

účinky odumřelého organického materiálu různé kvality (např. části sklizených plodin, organická hnojiva, listy apod.) na postup uvolňování živin z organické hmoty do půdy. Lehké frakce reprezentují labilnější vazbu živin s rychlou mineralizací za příznivých podmínek, zatímco těžší frakce živiny uvolňují velmi malou rychlostí. Tak odlišné časové reakce mají důležitý dopad pro management. Zde vznikla jedna z hypotéz testovaných v rámci programu výzkumu v tropické půdní biologii (úživnost půd): konkrétně – vzrůst

podílu opadu nízké kvality (např. nedostatkem dusíku a fosforu, s vysokým obsahem ligninu) na počátku deště prodlužuje období dostupnosti živin pro rostliny (Swift 1985).

#### Přepínání škál

Kromě vědy členěné při studiu přírody podle oborů můžeme upřednostnit jiné kritérium: zjevné vrstvení přírodních systémů. Různé fenomény jsou viditelné na různých úrovních – od subatomické přes molekulární, tkáňovou (či pletivovou), organismální až po hladiny společenstva

a výše. Každá prostorově-organizační hladina má své vlastní škály časové. Badatelé mají speciální technický jazyk a řadu koncepcí pro každou hladinu. Lang (1987) tvrdí, že vědci se od časů Galilea potýkají hlavně s otázkami typu „jak“, nikoli „proč“, a to způsobuje tendenci směřovat vědecké úsilí k vysvětlování na nižších úrovních (v biologii např. molekulární). Avšak je také potřeba ptát se „proč“, abychom odhadli stupeň důležitosti v chaosu narůstajícího poznání. Tím jsou stimulovány objevy na sousedních úrovních, vyšší i nižší.

## Ekosystémy střední Evropy III.

### Jehličnaté lesy

Ekosystémy, jejichž hlavním skladbním prvkem jsou jehličnany, nikdy v dlouhodobé historii naší části kontinentu výrazně nepřevládaly tak, jako je tomu např. v severoamerické nebo severoasijské zóně boreálního jehličnatého lesa (tajgy). Jsou tu však polohy, v nichž výšková klimatická stupňovitost vyrovnává nepříznivé podmínky makroklimatu a umožňuje jehličnanům ovládnout prostor (zhruba nad 950 m n.m.). Někdy se tento výškový stupeň označuje jako oreální a nacházejí se v něm přirozené smrčiny nebo porosty limby. Zčásti k němu přistupuje i stupeň al-

pínský, pokud sem zahrneme křovitou vegetaci kosodřeviny (kleče). Existují však i místa v nižších polohách, kde najdeme přirozený výskyt smrku, případně s jedlí, a to tam, kde dochází ke zvratu vegetačních stupňů (inverzi) – členitý reliéf terénních zářezů zmíněné dřeviny mikroklimaticky zvýhodňuje. Jiným typem ekosystému s jehličnanem jsou bory na skalách nebo na písčinách v nánosových oblastech velkých řek. Pro naše současníky jsou však nejběžnější kulturní lesy smrkových či borových výsadeb, tedy ekosystémy zčásti umělé.

