléhavce patří stínky (Porcellionidae, Oniscidae, Trachelipodidae). Označení plazivci (*creepers*) je používáno pro endogeické formy, které se pohybují v těsných prostorách půdy. Snad pro usnadnění tohoto pohybu mají na hřbetě často podélné kýly, které zpevňují jejich tělo a napomáhají snížit tření (podobně fungují ližiny saní). Typickým zástupcem z naší fauny je např. rod *Haplophthalmus*. Existuje ještě

„zbytková“ kategorie pro formy, jež nezapadají do žádné předchozí (*non-conformists*), českým zástupcem je beruška mravenčí (*Platyarthus hoffmannseggii*). Stejně jako předchozí skupiny, lze i suchozemské stejnonožce klasifikovat dle jejich vazby k původním biotopům. Přibližně třicet procent naší fauny představují reliktní druhy, opět polovinu druhy adaptabilní a zbytek eurytopní druhy. Běžné eurytopní druhy naší fauny (stínka zední a obecná, beruška mokřadní, svinka obecná atd.) jsou druhy kosmopolitně rozšířené, které se úspěšně etablují do různých typů cizokrajných biotopů.

Suchozemští stejnonožci se studují stejnými metodami, jako stonožky a mnohonožky. Individuální sběr je velmi významný hlavně pro ruderální biotopy, protože naše „původní“ fauna je poměrně chudá. Zatímco typické lesní společenstvo je tvořeno cca 4–8 druhy, ve městě lze najít druhů mnohem více (např. z Olomouce je zatím doloženo 16 druhů). Pro vzorkování společenstev v lese proto často postačí jen metoda tepelné extrakce půdních vzorků či prosevů. Samotná metoda zemních pastí je přitom nedostatečná, protože pokud nemá půda poškozenou strukturu (např. slehlá jako na polích, loukách či mýtinách kvůli pojezdu těžké techniky), drobnější druhy žijí výhradně endogeicky. Jejich případná epigeická aktivita je vynucena právě poškozením půd zhutněním.

Pavouci (Araneae)

Pavouci jsou samostatným řádem podkmene pavoukovci (Arachnida). Dorůstají velikosti několika milimetrů až centimetrů. Všichni pavouci jsou dravci a živí se živočišnou kořistí, několik málo druhů si jídelníček zpestřuje nektarem. Jedinou výjimkou z oněch přibližně 40.000 druhů je středoamerická skákavka *Bagheera kiplingi*, která pojídá tzv. Beltova tělíska na listech akácií. Beltova tělíska jsou speciální útvary bohaté na bílkoviny, které akácie tvoří jako potravu pro mravence, kteří na ní žijí a chrání ji proti herbivorům. Není však jasné, jak dokáže *Bagheera* přijímat tuto potravu, když mají pavouci úzký jícen přizpůsobený pouze polykání potravy natrávené mimo tělo.

Ne všichni pavouci patří mezi edafon. Řada druhů (včetně nejznámějších křížáků) si spřádá síť v bylinném a keřovém patře. Jiné druhy pavouků jsou arborikolní (obývají stromy). Na druhou stranu je řada pavouků adaptována na život přímo v půdě, kde samozřejmě uniká pozornosti arachnologů. V České republice je doložen výskyt více než 850 druhů pavouků, z nichž přibližně dvě třetiny lze považovat za druhy epigeické.

Všichni pavouci mají schopnost tvořit pavučinová vlákna. Ta jsou původně určena pro tvorbu kokonů chránících vajíčka. Pavučí vlákna však postupně našla mnohostrannější využití, typický je například *ballooning*, při kterém mladí pavoučci vylučují vlákno. Vítr pak s vláknem unáší i samotného pavouka. Tímto způsobem se poměrně efektivně šíří pavouci, kteří v dospělosti samozřejmě schopnost létat nemají. Z pavučích vláken si řada druhů spřádá síť pro lov kořisti. Jiné druhy pavučinami vystylají své úkryty. Epigeické druhy pavouků loví kořist buď pomocí pavučin, natažených na povrchu půdy či v opadu, nebo kořist sami aktivně loví (slíďákovití, skákavkovití).

Klasifikace druhů pavouků podle vztahu k původnosti biotopu používá čtyři kategorie. Druhy klimaxových stanovišť obývají například pralesy či rašeliniště, druhy polopřirozených stanovišť obývají typicky naše lesy a louky. Druhy stanovišť pravidelně narušovaných jsou typicky nacházeny na polích, ale třeba i na štěrkových lavicích neregulovaných toků. Poslední kategorie druhů umělých stanovišť zahrnuje introdukované druhy, které známe z domů, skleníků, či druhů jeskynní.

Epigeičtí pavouci se běžně vzorkují pomocí zemních pastí. Významný přínos pro poznání druhového spektra však doplňují jednak prosevy, jednak individuální sběr. Prosevy jsou důležité pro vzorkování drobných pavouků stavících si pavučiny v opadu (např. některé plachetnatky). Individuální sběr doplňuje spektrum o pavouky, kteří číhají na kořist ve svých úkrytech, ať už v norách, či pod kameny a kůrou. Typické „punčošky“ sklípkánek lze najít převážně individuálním sběrem. Ostatní metody sběru pavouků, jako je sklepávání a smýkání, jsou nezbytné pro poznání celého pavoučího

společenstva, zaznamenávají se jím však druhy epifytické (žijící na vegetaci), které nepatří mezi edafon.

Střevlíkovití (Carabidae)

Střevlíkovití brouci jsou jednou z nejpůvodnějších skupin brouků, minimálně ve střední Evropě. Jedná se o malé až velké brouky (milimetry až centimetry) s dlouhými nohama a silnými kusadly. Celosvětově je popsáno okolo 35.000 druhů střevlíků, v České republice jich bylo prokázáno více než 500 druhů.

Velká druhová diverzita je odrazem diverzity obývaných prostředí i přijímané potravy. Střevlíky najdeme velmi početně jak na polích a loukách, tak v lesích či ve městech. Osidlují všechny typy biotopů od pobřežních přes rašeliniště po písčité přesypy. Některé druhy žijí na vegetaci, jiné v opadu a pod kameny, jiné v norách. Většina druhů střevlíků je masožravá a živí se mršinami i živou kořistí. Některé druhy jsou výhradně býložravé, jiné konzumují oba tyto základní typy potravy.

Naše druhy mají obvykle jen jednu generaci ročně, přičemž životní cyklus většiny druhů lze rozdělit na dva typy. Důležitá je synchronizace doby rozmnožování celé populace. Při prvním typu je klíčovým podnětem diapauza (během přezimování) pohlavních orgánů dospělců. Rozmnožování a vývoj larev se děje na jaře a v časném létě. Imaga další generace se vylíhnou v pozdním létě nebo na podzim a přezimují. U druhého základního typu (s larvální diapauzou) přezimují larvy i imaga a dospělci nové generace se líhnou zjara či začátkem léta.

Dle vazby střevlíků na původní habitaty a jejich ekologické valence lze naše druhy rozdělit do stejných kategorií, jako výše zmíněné stejnonožce, stonožky a mnohonožky. Podobně i u střevlíků platí, že třetina druhů má reliktní charakter výskytu (typické druhy rašelinišť, xerothermních trávníků, pobřežní vegetace a původních lesů) a polovina je řazena do kategorie adaptivních druhů s širší ekologickou valencí.

Střevlíkovití brouci se běžně vzorkují pomocí zemních pastí. Jelikož mají dlouhé nohy a běhají poměrně rychle a klopýtavě, padají do pastí poměrně spolehlivě (tzn. ve srovnání s mnohonožkami či stonožkami relativně zřídka kdy z pastí opět uniknou). Vhodný design pastí, její náplň, správný typ stříšky, jejich rozmístění a počet, je téma nepřehledného množství studií, jež však nedošly žádného konsenzu. Doplňkovou metodou pro odchyt střevlíků je individuální sběr (obzvláště vhodný pro potřeby sběru živých jedinců) či smýkání. Některé drobnější letuschopné druhy mohou také v noci přilétat na světlo. Při transportu živých střevlíků do laboratoře je třeba nezapomenout, že větší druhy jsou zpravidla dravé, a držet je jednotlivě či jim předložit nějakou potravu.

Význam půdy pro člověka

Jak zaznělo dříve, půda je živý systém, který je také svébytnou součástí etického přístupu k přírodě samotné. Ačkoliv některé funkce půdy dokážeme částečně nahradit (např. hydroponickým pěstováním některých zemědělských plodin), význam půdy pro člověka je neocenitelný. Podtrhuje ho i příbuznost hebrejských slov *Ádám* (člověk), *adamá* (půda, země) a *dam* (krev). Půda je těžce obnovitelný zdroj, vzhledem k rychlosti půdotvorných procesů v praxi *de facto* zdroj neobnovitelný (v našich podmínkách vzniká jednocentimetrová vrstva půdy dle různých autorů 50 až 200 let). Půda se navíc nedá převážet – na rozdíl od zemědělských plodin, dřeva, nerostů, uhlí, ropy či dokonce vody, půda není (zatím?) předmětem mezinárodního obchodu. Půda se transportuje pouze omezeně a na menší vzdálenosti (např. do skleníků, na terasy atp.).

Půda sehrála nenahraditelnou roli ve vývoji lidstva, respektive tzv. neolitická revoluce, související se vnikem civilizací, se vyznačuje právě změnou vztahu člověka k půdě. V průběhu této revoluce se z člověka-lovce stává člověk-zemědělec. K tomu došlo nejdříve zřejmě v devátém či desátém tisíciletí před naším letopočtem v oblasti tzv. Úrodného půlměsíce (dnešní Palestina, Sýrie, Turecko, Írán a Irák), kde lidé přestali sbírat zrna obilovin a začali je postupně sami systematicky pěstovat. Současně začali také domestikovat zvířata (ovce, kozy, skot), původně zřejmě hlavně odchytávali a vykrmovali mláďata na maso, později je sami začali množit a využívat je všestranněji (produkce mléka, tažná zvířata). Ruku v ruce se vznikem zemědělství vznikala také dělba práce a civilizace samotná. Principy zemědělství se posléze šířily z Úrodného půlměsíce do Evropy i Asie. Ačkoliv je pro nás Evropany Úrodný půlměsíc nejvýznamnějším civilizačním centrem, míst, kde proběhla autochtonní domestikace rostlin (eventuálně i živočichů) v průběhu neolitu, je známa celá řada. Jejich počet a umístění se však liší u různých autorů (nesporné jsou kromě Úrodného půlměsíce ještě střední Amerika, Andy v Jižní Americe, Čína a východ USA, dále se uvádějí i tropická západní Afrika, oblast Sahelu, Etiopie, Indie a Papua Nová Guinea).

Od mladší doby kamenné tedy člověk navazuje vztah s půdou a stává se závislým na její úrodnosti. Také řada kolapsů dávných civilizací souvisela (mimo jiné) s degradací půdy – s jejím vyčerpáním či erozí po odlesnění. Například na odlehlém Velikonočním ostrově žilo v dobách jeho největší slávy okolo 30 tisíc obyvatel (tj. téměř desetkrát více než dnes, s hustotou obyvatel přibližně 280 na čtvereční kilometr). V důsledku rivality náčelníků byly zdejší lesy vykáceny během nákladných staveb pověstných okázalých soch moai. Po odlesnění byla půda zničena větrnou erozí a upadající zemědělství bylo vázáno výlučně na agrotechnická opatření jako využití větrolamů, použití kamenné nastýlky (zakrývání půdy kameny) a pěstování jednotlivých rostlin ve vyhloubených jamkách. Jiným příkladem je kolonizace Grónska. Vikingové, kteří se tento ostrov pokusili několikrát obsadit, byli nepřizpůsobiví a pěstováním řepy, zelí a hlavně sena pro krávy, prasata a ovce zlikvidovali zdejší slabé vrstvičky chudé půdy. Naproti tomu Inuité, oportunní lovci ryb, tuleňů, velryb i ptáků, kteří zemědělství neprovozovali, v Grónsku prosperovali.

Ohrožení půdy a její ochrana

Jelikož existuje povícero zákonů, které *chrání* půdu před jejím nevhodným používáním, nepřekvapí nás, že půda je *ohrožena* celou řadou faktorů. Mezi tyto faktory patří převážně: eroze, acidifikace, dehumifikace, kontaminace, kompakce a zábor půdy. Většina těchto forem ohrožení půdy však zapříčiňuje, spouští či souvisí s jinými formami a tím silně zrychlují celkovou degradaci půdy a ohrožují populace půdních živočichů.

Eroze půdy

Pojem eroze lze přeložit jako rozrušování, narušování půdy, respektive půdního povrchu. Jedná se o uvolňování půdních částic, jejich transport a následné usazování. Základní silou podmiňující erozi je gravitace (souvisí s usazováním a často i transportem), uvolňování částic způsobuje síla větru, vody či ledu (konkrétně ledovcové splazy). Vodní erozi charakterizuje rozplavování půdních agregátů silou dešťových kapek a následně jejich odnos odtékající vodou. Vodní erozi dobře brání hustý vegetační pokryv půdy (který zpomaluje padající kapky, jež pak nemají tolik síly na rozplavování půdních agregátů) a dobrá pórovitost půdy, která umožňuje dostatečnou infiltraci (vsakování) vody (srážky tudíž neodtékají po povrchu půdy). Vodní eroze je proto výrazně silnější, když z půdy odstraníme vegetaci a snížíme schopnost infiltrace půdy jejím zhutněním. Typickým příkladem jsou lesní porosty v kopcovité krajině. Zdejší nezpevněné cesty jsou obnaženy (prosekány mezi stromy) a utuženy (jezdí po nich těžká lesní technika), čímž jsou velmi náchylné k erozi. Často jsou tyto cesty značně zahloubeny pod okolní terén, půda byla splavena při deštích do nížin do vodních toků. Tento typ eroze, kdy člověkem obnaženou půdu rychle odnáší voda, je typický také pro stavbu železnic a silnic, které podemílají odtékající srážky. Kromě lesních cest je vodní eroze velmi typická také pro pole (zvláště velké lány na svažitém terénu) a intenzivní pastviny. Srážková voda může odtékat plošně nebo vytvářet stružky a rýžky až zářezy v půdě. Na velkých lánách se často projevuje také větrná eroze, kdy drobné půdní částice

jsou unášeny větrem ve formě prachu pryč z polí. Účinky větrné eroze můžeme vidět na polích ležících na mělkých půdách, kde se vyskytují světlejší plochy, způsobené obnažením podložního substrátu (bez organické hmoty). Eroze ochuzuje půdy o nejcennější (nejúrodnější) vrstvu – humusový horizont (na poli zvaný ornice). V průběhu času tak intenzita degradace půd může způsobit až změny v klasifikaci půdy dané lokality – cenné černozemě jsou degradovány na regozemě, podobně jako hnědozemě na pararendziny. Odhaduje se, že dnes je erozí ohrožena více než polovina plochy zemědělského půdního fondu. Na polích eroze způsobuje také odnos osiv a sadby, hnojiv a postřiků. Odnesené částice se kupí na úpatí svahů, kde mohou (dostanou-li se na komunikace) komplikovat dopravu, či pokud se dostanou do vodních toků, způsobují snížení průtočné kapacity řek, zanášení vodních nádrží, zakalení povrchové vody atp. Nezanedbatelný negativní vliv na vodní ekosystémy mají také odnesená hnojiva (způsobují eutrofizaci vody) a pesticidy (jež hubí vodní organizmy). Větrná eroze kromě odnosu částic poškozuje klíčící rostliny také mechanicky obrušováním.

Protierozní opatření jsou velmi důležitá a komplexní. Jejich principem je snížit energii srážek a větru a také gravitace. Dosahuje se toho jednak výsadbou větrolamů, zatravňováním svažitých pozemků, obděláváním půdy po vrstevnicích, pásovým hospodařením, ochranným obděláváním půdy a protierozní výsadbou plodin. Technickými opatřeními jsou terénní urovnávky, protierozní meze či terasování. Zalesňování obnažených svahů chrání vodní toky proti zanášení.

Acidifikace půdy

Pojem acidifikace znamená okyselování, tj. zvyšování koncentrace volných vodíkových iontů. Přírozenou slabou acidifikaci půd výrazně urychlují antropogenně podmíněné procesy, jako je používání kyselých hnojiv (průmyslová hnojiva, ale i kejda), imise a kyselá deště (slabé kyseliny síry a dusíku vznikající z oxidů síry a dusíku vypouštěných lidmi do ovzduší) a odebíráním bazických prvků (převážně vápníku) z půdy v plodinách. Co se vápníku týče (hlavní složka pufrčního komplexu, tj. komplexu, jež je schopen

tlumit okamžité výkyvy v acidobazické rovnováze neboli udržovat stálé pH půdy), na jeden hektar pole je ročně potřeba 30 kg Ca pro potřebu plodiny, 85 kg Ca jako kompenzace půdní reakce po aplikaci kyselých hnojiv, 30 kg Ca pro neutralizaci kyselého spadu a až 150 kg Ca pro neutralizaci kyselých dešťů (po zákonné úpravě emisí nyní podstatně méně). Důsledkem acidifikace je snížení pufrční schopnosti půdy. Pufrční schopnost při postupné acidifikaci je udržována nejprve rozpouštěním uhličitanu vápenatého či v kyslejších půdách zvětráváním silikátů. Po vyčerpání této schopnosti však dochází k výrazným změnám v půdním pH, ke zhoršení kvality humusu, zpomalení uvolňování minerálního dusíku z humusu, omezení dostupnosti fosforu pro rostliny, uvolňování rizikových prvků dosud vázaných v neškodných sloučeninách, rozpadu půdních strukturních agregátů, uvolňování a vymývání živin (K, Ca, Mg) a také k omezení rozvoje a aktivity půdních organizmů (bakterií, aktinomycet, ale i chvostoskoků, hmyzenek, drobnušek, žížal a dalších). Alespoň mírnou acidifikací je postižena veškerá půda v České republice. Hlavní zásady ochrany půdy před acidifikací jsou omezení vstupu kyselých hnojiv, omezení monokultur a střídání plodin, pěstování víceletých pícnin a hlavně pravidelným vápněním půd mletým vápencem.

Dehumifikace půdy

Pojem dehumifikace lze přeložit jako úbytek humusu (organické hmoty). Půdní organická hmota je soubor organických látek, které jsou uloženy v půdě či na ní a jsou či nejsou promíchány s minerální složkou půdy. Tato organická hmota je nerozložená či v různém stádiu rozkladu. Její rozklad, dekompozici, způsobují půdní organizmy a je součástí půdotvorných procesů. Dekompozice se skládá jednak z mineralizace (rozklad organické hmoty a uvolňování jednotlivých prvků ve formě jednoduchých iontů) a jednak z humifikace (reorganizace organické hmoty a vytváření stabilních organických komplexů fulvokyselin, huminových kyselin a huminu). Z mrtvé organické hmoty, která se dostává do půdy (resp. na její povrch), je většina uhlíku uvolněna edafonem do ovzduší ve formě CO₂ jako produkt dýchání, nicméně 10–30 % uhlíku je akumulováno v půdě ve formě humusu. Význam humusu spočívá hlavně v jeho schopnosti fungovat jako

zásobárna živin pro rostliny (a schopnost uvolňovat je postupně a nikoliv najednou, jak je tomu při mineralizaci), ve schopnosti absorbovat velké množství vody a také v jeho spoluúčasti na tvorbě půdních agregátů, které vytvářejí půdní strukturu a podílejí se na provzdušnění půdy.

Úbytek organické hmoty na polích je zcela logicky způsoben již tím, že plodiny nejsou ponechány na poli k dekompozici půdními organizmy, ale jsou odvezeny a využity lidmi. Podobná situace je i v hospodářských lesích. Další antropogenní faktory posilující míru dehumifikace jsou eroze (jež způsobuje odnos organických látek) a zamokření půd či naopak jejich vysušení, což obojí zrychluje mineralizaci organické hmoty. Vzhledem ke stupni ohrožení zemědělského půdního fondu erozí je právě eroze nejvýznamnějším faktorem podílejícím se na dehumifikaci. Důsledkem úbytku organické hmoty v půdě je fyzikální degradace půdy (rozpad půdních agregátů) způsobující větší náchylnost k erozi a sníženou schopnost odolávat zhutnění a absorbovat vodu (retenční kapacita krajiny), snížení pufrční schopnosti, se kterou souvisí odolávání acidifikaci, náchylnost ke kontaminaci a snížená schopnost uvolňování živin.

Ochrana půd před dehumifikací souvisí tedy hlavně s jejich ochranou před erozí. Vzhledem k odnosu vyprodukované organické hmoty je dále velmi vhodné ponechávat na polích co nejvíce posklizňových zbytků a využívat tzv. zelené hnojení ve formě zaoraných leguminóz (bobovité rostlin). Vzhledem k dlouhodobému procesu humifikace, jeho relativně nízké účinnosti (většina uhlíku je prodýchána) a nezbytné přítomnosti půdních organizmů, které na polích nemají nejvhodnější podmínky, je však nemožné zvýšit trvale obsah humusu na polích ani vysokými dávkami organického hnojení. Aplikace statkových hnojiv či pouze zeleného hnojení podporuje převážně mineralizaci organické hmoty za rychlého uvolnění živin. Pomalé tlumené uvolňování živin z humusu je podpořeno hlavně aplikací vyvrálých kompostů a humátů na pole. Stále však platí, že tvorba půdy je proces velmi pomalý.

Kontaminace půdy

Pojem kontaminace znamená znečištění. Kontaminované půdy jsou půdy znečištěné látkou, která do půdy nepatří či se v ní za přirozených podmínek vyskytuje v podstatně nižší koncentraci. Kontaminanty mohou poškodit základní funkce půdy, ale mohou se šířit do okolí i do potravních řetězců (např. do rostlin a pak do jejich konzumentů). Dvě hlavní skupiny kontaminantů jsou potenciálně rizikové prvky a perzistentní organické polutanty. Potenciálně rizikové prvky jsou převážně těžké kovy, které se v prostředí běžně vyskytují ve velmi nízkých koncentracích a jsou často prvky stopovými, nutnými pro správné fungování fyziologických pochodů. Zvýšené koncentrace však jsou již toxické. Vyšší koncentrace těžkých kovů se vyskytují místy přirozeně v souvislosti s výskytem specifických hornin v podloží (ultrabazické horniny, rudné žíly atd.). Antropogenně se do půdy dostávají některé potenciálně rizikové prvky převážně ve formě imisí z dopravy, spalování a průmyslové výroby. Jiné prvky se mohou dostávat do zemědělské půdy nevhodným používáním průmyslových hnojiv či pesticidů. Významným zdrojem mohou být kaly z čističek odpadních vod či aplikace sedimentů z vyčištěných rybníků a řek (kontaminanty, které byly spláchnuty vodní erozí z polí do vodních toků, se takto mohou dostávat zpět v mnohem vyšších koncentracích). Podobně velmi významným zdrojem kontaminace může být zaplavení půd z vodního toku, který je při povodňových srážkách kontaminován splachem z polí položených výše proti proudu. Tyto potenciálně rizikové prvky vstupují do rostlin kořenovým systémem. Ochrana půdy před její kontaminací spočívá v přísných kontrolách obsahu rizikových prvků v aplikovaných agrochemikáliích i v aplikovaných kalech. Vyčištění kontaminovaných půd je zdlouhavý proces, kromě snahy vyvázat kontaminanty do humusových látek je vypracována metodika tzv. fyto-remediace, při které se na kontaminovaných půdách pěstují rostliny, které mají zvýšenou schopnost akumulace těchto rizikových prvků (hyperakumulátory). Netřeba dodávat, že tyto rostliny pak musejí být vhodně zlikvidovány.

Perzistentní organické polutanty jsou organické látky, jež jsou jednak toxické a jednak odolné vůči rozkladu. Jde o velmi širokou skupinu látek, které se většinou vyrábějí průmyslově (či vznikají jako meziprodukt), některé z nich

vznikají i přirozenou cestou (hoření, metabolismus některých mikroorganismů) nicméně většinou v zanedbatelných koncentracích. Řada z těchto látek je běžně používána i v každodenním životě (zpomalovače hoření, součásti nátěrů, pesticidy ad.). Mezi nejznámější z nich patří například pesticid DDT, polychlorované bifenyly (PCB), naftalen, toluen a další. Seznam rizikových látek je velmi dlouhý a stále v něm přibývají nové látky. Tyto látky většinou nevstupují do rostlin jejich kořenovým systémem, ale ulpívají na jejich povrchu. Vyčištění silně kontaminovaných půd je proces velmi nákladný. Technické postupy spočívají v omezení pohybu kontaminantu v půdě (bariéry) a následném čištění půdy (horká voda, extrakční činidla atd.). Kontaminované půdy jsou často vyjmuty ze zemědělského půdního fondu a jsou použity pro jiné účely.