Smrk ztepilý, nejznámější domi-

nanta našich jehličnatých lesů, je „doma“ v severní polovině euroasijského kontinentu, avšak tvoří velké izolované arely v hercynské, sudetské a karpatské oblasti. Rozlišují se geografické populace, někdy hodnocené jako plemena. Navíc, i na našem území, nalezneme vyhraněné ekotypy smrku – např. šumavský nebo jesenický, s typickou růstovou formou. Klimaxové smrčiny (řád *Piceetalia excelsae* ze třídy *Vaccinio-Piceetea*) u nás jsou vázány na horské oblasti s úhrnem srážek 1 000 - 1 400 mm za rok, s průměrnou roční teplotou 3 - 5 °C, přičemž zimní teploty klesají hluboko pod bod mrazu a letní nepřesahují 20 °C. Ekologicky významné je, že podstatná část srážek zde padá ve formě sněhu, který kryje půdní povrch po značnou část roku. Z dalších faktorů je významný vítr a mlha (námraza), jako zdroj mechanického ovlivňování (stromy tvoří větrné, vlajkové, aj. formy). „Listy“ smrku – jehlice dobře „vyčesávají“ horizontální srážky (mlhu), což působí jako příznivý faktor, ovšem stejný efekt se uplatňuje vůči znečištěním v ovzduší, takže při silně kontaminovaném atmosférickém pozadí je tato schopnost adaptace jehličnanů nevýhodou. Ekosystém smrčin je charakteristický hustým zápojem stromového patra, které propouští k půdnímu povrchu jen málo světla. Proto jsou nižší porostní patra druhově chudá, nicméně bohaté bývá patro mechrostů, jimž kyselý povrchový substrát vyhovuje (na rozdíl od biocenózy popisované dále – na příznivějších stanovištích). V chudém keřovém patru nalezneme zimolez černý nebo semenáče jeřábu ptačího, v bylinném patru třtinu chloupkatou nebo brusnici borůvku, s menší pokryvností pak žebrovníci různolistou, kapraď rakouskou, sedmikvítek evropský, podbělici alpskou, čípek ob-



Na přechodu vrchoviště do podmáčené smrčiny v rezervaci Lysina ve Slavkovském lese soupeří smrk (*Picea abies*) a borovice (*Pinus x pseudopumilio*). Vpravo jednokvítka velekvěť (*Moneses uniflora*) ze Slavkovského lesa. Snímky J. Michálka



Srnčí zvěř obývá ve středoevropské krajině řadu biotopů; často ji můžeme spatřit i v horských jehličnatých lesích. Foto P. Kovář

jímavý, štavel kyselý nebo kokořík přeslenitý. Neměli bychom zapomenout na azonální typy rašelinných smrčín, někdy s příměsí modřínu nebo jeřábu. Smrk na sebe potravně váže řadu druhů hmyzu a vytváří prostředí pro mnoho bezobratlých i obratlovců. Snad nejnázornějšími příklady obyvatel smrčín jsou ptáci jako tetřev hlušec, křivka obecná, ořešník kropenatý nebo datlík tříprstý. K ekosystému smrkového lesa patří typické podzolové půdy s dobře odlišenými horizonty: svrchním tmavým často obohaceným humusem, vyběleným eluviálním, odkud byla většina živin vyplavena srážkami, a mocným hnědým až rezavým s vrstvičkami vysráženého železa.

Kromě druhově chudých acidofilních smrčín můžeme vzácněji nalézt vysokobylinné smrčiny (řád *Athyrio-Piceetalia*) na příznivějších stanovištích horského stupně. Jde o společenstva druhově bohatší s výskytem na prudkých suťových svazích. Bylinné patro utvářejí převážně různé druhy kapradorostů (kapradě, bukovince, papratky), ale také druhy horských niv (pryskyřník platanolistý, kamzičník rakouský, starček hajní, patáinec hajní aj.).

O ekosystémech středoevropských borových lesů lze říci, že jejich výskyt má charakter azonální – mají výraznou vazbu na edafické (půdně-substrátové) faktory, nejsou podmíněny makroklimaticky. Vyskytují se ve stupni dubohabřin jak na silikátových, tak karbonátových horninách a také na hadci (serpentinitu), kde reprezentují velmi specifická společenstva. Reliktní bory silikátových skal, rašelinné bory a bory písčitých půd (svaz *Dicrano-Pinion* ze třídy *Vaccinio-Piceetea*) se vyvinuly na neúživných mělkých půdách typu rankeru