Kompakce půdy

Pojmem kompakce se rozumí stlačení. Stlačení neboli utužení či zhutnění půdy je její nepříznivá degradace s následkem změny pórovitosti a objemové hmotnosti. Utužená půda špatně vsakuje vodu, srážky rychleji odtékají po zpevněném povrchu a zvyšuje se tak vodní eroze. Snížení pórovitosti vede ke snížené retenční schopnosti půdy, tj. schopnosti vázat vodu a bránit vzniku povodní. V utužené půdě také hůře klíčí rostliny a špatně se v ní pohybují půdní živočichové. Půdní organizmy také špatně snášejí změny provzdušnění a změny vodního i teplotního režimu utužené půdy. Kompakci půdy způsobují i procesy přirozené jako například zajílení či oglejení (dané povahou půdotvorného substrátu, vlastnostmi sorpčního komplexu, strukturou půdy i její kyselostí), mnohem významnější však je utužení půd způsobené použitím techniky. Těžká mechanizace je využívána jak v zemědělství, tak při lesním hospodaření, pojezd vozidel mimo cesty způsobuje výrazné zhutnění půdy. Každý, kdo chodí do lesa, si mohl všimnout stop po automobilech (zvláště nákladních), které projely mimo cesty. Takovéto „koleje“ zůstávají v lese zřetelné i několik let. Kromě pojezdu mechanizace se na pedokompakci podílí také acidifikace, vysoké hnojení draselnými hnojivy, dehumifikace, či nadměrné zavlažování půd. Utužením je v České republice ohrožena polovina zemědělského půdního fondu. Ochrana proti kompakci půd spočívá

v odstranění příčin. Kromě vystřihání se vysokých závlah (ale i pěstování monokultur, opomíjení víceletých pícnin či přehnojování draselnými hnojivy) je hlavním opatřením omezení pojezdu těžké mechaniky nutné ke svážení dřeva (v lesích) či kultivaci půdy (na polích) na období s vhodnými podmínkami. V lese to je období promrzlé půdy, na polích suché období v kombinaci s širokými či podhuštěnými pneumatikami. Přirozená obnova půdní struktury je dosažena jednak činností půdních živočichů, jednak působením mrazu (led má vyšší objem než adekvátní množství vody), jedná se však o proces zdlouhavý.

Zábor půdy

Tento český termín je nepřesným překladem anglického pojmu *soil sealing*. Sealing se dá v této souvislosti nejtrefněji přeložit jako zakrytí, neprodyšné uzavření, izolování. K takovému zakrývání půdy nepropustnými materiály dochází právě při záborech půdy, tj. zastavění. Půda může být zastavěna jednak budovami, ale hlavně přelita betonem či asfaltem při stavbě komunikací, parkovišť, odstavných ploch a dalších. Rozšiřování měst neboli suburbanizace je proces neodvratný a v současné době až živelný. Zábory půdy suburbanizací i transportní infrastrukturou jsou velmi vysoké v rozvinutých evropských státech (Švýcarsko, Benelux, Rakousko, Německo) s vysokou hustotou obyvatel, ale významný je i v České republice. V rámci EU se odhaduje, že 2,3 % půdy je pokryto nepropustným povrchem, z čehož většina byla zabrána v posledních letech. V České republice je zastavěno vyšší množství půdy (3,2 %), než je průměr pro EU (dle množství zastavěné půdy jsme desátou zemí EU, žebříček vede Malta s 18 % a uzavírá Švédsko s pouhými 0,4 %), přičemž v posledních letech je u nás *denně zastavěno* přibližně 15 ha půdy, to je plocha 21 fotbalových hřišť (Androva stadiónu, kde hraje domácí zápasy FK Sigma Olomouc). Hlavním nešvarem převážně dnešní doby je suburbanizace formou výstavby tzv. na zelené louce. Zatímco městu tato výstavba přináší krátkodobý ekonomický přínos, dlouhodobý negativní efekt záboru zemědělské půdy je přehlížen. Hlavní faktory, které činí výstavbu na zelené louce atraktivní pro investory, je nízký tlak na přednostní využívání *brownfields* (půda ležící ladem uvnitř měst, často areály uzavřených továren, kasáren a dalších opuštěných

ploch), snadná dopravní dostupnost okolí měst (nová výstavba probíhá podél dálnic a silnic) a poměrně nízká cena pozemků, která je často vlastníky podhodnocována (místní samosprávy, které se snaží přilákat do obce investory a s nimi další obyvatelstvo, často investory různě finančně pobízejí). Negativní dopad záboru na půdu je definitivní a nezvratný – zastavěná půda je trvale zničena a ztrácí všechny své vlastnosti. Zastavěný povrch nejenže neumožňuje růst rostlin, ale také podporuje vodní erozi okolí, pozměňuje hydrologii okolní krajiny (hlavně hladinu podzemní vody) a významně pozměňuje mikroklima lokality (zvyšuje teplotu, odpar, proudění vzduchu). V městských parcích je silně pozměněna fenologie parkových rostlin a stromů, dokonce se hovoří v této souvislosti o tzv. *pseudotropical bubbles* či *heat islands*. Ochranou proti záborům půdy je pouze důsledné dodržování a posílení stávající legislativy s výraznějším tlakem na primární využívání brownfields a nepovolování záboru kvalitních zemědělských půd v okolí měst. Dokud však nedojde ke změně pohledu na půdu samotnou pouze prizmatem ekonomiky a krátkodobých zisků, zlepšení se nedočkáme.

Půda v právních souvislostech

Právo a právní systém se z definice vztahuje k *vlastnictví* jednotlivých entit a k výčtu *práv*, kterými vlastník (*správce*) disponuje. Mezi státem uznávané právní principy patří např. dobrá víra, dobré mravy, právní jistota, veřejný pořádek, dobrá správa aj. z pochopitelných důvodů se proto ochrana půdy právně vztahuje zejména na půdu obhospodařovanou, což znamená půdu využívanou zemědělci či lesníky. Právní předpisy týkající se půdy navrhují a přijímají převážně resorty Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí. Hlavními zákony, které se aktuálně vztahují k ochraně půdy, jsou:

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů. Kromě definice zemědělského půdního fondu (zemědělská půda, půda dočasně neobdělávaná, rybníky s chovem ryb nebo vodní drúbeže a nezemědělská půda potřebná k zajišťování zemědělské výroby, jako jsou například cesty) a výčtu jeho funkcí stanovuje postupy pro změnu využití půdy pro jiné účely. Souhlas ke změně účelu půdy je možné

vydat jen v nezbytných případech a tak, aby byla odejmuta jen nejnútnejší plocha, zákon stanovuje případy, kdy souhlasu orgánu ochrany zemědělského půdního fondu není potřeba a dále stanovuje podmínky vyměření odvodu za vynětí půdy ze zemědělského půdního fondu. Zákon rovněž vymezuje působnost orgánů ochrany zemědělského půdního fondu.

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů. Zákon upravuje cíle a úkoly územního plánování, jeho soustavu orgánů a nástroje, stanovuje vyhodnocování vlivů na udržitelný rozvoj území a další postupy související s územně plánovací činností.

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů. Zákon stanovuje, jak udržet za pomoci krajů, obcí, vlastníků a správců pozemků přírodní rovnováhu v krajině, chránit rozmanitost forem života, přírodních krás a jak šetrně hospodařit s přírodními zdroji.

Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon vymezuje základní pojmy a stanovuje základní zásady ochrany životního prostředí.

Zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon stanovuje předpoklady pro zachování lesa, péči o něj a jeho obnovu. Pozemky určené k plnění funkce lesa mohou být opět použity pro jiný účel jen velmi výjimečně a v odůvodněných případech.

Zákon č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů. Zákon upravuje řízení o pozemkových úpravách, stanovuje působnost pozemkových úřadů. v souvislosti se scelováním pozemků či jejich dělením se uspořádávají vlastnická práva a související věcná břemena. Ohled se bere právě na zlepšení životního prostředí, ochranu zemědělského půdního fondu a ekologickou stabilitu krajiny.

Zákon č. 252/1997 Sb., o zemědělství, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon vytváří předpoklady pro podmínky provozování zemědělství a zajištění jeho schopnosti produkovat potraviny pro obyvatele a jiné mimoprodukční funkce zemědělství, zohledňujících ochranu půdy, vody, ovzduší a dalších složek kulturní krajiny.

Ohrožení edafonu a jeho ochrana

Půdní organizmy jsou ohroženy všemi faktory, které ohrožují samotnou půdu. Eroze, a s ní spojená dehumifikace půdy, je připravuje o životní prostředí (zmiňovali jsme, že většina živočichů žije v několika svrchních centimetrech půdy). Acidifikace půd je velmi nepříznivá hlavně pro citlivé skupiny, které nedokážou přijímat kyselější vodu. Druhým významným negativním aspektem acidifikace je snížení dostupnosti vápníku pro mnohonožky a suchozemské stejnonožce, kteří používají vápenaté soli pro inkrustaci své kutikuly (pokožky). V okyselených půdách proto rychle klesají početnosti hmyzenek, drobnušek, chvostoskoků, ale i žížal, mnohonožek a suchozemských stejnonožců, řada druhů z postižených lokalit definitivně mizí. Hmyzenky, před sto lety poměrně běžné, se v důsledku imisí a souvisejících kyselých dešťů u nás staly dosti vzácnými. Podobně je řada druhů citlivá na kontaminaci půdy, jak potenciálně rizikovými prvky, tak perzistentními organickými polutanty. Používání insekticidů na polích snižuje nejen populace škodlivého hmyzu, který se pokouší konzumovat úrodu, ale také půdních bezobratlých, kteří vytvářejí půdu samotnou.

Samostatnou kapitolou je kompakce půdy, která má na půdní živočichy velmi významný vliv. Půda utužená, ve které zaniká půdní struktura s agregáty obklopenými prostory, kterými mohou živočichové pohodlně prolézat, a ve které se z bortí chodbičky větších druhů (např. žížal), je pro většinu půdních bezobratlých neobyvatelná. Živočichové ve svrchní vrstvě jsou při pojezdu těžké mechanizace přímo rozdraceni, jedinci vyskytující se hlouběji se často nemohou utuženou svrchní vrstvou prohrabat na povrch a hynou takto „pohřbeni zaživa“. Zhutnělé půdy odolnější druhy opouštějí a vylézají na povrch (po kterém se pohybují snadněji), kde jsou potravou predátorů z řad ptáků a hmyzožravců a kde jsou vystaveni nepříznivým podmínkám (nejsou chráněni proti změnám teploty a vlhkosti a proti škodlivým účinkům UV záření). Ačkoliv by se mohlo zdát, že orba brání kompakci půdy a bude podporovat rozvoj půdních bezobratlých, opak je pravdu. Souvisí to jednak s tím, že orba probíhá

obvykle za pomoci traktorů, které půdu při orbě zhutní a pak roztrhají, jednak samotná orba představuje destrukci norových systémů řady bezobratlých. Příkladem mohou být výše zmíněné hlubinné žížaly, které obývají pastviny a louky. Na nepoškozených neoraných loukách jejich hustota dosahuje hodnot až kolem tisíce jedinců na metr čtvereční. Po rozorání takovéto louky však v druhém roce klesne početnost žížal na méně než třetinovou úroveň, po opakované orbě často klesne až k nule. Použití těžké techniky při orbě navíc způsobuje kompakci tzv. podorničí, svrchní zoraná půda leží na zhutnělé vrstvě, která brání zasakování vody, prorůstání kořenů i rozvoji půdních bezobratlých.

Kompakce půdy je sice nepříznivá pro rozvoj půdních bezobratlých, avšak to, co platí pro zhutnělé půdy, platí mnohem více pro půdy zakryté betonem či asfaltem. Ani aktivní raziči chodeb, kteří se dokáží prokousávat a prohrabávat půdou do velkých hloubek (kromě zmíněných hlubinných žížal například ponravy chroustů, které žijí v půdě tři až čtyři roky, či nymfy cikád vyvíjející se 6 až 10 let), se asfaltem neprokoušou. Negativní dopad na populace edafonu však nemá jen vlastní „pohřbení zaživa“ pod neprostupnými povrchy. Významným problémem jsou také silnice, poměrně úzké liniové stavby. Tyto rozdělují krajinu a přispívají tak k vytváření izolovaných ostrovů (obklopených silnicemi). Tato izolace pro nás není příliš zjevná, nicméně z pohledu půdních bezobratlých to může být nepřekročitelná překážka. Pod vlastním povrchem pozemní komunikace je vybudované zpevněné zemní těleso, které samo o sobě představuje neprostupnou bariéru pro živočichy pohybující se ve svrchních vrstvách půdy. Asfaltové komunikace však představují problém i pro epigeon. Například pro nelétavé druhy střevlíků je opakovaně doloženo z Finska, Maďarska či Japonska, že se vyhýbají asfaltovým silnicím. Protnutí lesa takovouto komunikací způsobí rozdělení původní populace na dvě menší, geneticky izolované subpopulace, které jsou náchylnější k vyhynutí. Rozparcelování původní krajiny sítí silnic na šachovnici malých plošek tento problém samozřejmě umocňuje.

Půdní bezobratlí jsou obecně chráněni zákony, které se týkají ochrany půdy a ochrany přírody a krajiny. Dalším legislativním opatřením, které se vztahuje

k půdním organizmům, je Vyhláška 395/1992 Sb. Ministerstva životního prostředí České republiky ze dne 11. června 1992, kterou se provádějí některá ustanovení zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Její třetí přílohou je seznam zvláště chráněných druhů živočichů.

Ačkoliv je řada druhů půdních bezobratlých velmi vzácná (například naše endemická xerofilní žížala *Dendrobaena mrazeki*), většina z nich se do této vyhlášky nedostala. Základem ochrany živočichů je totiž komplexní ochrana jejich stanovišť a řada těchto vzácných druhů je svým výskytem vázána na chráněná území. Navíc je vhodné, aby druhy chráněné byly poměrně snadno rozpoznatelné a jejich určení nebylo u nás proveditelné pouze jediným či několika málo specialisty. Tradičně nejpopulárnější u nás jsou někteří brouci, denní motýli, některé skupiny blanokřídlého hmyzu a vážky. Z tohoto důvodu mezi chráněnými druhy nenajdeme žádné stonožky, mnohonožky, stejnonožce, chvostoskoky, pancířníky, hmyzenky, žížaly ani roupice či hlístice.

Přesto se však nedá říci, že by ochránci přírody na půdní bezobratlé zcela zapomněli. Analýzou navrženého seznamu zvláště chráněných druhů (podklad pro návrh novely z roku 2011) zjistíme, že více než čtvrtina z téměř 350 taxonů (druhů či rodů) bezobratlých živočichů navržených k druhové ochraně je svým způsobem života svázána s půdou. To je poměrně úctyhodný počet, když si uvědomíme, že druhou nejpočetnější skupinou návrhu představují motýli (21 % druhů ze seznamu), z nichž se jen s jistou dávkou nadsázky dá považovat několik druhů modrásků za zástupce edafonu, jelikož jejich housenky se vyvíjejí v zemních hnízdech mravenců rodu *Myrmica*. Za edafické nelze považovat ani žádné navržené zástupce vážek či korýšů. Poměrně velký počet druhů s vazbou na půdní prostředí však najdeme mezi navrženými druhy blanokřídlých a brouků. Z blanokřídlých to jsou hlavně některé druhy mravenců rodu *Formica*, kteří si stavějí velká kupovitá hnízda (většina hnízda je pod povrchem terénu) a jejichž vliv na tvorbu půdy je opravdu značný. Mezi zástupci blanokřídlých s vazbou na půdu jsou i někteří čmeláci, jejichž královny stavějí hnízda v zemi, a některé samotářské kutilky, jejichž samice vyhrabávají nory, do kterých kladou vajíčka na paralyzovanou živou kořist. Další početnou

skupinou jsou pavoukovci, mezi kterými najdeme několik druhů a rodů pavouků obývajících nory. Nejznámější jsou stepníci (rod *Eresus*) a sklípkánci (rod *Atypus*), kteří v norách tráví prakticky celý život, ale patří k nim i nory obývající slíďáci rodů *Arctosa* a *Alopecosa*. Mezi navrženými pavoukovci najdeme i sekáče klepítníky (rod *Ischyropsalis*), kteří patří mezi typické zástupce epigeonu. Mezi další zástupce hmyzu, kteří jsou navrženi k druhové ochraně a žijí v půdě, patří oba naše druhy ploskorohů, jejichž larvy patří mezi epigeon, a všechny tři druhy našich cikád. Larvy cikád prodělávají několikaletý vývoj v půdě, ve které se živí kořeny rostlin. Mezi edafon patří i škvor velký, který žije v norách v písčitém substrátu, v norách také samice opatruje snůšku vajíček.

Největší počet druhů půdních bezobratlých však najdeme mezi brouky, kteří představují nejpočetnější skupinu živočichů navržených k druhové ochraně. Nejvíce jich patří do čeledi stěvlíkovití (Carabidae), kteří obývají povrch půdy jak ve stádiu larev, tak dospělců. Mezi zajímavé brouky s pozoruhodnou vazbou na půdu patří majky (čeleď Meloidae), jejichž pohyblivé larvičky nazývané triungulin vylézají na kvetoucí rostliny, kde čekají na přilet některých druhů samotářských včel. Těchto se potom přichytí a nechají se zanést do jejich podzemního hnízda, ve kterém parazitují a prodělávají celý vývoj. Za připomenutí stojí ještě vzácné druhy chrobáků (čeleď Geotrupidae) a vrubounů (čeleď Scarabeidae). Dospělci chrobáka jednorohého tráví většinu života v půdě, rojení probíhá pouze několik dní v roce. Larvy se živí na podzemních houbách. Tento druh se u nás vyskytuje pouze na původních panonských trávnících na sprašových půdách, typickým habitatem jsou řídké panonské doubravy, lesostepi a stepi. Teplomilný druh xerothermních trávníků a pastvin výkalmík pečlivý zahrabává do půdy trus, čímž se podílí na dekompozici i tvorbě půdy. Brouci pod trusem hloubí komůrky přibližně 15–20 cm dlouhé. Během června do vyhloubené chodby samec se samicí dopraví velké množství trusu, kterým se živí larvy. Podobný způsob života má i chrobák vrubounovitý, žijící na písčitých půdách nebo vápencových podkladech.

Jak je zřejmé, půdní organizmy nejsou zrovna v centru pozornosti našich zákonodárců, nicméně ochrana jejich životního prostředí i ochrana některých

nápadných druhů slibuje, že při dodržování zákonů budou jejich populace zachovány.

Pokusy

Experiment: Oživení půdy

Experiment: Život kolem nás

Experiment: Vliv vybraných skupin edafonu na půdu

Experiment: Účinnost zemních pastí 1

Experiment: Účinnost zemních pastí 2

Experiment: Účinnost zemních pastí 3

Experiment: Možnosti značení střevlíků

Experiment: Značení a opětovný odchyt střevlíků

Experiment: Možnosti značení plžů

Experiment: Možnosti značení suchozemských stejnoonožců

Experiment: Možnosti značení svinulí

Experiment: Vliv značení svinulí na jejich chování

Experiment: Thanatóza jako obranná reakce střevlíků

Experiment: Thanatóza jako obranná reakce mnohonožek a stejnoonožců

Experiment: AgregáčnÍ chování stínek v přítomnosti predátorů

Experiment: Oživení půdy

Problematika: Půda je tajuplná. Je neprůhledná a na první pohled není vůbec zřejmé, že v ní jsou nějaké živočichové. Při podrobnějším pohledu lze na povrchu vidět zbytky ulit, vnějších koster hmyzu, hromádky žížalího trusu. Až při pečlivém průzkumu opadu najdeme nějaké zástupce makrofauny. Přesto však v půdě žije udivující množství živočichů.

Cíl: Cílem tohoto experimentu je povšimnout si skrytého způsobu života půdní fauny. Seznámíme se s jednotlivými skupinami edafonu (mezofauny, makrofauny, megafauny), povšimneme si počtu jedinců vzhledem k ploše vzorku a odhadu diverzity jednotlivých skupin. Srovnáme složení společenstev edafonu v různých biotopech.

Potřebné pomůcky: Lopatka, nůž, pravítko, igelitové sáčky, pinzety, misky (fotografické, ale postačí i podmisky pod květináč), epruvety či skleničky pro uzavření živočichů, lahve s hořčičným roztokem (2 dl hořčice na 2 l vody), binokulární lupa, Tullgrenův extraktor*

Postup: V příhodném biotopu se pokusíme nejprve individuálním sběrem najít nějaké zástupce edafonu. Vhodný biotop je les či lesu podobný starý park (s vrstvou opadu). Jako druhou navštívíme nějakou luční lokalitu (či zahradu atp.). Živočichy hledáme v opadu a pod ním (na rozhraní opadu a fermentační vrstvy), pod kameny, kusy dřev apod. Poté odebereme půdní vzorky o velikosti

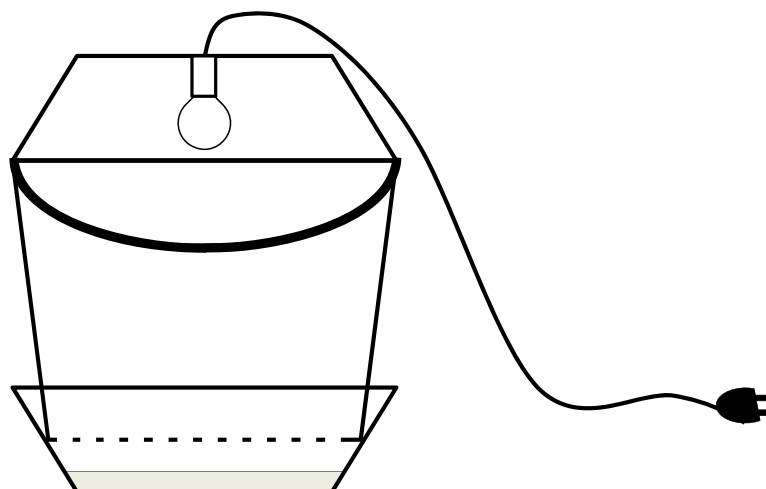
* Jako extraktor postačí skleněná nálevka s vloženým větším sítem. Levné a funkční extraktory můžeme vyrobit i z plastového kbelíku, pletiva (svařovaného pozinkovaného o velikosti ok 1 cm) a plastové misky (kuchyňská, hlubší). U kbelíku odřežeme dno a místo něj přilepíme na hranu, či do ní vtavíme, pletivo. To poté obstříháme a takto upravený kbelík vsadíme do misky vhodné velikosti tak, aby se vzeprl o stěny několik centimetrů nade dnem (obr. 6). Do kbelíku vkládáme půdní vzorek či hrabanku, do misky pod kbelík lijeme fixační roztok (líh, etylenglykol, formalín). Vhodné je nad kbelík umístit žárovku (nikoliv úspornou) pro urychlení vysychání vzorku. V letních měsících postačí umístění do skleníku, či na nějaké klidné teplé místo.

20 × 20 cm či 25 × 25 cm do hloubky 10 cm. Odebíráme je pomocí pravítka (dřevěné měřítko je vhodnější), nože a lopatky a pokoušíme se je odebrat vcelku a co nejméně poškozené. Do vzniklé jamky vlijeme hořčičný roztok a počkáme několik minut, než vylezou žížaly z hlubších vrstev.

V pracovně (laboratoři) ručním rozbořem zkusíme vybrat všechna zvířata z odebraných půdních vzorků (rozebíráme malá množství materiálu na miskách), zbytek materiálu vložíme do extraktoru a necháme přibližně týden vysychat. Dáváme pozor, aby se nevypařila fixační tekutina.

Do protokolů uvedeme počty jedinců různých skupin nasbíraných individuálním sběrem, vybraných ručně z půdního vzorku i posléze vypuzených v extraktorech. Povšimneme si rozdílů v zastoupení jednotlivých skupin v úlovcích z obou metod, vyhodnotíme efektivitu ručního rozboru půdních vzorků (tj. kolik procent zvířat ve vzorku zůstalo po rozboru a bylo posléze vypuzeno).

Výsledky z lesa a louky srovnáme, porovnáme hlavně účinnost individuálního sběru na těchto lokalitách.



Obrázek 6: Jednoduchá varianta extraktoru z kbelíku, jehož dno je nahrazeno pletivem, a plastové misky, v níž kbelík stojí. Krycí miska s uchycenou žárovkou není nezbytná. (orig. Tuf)

Experiment: Život kolem nás

Problematika: Když vyjdeme na zahradu či do parku, můžeme pozorovat létající hmyz – mouchy, vosy, čmeláky, motýly atp. Po povrchu země se pohybují různí střevlíci či mravenci. Víme však, co v zahradě může běhat v noci, když drobným bezobratlým nehrozí vyschnutí či přehřátí pod přímými slunečními paprsky?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zaznamenat, které skupiny epigeonu žijí ve městě. Seznámíme se s jednotlivými skupinami epigeonu (makrofauny), povšimneme si diverzity jednotlivých skupin.

Potřebné pomůcky: Zavařovací sklenice (0,7litrové), plastové kelímky na nápoje (0,3litrové), které lze „zavěsit“ do sklenice (tj. kelímek do sklenice nepropadne, ale přesně do něj zapadne tak, že horní okraj nepřechnívá), návnada do pasti, lopatka, pinzety, misky (fotografické, ale postačí i podmisky pod květináč), epruvety či skleničky pro uzavření živočichů, binokulární lupa.

Postup: V příhodném městském biotopu v našem okolí instalujeme zemní pasti. Vhodným biotopem je starší zahrada, park, rumiště atp. Pomocí lopatky vyhloubíme jámu, do které vsadím sklenici. Snažíme se, aby sklenice svou hranou přesně kopírovala povrch země (nesmí vyčnívat nad povrch) a aby jáma byla co nejužší, tj. povrch země kolem pasti nebyl příliš narušený. Při instalaci pasti je vhodné mít sklenici zakrytou víčkem, aby do ní nepadala zemina. Poté do sklenice vsadíme kelímek a do kelímku umístíme návnadu. Jako návnada může posloužit kousek uzeniny či sardinky, zralý sýr, přezrálé ovoce atp. Past zakryjeme plochým kamenem či dřevem tak, aby se jí past nezavřela (lze např. kámen podložit třemi malými kamínky). Takových pastí umístíme několik (cca 5–10) v různých příhodných koutech zahrady či parku. Pasti chodíme kontrolovat několikrát denně, abychom minimalizovali predaci uvnitř pastí. Ulovená zvířata přineseme ve sklenicích do laboratoře, kde je můžeme pozorovat, chovat, krmit, určovat atp.

Lze si všimnout a vyhodnotit účinnost jednotlivých pastí s ohledem na použitou návnadu (která je nejvhodnější pro jednotlivé skupiny?) či s ohledem na

umístění pastí (např. pod keřem, u zdi domu atp.). Také můžeme porovnat velikost úlovku vzhledem k části dne, během níž byla past exponovaná (např. během noci, během dopoledne a během odpoledne). V pracovně si můžeme pod lupou prohlédnout jednotlivé zástupce různých skupin a povšimnout si determinačních a specifických znaků.

Experiment: Vliv vybraných skupin edafonu na půdu

Problematika: Struktura půdy vzniká jednak mechanicky (například změnami teploty půdy, které vedou k jejímu nakypření), jednak v důsledku růstu kořenů či činností půdních živočichů. Zjednodušeně řečeno, strukturu popisujeme jako uspořádání agregátů půdy a půdních pórů (obsah pórů vyjadřuje pórovitost půdy). Které skupiny edafonu mají na vznik půdní struktury největší vliv? Jak dlouho vzniká porézní půda?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je povšimnout si, které skupiny edafonu mají výrazný vliv na vznik struktury půdy.

Potřebné pomůcky: Větší (vyšší) skleněné nádoby se zeminou, entomologická pinzeta, lopatka, epruvety či skleničky pro uzavření živočichů.

Postup: V přírodě odebereme zeminu. Tu poté vysušíme, rozmělníme, případně prosejeme. Takto připraveným homogenním substrátem naplníme vyšší skleněné nádrže (objem alespoň dva litry, hloubka minimálně 10 cm), můžeme využít velké zavařovací sklenice. Substrát lehce zhutníme pěstí nebo poklepáním sklenice o stůl. Na povrch substrátu umístíme listový opad a substrát přiměřeně zalijeme. Na sklo nádrže si uděláme značku pro zaznamenání výšky povrchu substrátu (bez opadu). Boky nádrže zakryjeme papírem (obalíme sklenice třeba novinami).

V příhodném biotopu se pokusíme nachytat dostatečně velké množství půdních bezobratlých různých druhů. Hledáme hlavně dekompozitory, tzn. žížaly, mnohonožky, suchozemské stejnonožce. Do jednotlivých nádrží vložíme přiměřené množství jedinců jednoho druhu (počet jedinců odpovídá ploše půdy, v přírodě dosahují uvedené skupiny edafonu početností až několik set na metr čtvereční). Jednu nádrž necháme neosazenou, jako kontrolu.

Průběžně kontrolujeme množství opadu na povrchu půdy i vlhkost v nádržích, obojí udržujeme na optimální hodnotě. V pravidelných intervalech (několikadenních) snímáme papírový obal a zaznamenáváme výšku povrchu půdy (stačí jako změnu vůči původní pozici). Do protokolů zaznamenáváme

množství dodaného opadu (počet listů či lépe jejich hmotnost) a změny výšky povrchu substrátu. Vhodné je provádět fotodokumentaci půdního profilu.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, jak se vytvářela půdní struktura. Tu odhadneme ze zvýšení povrchu substrátu, k čemuž dojde díky vyhrabání chodbiček jednotlivými skupinami edafonu. Vyhodnotíme i rychlost rozkladu opadu (kvalitativně), jeho míru promíchání se substrátem (lze zhodnotit dle míry ostrosti původního povrchu substrátu). Srovnáme tyto výsledky pro jednotlivé skupiny. Žížaly a mnohonožky řádu Julida jsou aktivní raziči chodeb, jejich půdotvorná činnost by měla být nejvýraznější. Oproti tomu stínky příliš aktivně nehrabou, půda v jejich nádrži by neměla být příliš dobře vyvinuta. V kontrolní nádrži by povrch substrátu měl být zřetelně nepromíchaný s opadem.

Experiment: Účinnost zemních pastí 1

Problematika: Do zemních pastí se chytají zástupci epigeonu, tj. půdních bezobratlých, kteří běhají po povrchu země a v opadu. Klasické zemní pasti využívají různé fixační roztoky, jako je formaldehyd, nemrznoucí směs obsahující etylenglykol a další. Formaldehyd však i po naředění nepříjemně čpavě páchne – proč do něj ta zvířata padají? A je pravda, že se švábi slézají na pivo?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zaznamenat, které skupiny epigeonu se chytají do zemních pastí v závislosti na použitém fixačním roztoku.

Potřebné pomůcky: Zavařovací sklenice (0,7litrové), plastové kelímky na nápoje (0,3litrové), které lze „zavěsit“ do sklenice (tj. kelímek do sklenice nepropadne, ale přesně do něj zapadne tak, že horní okraj příliš nepřechnívá), fixační média (pivo, 4% vodný roztok formaldehydu, 40% vodný roztok denaturovaného lihu, nasycený solný roztok, etylenglykol), lopatka, sítko (kuchyňské), skleničky na ulovený materiál, pinzety, misky (fotografické, ale postačí i podmisky pod květináč), epruvety pro uložení úlovku, binokulární lupa.

Postup: V příhodném biotopu instalujeme zemní pasti. Vhodným stanovištěm je les, starší zahrada, park, rumiště atp. Pomocí lopatky vyhloubíme jámu, do které se nám podaří vsadit sklenici. Snažíme se, aby sklenice svou hranou přesně kopírovala povrch země (nesmí vyčnívat nad povrch) a aby jáma byla co nejužší, tj. povrch země kolem pasti nebyl příliš narušený. Při instalaci pasti je vhodné mít sklenici zakrytou víčkem, aby do ní nepadala zemina. Do sklenice vsadíme kelímek a do kelímku nalijeme fixační roztok. Každé použité médium dáme do pěti pastí – od toho se odvíjí celkový počet instalovaných pastí. Vhodné je pasti instalovat v linii s rozestupem 10 m či ještě lépe ve čtvercové síti se sponem 15 m. Do pastí dáme zvolená fixační média, snažíme se je rozmístit do pastí rovnoměrně (tj. snažíme se zabránit např. použití formalinových pastí v jedné části a pivních pastí v odlišné části). Pasti zakryjeme plochými kameny či dřevem tak, aby se jimi past nezavřela (lze např. kámen podložit třemi malými kamínky). Pasti chodíme vybírat v pravidelných

(cca dvoudenních až týdenních) intervalech, abychom zamezili maceraci a rozkladu ulovených živočichů (formalín a líh konzervují dobře, ostatní média jsou osmoticky aktivní). Úlovek z pasti převedeme do sběrné skleničky (přesnídávková, či plastové kelímky) pomocí sítka, fixační tekutinu vrátíme do pasti či vyměníme dle potřeby za novou. Pokus necháme probíhat několik týdnů (přibližně měsíc). Ulovená zvířata přineseme do laboratoře, kde je můžeme roztrždit do jednotlivých taxonomických skupin, určovat, kreslit atp.

Lze si všimnout a vyhodnotit účinnost jednotlivých pastí s ohledem na použitou fixační tekutinu. Obecně platí, že zatímco formaldehyd přitahuje některé druhy střevlíkovitých, odpuzuje mnohonožky, stejnonožce i sekáče. V pracovně si můžeme pod lupou prohlédnout jednotlivé zástupce různých skupin a povšimnout si determinačních a specifických znaků.

Experiment: Účinnost zemních pastí 2

Problematika: Do zemních pastí se chytají zástupci epigeonu, tj. půdních bezobratlých, kteří běhají po povrchu země a v opadu. Klasické zemní pasti využívají různé fixační roztoky, jako je formaldehyd, lihový roztok a další. Formaldehyd však i po naředění nepříjemně čpavě páchne – proč do něj ta zvířata padají? Může mít vliv, jak je velká hladina, ze které se formaldehyd odpařuje? Může velká hladina s velkým odparem odpuzovat více, než malá hladina?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zaznamenat, které skupiny epigeonu se chytají do zemních pastí v závislosti na velikosti (průměru) pasti.

Potřebné pomůcky: Zavařovací sklenice (0,7litrové), plastové kelímky na nápoje (0,3litrové), které lze „zavěsit“ do sklenice (tj. kelímek do sklenice nepropadne, ale přesně do něj zapadne tak, že horní okraj příliš nepřechnívá), jiné nádoby o menším průměru (např. skleničky od dětské přesnídávky, tuby od rozpustných tablet, polyethylenové lahvičky, krabičky od filmů atp.), 4% vodný roztok formaldehydu, lopatka, sítko (kuchyňské), skleničky na ulovení materiál, pinzety, misky (fotografické, ale postačí i podmisky pod květináč), epruvety pro uložení úlovku, binokulární lupa.

Postup: V příhodném biotopu instalujeme zemní pasti. Vhodným biotopem je les, starší zahrada, park, rumiště atp. Pomocí lopatky vyhloubíme jámu, do které se nám podaří vsadit sklenici. Snažíme se, aby sklenice svou hranou přesně kopírovala povrch země (nesmí vyčnívat nad povrch) a aby jáma byla co nejužší, tj. povrch země kolem pasti nebyl příliš narušený. Při instalaci pasti je vhodné mít sklenici zakrytou víčkem, aby do ní nepadala zemina. Do sklenice vsadíme kelímek a do kelímku nalijeme fixační roztok. Menší skleničky můžeme používat i bez vloženého kelímku, důležité však je dbát na co nejdokonalejší urovnání okolí pasti po každém výběru, kdy je nutno menší skleničky vytáhnout z půdy celé. Od každé testované velikosti pasti použijeme alespoň pět pastí. Vhodné je pasti instalovat v linii s rozestupem 10 m či ještě lépe ve čtvercové síti se sponem 15 m. Pasti různých velikostí prostřídáváme tak, aby byly

rovnoměrně zastoupeny po celé studované ploše. Každou past zakryjeme plochým kamenem či dřevem tak, aby se jí past nezavřela (lze např. kámen podložit třemi malými kamínky). Pasti chodíme vybírat v pravidelných (cca týdenních) intervalech, abychom zamezili přeplnění menších pastí uloveným materiálem. Úlovek z pasti převedeme do sběrné skleničky (přesnídávková, či plastové kelímky) pomocí sítka, fixační tekutinu vrátíme do pasti či vyměníme dle potřeby za novou. Při každé kontrole vybereme materiál ze všech pastí (tj. neponecháváme např. velké pasti bez výměny). Pokus necháme probíhat několik týdnů (cca měsíc). Ulovená zvířata přineseme do laboratoře, kde je můžeme roztřídit do jednotlivých taxonomických skupin, určovat, kreslit atp.

Lze si všimnout a vyhodnotit účinnost jednotlivých pastí s ohledem na jejich velikost. Například se zdá, dle dostupných nepublikovaných výsledků, že sekáči, které odpuzuje formaldehyd, se chytají mnohem lépe do menších pastí než do velkých. V pracovně si můžeme pod lupou prohlédnout jednotlivé zástupce různých skupin a povšimnout si determinačních a specifických znaků.

Experiment: Účinnost zemních pastí 3

Problematika: Do zemních pastí se chytají zástupci epigeonu, tj. půdních bezobratlých, kteří běhají po povrchu země a v opadu. Při vyhodnocování úlovků ze zemních pastí ekologové často spoléhají na to, že jednotlivé druhy se neliší v pravděpodobnosti zachycení do zemních pastí a že tyto tudíž poskytují reálný vzorek studovaného společenstva. Co ale, když se některé druhy umějí pasti vyhnout lépe než druhy jiné? Co když do pastí padají snáze například velké druhy? Dokáží některé druhy zaznamenat přítomnost pasti ještě předtím, než se jí vůbec dotknou?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je nafilmovat v laboratoři chování modelových druhů epigeonu v blízkosti pasti a vyhodnotit pravděpodobnost jejich odchyčení.

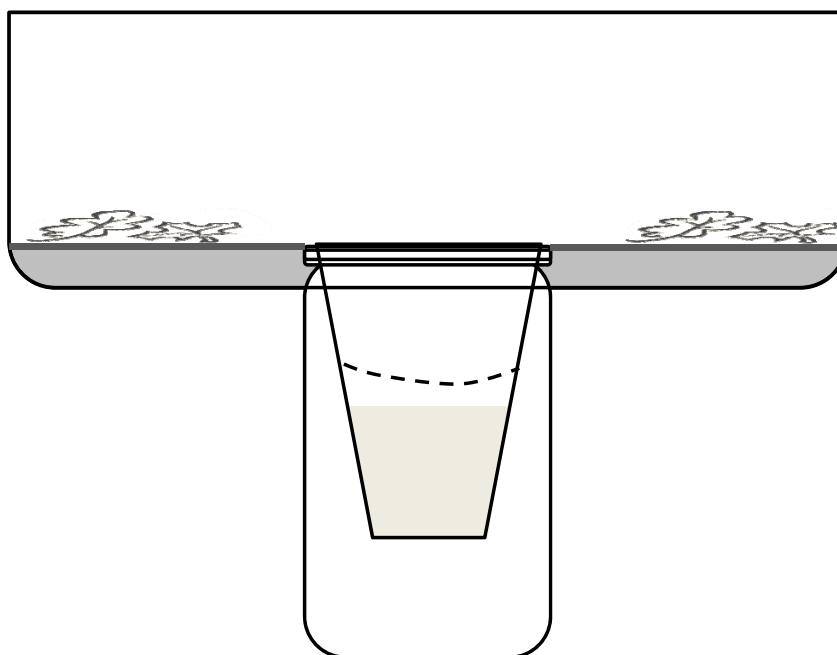
Potřebné pomůcky: Zavařovací sklenice (0,7litrové), plastové kelímky na nápoje (0,3litrové), které lze „zavěsit“ do sklenice (tj. kelímek do sklenice nepropadne, ale přesně do něj zapadne tak, že horní okraj příliš nepřechnívá), větší plastová nádoba (příklad krabice či malý kbelík od pochoutkových salátů), sádra, videokamera či fotoaparát s kamerou či webkamera připojená na počítač s možností nahrávání obrazu, pinzety, pletivo, 4% vodný roztok formaldehydu

Postup: Ve dně plastové nádoby či kyblíku vyřízneme kruhový otvor takové velikosti, aby se do něj dala vsadit zavařovací sklenice. Dno plastové nádoby vylijeme sádrou o přibližně centimetrové tloušťce tak, aby sádra perfektně lícovala s okrajem hrdla sklenice. Tím nám vznikla experimentální nádoba, ve které máme zemní past a její blízké okolí (obr. 7). Sádrou po zaschnutí můžeme vlhčit a simulovat tak přiměřenou vlhkost půdy. Povrch sádry můžeme pokrýt vrstvičkou zeminy, do rohů nádoby (či okraj kbelíku) instalujeme jednoduché úkryty (listí, kousky kůry). Kelímek naplníme z jedné třetiny formalínem a nad něj umístíme kousek pletiva tak, aby nepřechníval z kelímku ven, neumožňoval zvířatům z pasti vylézt a zároveň jim bránil spadnout přímo do formalínu. Kelímek umístíme do sklenice a tím máme připravené experimentální zařízení pro pozorování živočichů. Past uzavřeme víčkem a vpustíme do nádoby několik jedinců (dle velikosti 5–10) vybraného modelového druhu epigeonu (střevlík,

stonožka, sekáč, stínka, svinka, mnohonožka, plochule atp.), který dokážeme nasbírat v okolí.

Nad aparaturu umístíme snímací zařízení (kameru, webkameru) a světlo v místnosti upravíme tak, aby umožňovalo rozeznat pohybující se živočichy na záznamu. Během noci můžeme využívat lampičku s červenou žárovkou.

Ze záznamu můžeme vyhodnocovat chování živočichů v okolí pasti. Zjistíme, kolik zvířat do pasti spadlo, zda se některá po přiblížení k pasti zase vzdálila, zda se některá pasti dotkla či do pasti „nahlížela“ či do ní dokonce částečně „vlezla“ a pak zase odešla. Můžeme vidět, že druhy delší (mnohonožky, stonožky) tedy s tělem opatřeným větším počtem párů noh jsou schopny z pasti vylézt, i když do ní částečně vlezou. Naproti tomu střevlíci pohybující se rychle na dlouhých končetinách do pasti často padají.



Obrázek 7: Schéma experimentálního zařízení, které umožňuje v laboratoři pozorovat (a filmovat) chování epigeonu v okolí zemní pasti. Postup výroby je popsán v textu. (orig. Tuf)

Experiment: Možnosti značení střevlíků

Problematika: Do zemních pastí se chytají zástupci epigeonu, tj. půdních bezobratlých, kteří běhají po povrchu země a v opadu. Během večera či noci můžeme často narazit na zvířata, která aktivují mimo úkryty – ať už to jsou střevlíci, mnohonožky, sekáči či stejnonožci. Zajímá nás, zda se pohybují náhodně, nebo mají svůj obvyklý úkryt, ve kterém tráví většinu času a po určité pochůzce se do něj vracejí. Můžeme tyto jedince nějak označit, abychom je příště opět poznali? Neovlivní označování střevlíků jejich vitalitu?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda má použité značení střevlíků vliv na jejich mortalitu a zda je dostatečně trvanlivé

Potřebné pomůcky: Plastové krabice či terária pro chov střevlíků, klidná chladnější místnost pro jejich umístění či termostat, lak na nehty či včelařský fix (pro značení včelích královen – lze koupit na internetu či v prodejně včelařských potřeb), misky (fotomisky či podmisky pod květináč), potrava pro střevlíky.

Postup: V příhodném biotopu se pokusíme nachytat dostatečně velké množství střevlíků stejného druhu (např. rody *Harpalus*, *Pterostichus*, *Carabus*, *Abax*). Můžeme využít individuální sběr jedinců či použít zemní pasti s návnadou. V laboratoři si předtím připravíme chovné nádoby na střevlíky, tj. plastové krabice, kbelíky, či skleněné nádrže. Ty vysypeme zeminou, osadíme trávou a umístíme do nich několik přirozených úkrytů (kusy dřeva, kůry, kameny). Do pokusu vybíráme větší druhy střevlíků, krmíme je předloženým masem či žížalami. Ulovené střevlíky v laboratoři rozdělíme do dvou skupin – jednu skupinu označíme na krovkách pomocí laku na nehty či včelařského fixu. Snažíme se udělat co nejmenší značku a co nejbližší konci krovek. Po zaschnutí označené střevlíky vypustíme do chovné nádrže. Množství jedinců v jedné nádrži závisí na velikosti použitého druhu, velikosti nádrže a počtu úkrytů – snažíme se, aby jejich počet byl přiměřeně nízký (např. na nádrž 20 × 20 cm přibližně pět větších střevlíků). Druhou část střevlíků ponecháme bez značek a vypustíme je do obdobných nádob s adekvátním vybavením a podobnou abundancí. Obě skupiny umístíme do stejných podmínek, pravidelně nádrže rosíme a střevlík přikrmujeme.

Stav střevlíků v nádrži kontrolujeme pravidelně po několika dnech. Zaznamenáváme si počet nalezených živých jedinců a počet nalezených mrtvých jedinců (nesrovnalosti mezi jejich součtem a původním počtem střevlíků v nádrži může souviset s predací, únikem či naší nepozorností). U značených jedinců si zaznamenáváme přítomnost a eventuelně stav značky. Některé značky se mohou částečně či úplně setřít.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, zda značení jedinci mají vyšší mortalitu než střevlíci z kontrolní skupiny a také jak dlouho je značka na krovkách pozorovatelná. Pokus můžeme provést v případě možností i na různých substrátech, abychom posoudili vliv textury půdy na trvanlivost značení (např. písčité a hlinité půdy).

Experiment: Značení a opětovný odchyt střevlíků

Problematika: Do zemních pastí se chytají zástupci epigeonu, tj. půdních bezobratlých, kteří běhají po povrchu země a v opadu. Během večera či noci můžeme často narazit na zvířata, která aktivují mimo úkryty – ať už to jsou střevlíci, mnohonožky, sekáči či stejnonožci. Zajímá nás, zda se pohybují náhodně, nebo mají svůj obvyklý úkryt, ve kterém tráví většinu času a vracejí se do něj. Máme na zahradě pořád stejné brouky?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda se označení jedinci ulovení do pasti do ní chytí i příště.

Potřebné pomůcky: Zavařovací sklenice (0,7litrové), plastové kelímky na nápoje (0,3litrové), které lze „zavěsit“ do sklenice (tj. kelímek do sklenice nepropadne, ale přesně do něj zapadne tak, že horní okraj příliš nepřechnívá), návnada do pasti (např. kousek uzeniny či sardinky, zralý sýr, přezrálé ovoce atd.), lopatka, pinzety, lak na nehty (barevný) či fixy pro značkování včel (lze koupit na internetu či v prodejnách včelařských potřeb)

Postup: V příhodném městském biotopu v dostupné vzdálenosti od „základny“ instalujeme zemní pasti. Vhodným biotopem je starší zahrada, park atp. Pomocí lopatky vyhloubíme jámu, do které se nám podaří vsadit sklenici. Snažíme se, aby sklenice svou hranou přesně kopírovala povrch země (nesmí vyčnívat nad povrch) a aby jáma byla co nejužší, tj. povrch země kolem pasti nebyl příliš narušený. Při instalaci pasti je vhodné mít sklenici zakrytou víčkem, aby do ní nepadala zemina. Do sklenice vsadíme kelímek a do kelímku umístíme návnadu. Past zakryjeme plochým kamenem či dřevem tak, aby se jí past nezavřela (lze např. kámen podložit třemi malými kamínky). Takových pastí umístíme několik (cca 5–10) v různých příhodných koutech zahrady či parku. Pasti chodíme kontrolovat několikrát denně, abychom omezili na minimum predaci uvnitř pastí. Ulovená zvířata opatrně vyjmeme a označíme pomocí co nejmenších značek laku na nehty či včelařských fixů. Značujeme na zadní část krovek a můžeme se pokusit vytvářet unikátní kód pro každého jednotlivce (dle počtu odchycených zvířat) pomocí různých barev, různého počtu značek

a různého umístění značek na krovkách (pravá, levá, na konci či blíže středu atp.). Pro značení vybíráme jen druhy přiměřené velikosti. Označeného jedince ponecháme v čisté nádobě (třeba čistý kelímek) dokud lak nezaschne a vypustíme ho v blízkosti zemní pasti, kde jsme jej našli. Zaznamenáváme si do protokolu údaje o označených a znovu vypuštěných jedincích. Při opakovaných kontrolách si zaznamenáváme počty odchycených jedinců v každé pasti s poznámkami, zda byli neoznačení, či měli již nějaké značky. Pokus provádíme dle možností (optimálně alespoň měsíc), trvanlivost značek lze předpokládat řádově v týdnech.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, zda se značení jedinci, kteří se znovu odchytávají, chytají do stejné pasti, či zda přebíhají k jiným pastem (a do jaké vzdálenosti). Zajímavé také může být, pokud použijeme v pastech různou návnadu, zda někteří jedinci preferují stejný typ návnady. Vhodné samozřejmě je vědět, s jakým druhem střevlíka pracujeme (abychom nepoužívali směs různých druhů bez jejich rozlišení).

Experiment: Možnosti značení plžů

Problematika: Plži se obvykle pohybují „šnečí“ rychlostí. Do zemních pastí většinou nepadají, zato se (větší druhy) dají dobře hledat tzv. individuálním sběrem. Zajímá nás, zda se pohybují náhodně, nebo mají svůj obvyklý úkryt, ve kterém tráví většinu času a vracejí se do něj. Můžeme tyto jedince nějak označit (samozřejmě spíše ty ulitnaté), abychom je příště opět poznali? A ovlivní značení jejich přežívání?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda má použité značení plžů vliv na jejich mortalitu a zda je dostatečně trvanlivé

Potřebné pomůcky: Plastové krabice či terária pro chov plžů, klidná chladnější místnost či termostat pro jejich umístění, lak na nehty či včelařský fix

Postup: V příhodném biotopu se pokusíme nachytat dostatečně velké množství ulitnatých plžů stejného druhu, obzvláště vhodné jsou hlemýždi zahradní nebo páskovky hajní. V laboratoři si předtím připravíme chovné nádoby, tj. plastové krabice, kbelíky, či skleněné nádrže vždy opatřené víkem. Nádoby zabezpečíme větracími otvory (vyvrtané díry či vsazené pletivo, můžeme také nechat škvíru pod víkem). Nádoby vysypeme zeminou, osadíme trávou a umístíme do nich několik přirozených úkrytů (kusy dřeva, kůry, kameny). Plže krmíme předloženým salátem, okurkami apod. Ulovené plže po příchodu do laboratoře rozdělíme do dvou skupin – jednu skupinu označíme na ulitě pomocí laku na nehty. Po zaschnutí značky je vypustíme do chovné nádrže. Množství jedinců v jedné nádrži závisí na velikosti použitého druhu, velikosti nádrže a počtu úkrytů (například v pětilitrovém kbelíku by nemělo být více než 20–30 hlemýžďů). Druhou část plžů ponecháme bez značek a vypustíme je do obdobných nádob s adekvátním vybavením a podobnou abundancí. Obě skupiny umístíme do stejných podmínek, pravidelně obsah nádob rosíme a plže krmíme.

Stav plžů v nádrži kontrolujeme pravidelně po dvou třech dnech. Zaznamenáváme si počet nalezených živých jedinců a počet nalezených mrtvých jedinců (nesrovnalosti mezi jejich součtem a původním počtem v nádrži

může souviset s únikem či naší nepozorností). U značených jedinců si zaznamenáváme přítomnost a eventuálně stav značky. Některé značky se mohou částečně či úplně setřít. Doba experimentu záleží na naší trpělivosti, měsíc by měl být dostatečný.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, zda značení jedinci mají vyšší mortalitu než plži z kontrolní skupiny a také jak dlouho je značka na ulitě pozorovatelná. Pokus můžeme provést dle možností i na různých substrátech, abychom posoudili vliv textury půdy na trvanlivost značení (např. písčité vs. hlinité půdy).*

* Pokud nemá značení na mortalitu (ani aktivitu?) plžů vliv, můžeme se směle pustit do malování šneků a jejich vypouštění do „volné přírody“. Ovšem za předpokladu, že nám nevadí, že kromě nás šneky lépe najde i jejich přirozený predátor...

Experiment: Možnosti značení suchozemských stejnonožců

Problematika: Do zemních pastí se chytají zástupci epigeonu, tj. půdních bezobratlých, kteří běhají po povrchu země a v opadu. Během večera či noci můžeme často narazit na zvířata, která aktivují mimo úkryty – ať už to jsou střevlíci, mnohonožky, sekáči či stejnonožci. Stejnonožci navíc často lezou na zdi či na kmeny stromů. Zajímá nás, zda se pohybují náhodně, nebo mají svůj obvyklý úkryt, ve kterém tráví většinu času a vracejí se do něj. Můžeme tyto jedince nějak označit, abychom je příště opět poznali? Neovlivní značení vitalitu sledovaných jedinců?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda má použité značení suchozemských stejnonožců vliv na jejich mortalitu a zda je dostatečně trvanlivé.

Potřebné pomůcky: Nádrže pro chov suchozemských stejnonožců (postačují cca litrové plastové krabice), klidná chladnější místnost pro jejich umístění či termostat s regulovatelným teplotním režimem, lak na nehty či včelařský fix, misky (fotomisky či podmisky pod květináč), vařené brambory.

Postup: V příhodném biotopu se pokusíme nachytat dostatečně velké množství suchozemských stejnonožců stejného druhu (ideální je břidlicově šedá stínka obecná *Porcellio scaber*). V laboratoři si předtím připravíme chovné nádoby na stínky, tj. plastové krabice, kbelíky, či skleněné nádrže. Ty vysypeme zeminou, osadíme trávou a umístíme do nich několik přirozených úkrytů (kusy dřeva, kůry, kameny). Do pokusu vybíráme větší jedince, krmíme je kousky vařených brambor. Ulovené stínky po příchodu do laboratoře rozdělíme do dvou skupin – jednu skupinu označíme na největším hřbetním štítku (první za hlavou) pomocí laku na nehty či včelařského fixu. Snažíme se udělat co nejmenší ale dobře patrnou značku. Po zaschnutí značky stínky vypustíme do chovné nádrže. Množství jedinců v jedné nádrži závisí na velikosti použitého druhu, velikosti nádrže a počtu úkrytů – jedná se však o přirozeně agregující druh, takže si můžeme dovolit i abundance několik desítek jedinců na krabici 15 × 15 cm. Druhou část stínek ponecháme bez značek a vypustíme je do obdobných

nádob s adekvátním vybavením a podobnou abundancí. Obě skupiny umístíme do stejných podmínek, pravidelně obsah nádob rosíme a stínky krmíme.

Stav stínek v nádrži kontrolujeme pravidelně po několika dnech, experiment vedeme přibližně měsíc. Zaznamenáváme si počet nalezených živých jedinců a počet nalezených mrtvých jedinců (nesrovnalosti mezi jejich součtem a původním počtem v nádrži může souviset s konzumací mrtvých jedinců, únikem či naší nepozorností). U značených jedinců si zaznamenáváme přítomnost a eventuelně stav značky. Některé značky se mohou částečně či úplně setřít.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, zda značení jedinci mají vyšší mortalitu než stínky z kontrolní skupiny a také jak dlouho je značka na jedinci pozorovatelná. Pokus můžeme provést v případě možnosti i na různých substrátech, abychom posoudili vliv textury půdy na trvanlivost značení (např. písčité a hlinité půdy).

Experiment: Možnosti značení svinulí

Problematika: Do zemních pastí se chytají zástupci epigeonu, tj. půdních bezobratlých, kteří běhají po povrchu země a v opadu. Během večera či noci můžeme často narazit na zvířata, která aktivují mimo úkryty – ať už to jsou střevlíci, mnohonožky, sekáči či stejnonožci. Zajímá nás, zda se pohybují náhodně, nebo mají svůj obvyklý úkryt, ve kterém tráví většinu času a vracejí se do něj. Můžeme tyto jedince nějak označit, abychom je příště opět poznali? Neovlivní značení vitalitu sledovaných jedinců?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda má použité značení svinulí vliv na jejich mortalitu a zda je dostatečně trvanlivé. Porovnáme trvanlivost značky na předním a zadním konci těla.

Potřebné pomůcky: Plastové krabice či terária pro chov svinulí, klidná chladnější místnost pro jejich umístění či termostat, lak na nehty či včelařský fix (pro značení včel – lze koupit na internetu či v prodejně včelařských potřeb), misky (fotomisky či podmisky pod květináč), potrava pro mnohonožky (listový opad, brambory)

Postup: V příhodném biotopu (většinou v listnatých lesích s dostatkem trouchnivějícího dřeva na povrchu půdy apod.) se pokusíme nachytat individuálním sběrem dostatečně velké množství svinulí stejného druhu (z rodu *Glomeris* u nás žije pět druhů). V laboratoři si předtím připravíme chovné nádoby, tj. plastové krabice, kbelíky, či skleněné nádrže. Ty vysypeme zeminou, osadíme trávou a umístíme do nich několik přirozených úkrytů (kusy dřeva, kůry, kameny). Ulovené svinule po příchodu do laboratoře rozdělíme do dvou až čtyř skupin – jednu skupinu označíme na největším hřbetním štítku pomocí laku na nehty či včelařského fixu. Druhá skupina bude ponechána bez značek jako kontrola. Máme-li dost zvířat, můžeme třetí skupinu označit na posledním hřbetním štítku (tzv. anální štít)*. Případná čtvrtá skupina může mít

* má-li naše zvíře, jež se umí stočit do perfektní kuličky, pouze 7 párů končetin a zadeček z pěti drobných článků, nejedná se o mnohonožku svinuli (*Glomeris*), ale o stejnonožce svinku (*Armadillidium*)

značky i na předním i na zadním konci těla. Snažíme se udělat co nejmenší značku. Po zaschnutí značky svinule vypustíme do chovné nádrže. Množství jedinců v jedné nádrži závisí na velikosti použitého druhu, velikosti nádrže a počtu úkrytů (cca 30 jedinců na krabici 15 × 15 cm). Do pokusu vybíráme větší jedince, krmíme je kousky brambor a opadem. Všechny skupiny umístíme do stejných podmínek, pravidelně obsah nádob rosíme.

Stav svinulí v nádrži kontrolujeme pravidelně po několika (2–3) dnech, experiment vedeme dle možností alespoň měsíc. Zaznamenáváme si počet nalezených živých jedinců a počet nalezených uhynulých jedinců (nesrovnalosti mezi jejich součtem a původním počtem v nádrži může souviset s únikem či naší nepozorností). U značených jedinců si zaznamenáváme přítomnost a eventuálně stav značky. Některé značky se mohou částečně či úplně setřít.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, zda značení jedinci mají vyšší mortalitu než svinule z kontrolní skupiny a také jak dlouho je značka na jedinci pozorovatelná. Pokus můžeme provést v případě možností i na různých substrátech, abychom posoudili vliv textury půdy na trvanlivost značení (např. písčité a hlinité půdy). Určitě je vhodné vyhodnotit úroveň mortality u všech čtyř různě značených skupin – značka na konci těla může mít menší vliv, než značka blízko hlavového ganglia. Podobně také trvanlivost značky na předním konci těla může být nižší, než značky na zadním konci. Setření značky bude souviset s oděrem během hrabání v půdě.

Experiment: Vliv značení svinulí na jejich chování

Problematika: Pro značení bezobratlých se používá lak na nehty či včelařský fix. Značky se běžně umísťují na „neživé“ (= nevyživované) struktury těla, jako jsou krovky (brouků), křídla (vážek a sarančí) či chloupky (včel). Svinule však žádné takové struktury nemají a nabízí se tedy otázka, zda jim nemůže kontakt značící látky s kutikulou nějak výrazněji škodit. Nebudou značené svinule více apatické?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda má použité značení svinulí vliv na jejich chování (případně mortalitu). Porovnávat budeme frekvenci jednotlivých typů chování u značených a neznačených svinulí.

Potřebné pomůcky: Plastové krabičky se dnem vylitým tenkou vrstvou sádry, klidná chladnější místnost pro jejich umístění či termostat, lak na nehty či včelařský fix (pro značení včel – lze koupit na internetu či v prodejně včelařských potřeb), baterka s červeným světlem, potrava pro svinule (kousky brambor).

Postup: V příhodném biotopu (většinou v listnatých lesích s dostatkem trouchnivějícího dřeva na povrchu půdy apod.) se pokusíme nacytat dostatečně velké množství svinulí stejného druhu (z rodu *Glomeris* u nás žije pět druhů). V laboratoři si předtím připravíme pozorovací krabičky. Vhodné jsou plastové krabičky na salát, lékárnické kelímky, či Petriho misky. Dno krabiček vylijeme přibližně půlcentimetrovou vrstvičku sádry (ta po navlhčení udržuje příhodnou vlhkost). Do třetiny krabičky umístíme jemnou zeminu (ve které mohou svinule hrabat), do druhé třetiny umístíme 3 jednoduché úkryty z červeného průhledného plastu a ve třetí třetině bude umístěn kousek bramboru. Ulovené svinule po příchodu do laboratoře rozdělíme do tří skupin – jednu skupinu označíme na největším hřbetním štítu (splynulý druhý a třetí hřbetní štítek) pomocí laku na nehty či včelařského fixu. Druhá skupina bude označena na análním štítu a třetí skupina bude ponechána bez značek jako kontrola. Snažíme se udělat co nejmenší značku. Po zaschnutí značky svinule vypustíme do krabiček (5 jedinců na krabičku).

Všechny krabičky umístíme do stejných podmínek, pravidelně (jednou denně) je rosíme. Po jednodenní až dvoudenní aklimatizaci začneme s pozorováním chování. Zaznamenáváme kategorie chování: chůze, explorace (stojí a hýbe tykadly), příjem potravy, kontakt, ukryvání, hrabání, nehybnost. Každou hodinu zkontrolujeme všechny krabičky a zaznamenáme chování všech jedinců (zápis stačí např. ve formě „krabička 14 = 2× ukryvání + 3× potrava“). Po 24 hodinách pozorování přeručíme a pokračujeme v něm za dva dny. Opakujeme dle možností (alespoň třikrát, tj. start – 48 h aklimatizace – 24 h pozorování – 48 h odpočinek – 24 h pozorování – 48 h odpočinek – 24 h pozorování...).

Z protokolů můžeme vyhodnotit úmrtnost zvířat v jednotlivých skupinách a frekvenci jednotlivých kategorií chování. Je pravděpodobné, že značené mnohonožky budou apatičtější než neznačené a ty značené blízko hlavy budou letargické výrazněji.

Experiment: Thanatóza jako obranná reakce střevlíků

Problematika: Všichni (malí) živočichové mají své predátory. Uniknout jejich pozornosti lze skrýváním, pokud už je však kořist spatřena a predátor se pokusí o její ulovení, zbývá jen malá naděje na záchranu. Tou je možnost, že kořist predátorovi vyklouzne ze „spárů“ (kusadel, zobáku, zubů) a on ji pak už nenajde. Aby poté kořist unikla svému predátorovi z dohledu, je vhodné „hrát mrtvého brouka“, tj. předstírat smrt (thanatóza) a spoléhat se, že ji v opadu přehlédne. Využívají střevlíci tuto strategii? A jaký podnět u nich thanatózu vyvolá? A jak dlouho thanatóza trvá?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, jaké stimuly vyvolávají thanatózu u střevlíků a jak dlouho thanatóza trvá.

Potřebné pomůcky: Plastové krabičky se dnem vylitým tenkou vrstvou sádry, pinzeta, stopky.

Postup: V příhodném biotopu se pokusíme nachytat dostatečně velké množství střevlíků stejného druhu. Můžeme využít individuální sběr jedinců či použít zemní pasti s návnadou. V laboratoři si předtím připravíme pozorovací krabičky. Vhodné jsou plastové krabičky na salát, lékárnické kelímky, či Petriho misky. Na dně krabičky máme cca půlcentimetrovou vrstvičku sádry, která po navlhčení udržuje příhodnou vlhkost. Ulovené střevlíky po příchodu do laboratoře umístíme jednotlivě do krabiček a rozmístíme je po stole tak, abychom ke každé krabičce měli přístup bez nutnosti ji přemísťovat (a tím střevlíka uvnitř vyrušovat).

Střevlíky budeme vystavovat několika typům stimulů, které by mohly pro ně znamenat nebezpečí. Příklady stimulů jsou např. jemné dotknutí se krovek měkkým štětcem, jemné dotknutí se tykadla měkkým štětcem, jemné dotknutí se končetiny měkkým štětcem, výrazné šťouchnutí do boku střevlíka hrotem tužky, uchopení střevlíka za tělo pevnou pinzetou, zdvihnutí a upuštění střevlíka z výšky několika centimetrů zpátky do misky apod. Pokoušíme se vymyslet stimuly, které by odpovídaly chování predátorů (hmyzožravci a hlodavci, ptáci, větší druhy střevlíků) hledajících či lovících kořist.

Každého jedince vystavujeme jednomu stimulu a zaznamenáváme, zda vyvolal thanatózu, pokud nezareaguje na první podnět, zkusíme jej ještě zopakovat. Je-li třeba stimul opakovat, počkáme několik sekund. Počet stimulů potřebných k vyvolání thanatózy zaznamenáváme. Pokud dojde k thanatóze (strnulý stav), stopujeme, jak dlouho trvá (tj. do prvních známek pohybu).

Každý jedinec by měl mezi různými stimuly mít dost času „na uklidnění“. Pro odfiltrování efektu pořadí stimulů můžeme různým jedincům provádět různé stimuly v různém pořadí.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, které stimuly byly významnější (nižší počet stimulů k vyvolání thanatózy) a jak dlouho thanatóza trvala v závislosti na zvoleném stimulu.

Experiment: Thanatóza jako obranná reakce mnohonožek a stejnonožců

Problematika: Všichni (malí) živočichové mají své predátory. Uniknout jejich pozornosti lze skrýváním, pokud už je však kořist spatřena a predátor se pokusí o její ulovení, zbývá jen malá naděje na záchranu. Tou je možnost, že kořist predátorovi vyklouzne ze „spárů“ (kusadel, zobáku, zubů) a on ji pak už nenajde. Aby poté kořist unikla svému predátorovi z dohledu, je vhodné „hrát mrtvého brouka“ a spoléhat se, že ji v opadu přehlédne. Využívají stejnonožci a mnohonožky tuto strategii? Mnohonožky mají ještě jeden triumf – chemickou obranu. Využívají proto thanatózu (tj. předstírání smrti) méně než stejnonožci? A jaký podnět u nich thanatózu vyvolá? A jak dlouho thanatóza trvá?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, jaké stimuly vyvolávají thanatózu u stejnonožců a mnohonožek a jak dlouho thanatóza trvá.

Potřebné pomůcky: Plastové krabičky se dnem vylitým tenkou vrstvou sádry, entomologická pinzeta, stopky.

Postup: V příhodném biotopu se pokusíme nachytat dostatečně velké množství svinek, svinulí a mnohonožek (řád Julida, mnohonožky klasického válcovitého tvaru těla, které se při vyrušení stáčíjí do spirály). V laboratoři si předtím připravíme pozorovací krabičky. Vhodné jsou plastové krabičky na salát, lékárnické kelímky, či Petriho misky. Na dně krabičky máme cca půlcentimetrovou vrstvičku sádry, která po navlhčení udržuje příhodnou vlhkost. Ulovené mnohonožky a stejnonožce po příchodu do laboratoře umístíme jednotlivě do krabiček a rozmístíme je po stole tak, abychom ke každé krabičce měli přístup bez nutnosti ji přemisťovat (a tím je uvnitř vyrušovat).

Objekty budeme vystavovat několika typům stimulů, které by mohly pro ně znamenat nebezpečí. Příklady stimulů jsou: jemné dotknutí se tykadla měkkým štětcem, výrazné šťouchnutí do boku hrotem tužky, uchopení za tělo entomologickou pinzetou, zdvihnutí a upuštění z výšky několika centimetrů zpátky do misky apod. Pokoušíme se vymyslet stimuly, které by odpovídaly

chování predátorů (hmyzožravci a hlodavci, ptáci, větší druhy střevlíků, pavouci šestiočky – potravní specialisti na stejnonožce) hledajících či lovících kořist. Typická reakce svinek a svinulí je volvace, tj. stočení do kuličky. Mnohonožky se stočí do spirály.

Každého jedince vystavujeme jednomu stimulu a zaznamenáváme, zda vyvolal thanatózu a pokud ano, kolik pokusů jsme potřebovali (1 až 3 pokusy). Pokud je třeba stimul opakovat, počkáme několik sekund. Pokud dojde k thanatóze, stopujeme, jak dlouho trvá (tj. do prvních známek pohybu).

Každý jedinec by měl mezi různými stimuly mít dost času „na uklidnění“. Pro odfiltrování efektu pořadí stimulů můžeme různým jedincům provádět různé stimuly v různém pořadí (pak je vhodné mít jedince resp. krabičky očíslované).

Z protokolů můžeme vyhodnotit, které stimuly byly významnější (stačilo je třeba jen jednou aplikovat, aby vyvolaly thanatózu) a jak dlouho thanatóza trvala. Srovnáme reakci svinek a svinulí, které využívají stejnou obrannou pozici (volvaci). Srovnáme ji s „klasickými“ mnohonožkami řádu Julida, které mají nejsilnější chemickou obranu.

Experiment: AgregáčnÍ chování stÍnek v přítomnosti predátorů

Problematika: Stínka obecná (*Porcellio scaber*) a stínka zední (*Oniscus asellus*) se často vyskytují ve větších skupinách. Jedná se o výsledek tzv. agregáčnÍho chování neboli shlukování. Stínky v agregaci jsou odolnější proti vysychání. Agregace většinou vznikají v úkrytu. Zvířata v agregaci by měla být také více chráněna před predací, protože velkých agregací je málo (a proto je obtížné je najít) a při objevení velkého shluku predátorem má každý jedinec kořisti poměrně vysokou šanci, že v nastalém zmatku predátorovi unikne. Budou stejnonožci za přítomnosti predátorů více agregovat?

Cíl: Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda velikost agregace v laboratorních podmínkách souvisí s přítomností predátorů.

Potřebné pomůcky: Větší nádoby se zeminou a několika úkryty (např. kameny či střepy keramického květináče), entomologická pinzeta, digitální fotoaparát.

Postup: V příhodném biotopu se pokusíme nachytat dostatečně velké množství stínek jednoho druhu. Zároveň se pokusíme obstarat několik velkých střevlíků, kteří jsou schopni tyto stínky ulovit. Alternativou mohou být velké stonožky škvorové (*Lithobius forficatus*). V laboratoři si ověříme, že námi vybraný predátor je skutečně schopen napadnout a zkonzumovat stínku. Chovné nádrže připravíme alespoň dvě, pokud možno identické. Obě nádrže vybavíme stejným počtem obdobných úkrytů (mohou to být malé kachličky, ale i kusy prkének či keramické střepy). Vhodná velikost je cca 10 × 10 cm, počet úkrytů by se měl pohybovat dle velikosti nádrže mezi 5 až 10. Do obou nádrží vypustíme stejné množství stínek (cca 10–15 stínek na jeden úkryt) a necháme je několik dní zabydlet. Jako potravu jim předkládáme listový opad či kousky brambor.

Po několika dnech zkontrolujeme, kolik stínek je v každém úkrytu. Poté do jedné nádrže vypustíme predátory. Na druhý den zkontrolujeme, zda se počet agregací a jejich velikost změnila. Samozřejmě, že v nádrži s predátory bude asi méně stínek kvůli predaci, přesto ale mohou být více agregované.

Pozorování opakujeme pravidelně (i několikrát denně) po dobu několika dní až týdnů. Dbáme, aby půda v nádržích příliš nevyschla.

Do protokolů zaznamenáváme počet jedinců v jednotlivých úkrytech. Kontroly provádíme co nejrychleji, abychom stínky příliš nerušili. Pokud máme problém stejnonožce spočítat dříve, než se rozutečou, můžeme použít fotoaparát a vyfotit je ihned po odkrytí úkrytu – počty poté zjistíme z fotografie.

Z protokolů můžeme vyhodnotit, zda se průměrná velikost agregace v obou nádržích v průběhu experimentu měnila. Zajímá nás především, zda přítomnost predátorů měla na velikost agregace nějaký vliv. Zaznamenávat si také budeme počty predátorů v jednotlivých úkrytech a případně jejich ulovenou kořist.

Použitá a doporučená literatura

- Bhandari, S.C., Somani, L.L. (Eds.) (1994): *Ecology and Biology of Soil Organisms*. Agrotech Publishing Academy, Udaipur.
- Blackawton, P.S., Airzee, S., Allen, A., Baker, S., Berrow, A., Blair, C., Churchill, M., Coles, J., F-J Cumming, R., Fraquelli, L. Hackford, C., Hinton Mellor, A., Hutchcroft, M., Ireland, B., Jewsbury, D., Littlejohns, A., Littlejohns, G.M., Lotto, M., McKeown, J., O'Toole, A., Richards, H., Robbins-Davey, L., Roblyn, S., Rodwell-Lyn, H., Schenck, D., Springer, J., Wishy, A., Rodwell-Lynn, T., Strudwick, D., Lotto, R.B. (2011): Blackawton bees. *Biology Letters*, 7: 168–172.
- Brown, A.L. (1978): *Ecology of Soil Organisms*. Heinemann Educational Books, London.
- Coleman, D.C., Crossley, D.A., Jr., Hendrix, P.F. (2004): *Fundamentals of Soil Ecology*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Dawkins, M.S. (2007): *Observing Animal Behaviour: Design And Analysis Of Quantitative Data*. Oxford University Press, Oxford.
- Hauptman I., Kukul Z., Pošmourný K. (eds.) (2009): *Půda v České republice*. Consult, Praha.
- Kohnke, H., Franzmeier, D.P. (1995): *Soil Science Simplified*. Waveland Press, Inc., Prospect Heights, Illinois, USA.
- Lavelle, P., Spain, A.V. (2001): *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Miko, L. (1993): *Úvod do půdní biologie. Biologická olympiáda 1993–1994, Přípravný text pro kategorie A, B*. Institut dětí a mládeže, MŠMT ČR, Praha.

- Savory, T. (1971): *Biology of the Cryptozoa*. Merrow Publishing Co. Ltd., Watford, Herts, England.
- Stašiov, S. (2006): *Ekológia pôdnych organizmov (metódy výskumu mezo- až megaedafónu)*. Fakulta ekológie a environmentalistiky Technickej univerzity vo Zvolene, Zvolen.
- Šantrůčková, H. (2001): *Ekologie půdy*. Biologická fakulta Jihočeské univerzity a Ústav půdní biologie AVČR, České Budějovice.
- Tajovský, K., Pižl, V. (1998): Extrakce v modifikovaném Kempsonově aparátu — efektivní metoda pro kvantitativní studium půdní makrofauny. In: Šimek, M., Šantrůčková, H., Krištůfek, V. (eds.): *Odběr, skladování a zpracování půdních vzorků pro biologické a chemické analýzy*. Ústav půdní biologie AVČR, České Budějovice: 91-97.
- Vopravil, J. a kol. (2009): *Půda a její hodnocení v ČR, Díl. 1*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha.
- Wallwork, J.A. (1970): *Ecology of Soil Animals*. McGraw-Hill, London.
- Winkler, J.R. (1974): *Sbíráme hmyz a zakládáme entomologickou sbírku*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

RNDr. Mgr. Ivan Hadrián Tuf, Ph.D.

Praktika z půdní zoologie

Určeno pro výuku v magisterském oboru OTŽP

Výkonný redaktor prof. RNDr. Tomáš Opatrný, Dr.
Odpovědná redaktorka Mgr. Jana Kreiselová
Technická redakce autoři
Návrh obálky Jiří Jurečka

Tato publikace neprošla redakční jazykovou úpravou.

Vydala a vytiskla Univerzita Palackého v Olomouci
Křížkovského 8, 771 47 Olomouc
www.vydavatelstvi.upol.cz
www.e-shop.upol.cz
vup@upol.cz

1. vydání

Olomouc 2013

Edice – Skripta

ISBN 978-80-244-3479-7

Neprodejná publikace

Součástí publikace je CD

VUP 2013/074