nebo na humusových podzolech. Převážně jde o zbytky většího rozšíření těchto lesů v preboreálu, případně znovu podpořené druhotnými zásahy člověka, hlavně na písčích. Často zarůstají žulové a rulové skály nebo sutě z hrubších bloků. V polostínu stromového patra s borovicí lesní najdeme bylinné patro s převládající borůvkou nebo brusinkou, vřesem obecným, hrušticí jednostrannou, jednokvítkem velevětým, zimozelenem okoličnatým, plavuníkem zploštělým a dále polštářovými mechy, jako jsou dvouhrotec chvostnatý nebo bělomech sivý a také lišejníky dutohlávkami či puklěrkami. Fauna borů má specifické druhy, zejména mezi hmyzem, ale celkově je chudá.

Bory vápencových, dolomitových a hadcových podkladů, vřesovcové bory (svaz *Erico-Pinion* ze třídy *Erico-Pinetea*) představují květnaté reliktní porosty s čilimníky, hrušticí, čičorkami a suchomilnými ostricemi. Zvláštní životní formy, tzv. serpentinomorfózy, se vyskytují na hadcích, jejichž atmosférickým zvětráváním vzniká půda s alkalicko-organickou reakcí, značným obsahem sloučenin hořčíku a železa a malým obsahem živin. To za spolupůsobení přítomných solí těžkých kovů omezuje počet rostlinných druhů. Nejznámějšími jsou vřesovec pletový, sleziník klamný a sleziník hadcový, tařinka chlumní a několik druhů mechorostů. Výskyt hadcových borů je maloplošný a roztroušený – u nás známe několik lokalit v západních Čechách. Obecně je přítomnost borovice na extrémních stanovištích dána převážně širokou ekologickou valencí, která jí umožňuje ovládnout prostor tam, kde jsou již konkurenčně znevýhodněny dub, buk a jiné listná-

če. (To se týká i rašelinných borů, někdy s borovicí blatkou, rojovníkem bahenním a dalšími druhy).

Zvykli jsme si na porosty jehličnanů uměle rozšířené v naší krajině a přestáváme rozlišovat gradaci „přirozenosti a zkulturnění“, díváme-li se na ně jen zběžně. Možná, že právě faktor znečištění nám svou destruktivitou tyto „jemnosti původu“ odhalí.

### Praktická ekologie – případové studie III.








#### Biologické indikátory

Výzkum a mapování biologických indikátorů jako metoda studia znečištění prostředí se soustřeďuje na rozšíření druhů v území, druhovou diverzitu, počet a vnitřní variabilitu populací. Obraz zmíněných biologických parametrů v území je účelné srovnávat před a po vzniku konkrétního zdroje znečištění. Výhod tohoto přístupu je mnoho. Je poměrně rychlý, není nákladný a dostačující je malý počet lidí ve srovnání s laboratorními studiemi. Zkoumá aktuální biologickou situaci v terénu, která odráží krátko- a střednědobé výkyvy v koncentracích znečištění (polutantů).

Přece jen však je nutné se zastavit u některých bodů, jež je vždy znovu třeba řešit. Nejdůležitější je určit, zda zjištěné biologické změny nebo variace jsou odpovědí na znečištění a ne na jiný faktor. Musíme být schopni identifikovat typ a status bioindikačního druhu (pro jaké úrovně výpovědi je použitelný). Zároveň je třeba dobře odhadnout, do jaké míry je zdroj znečištění hlavní příčinou změn, odlišit změny dlouhodobě působené jinými lidskými činnostmi nebo přirozenými procesy prostředí. A konečně v určité fázi studie bude nezbytné porovnat zjištěné biologické změny se souběžným měřením dávek příslušného polutantu, abychom mohli vyvodit širší spojitosti problému.

#### Požadavky na biologické indikátory

Podle mnohosti adaptací organismů resp. stres-tolerance je možné charakterizovat podmínky prostředí. Byly rozvinuty metody, které využívají schopností organismů indikovat obsah živin a kyslíku v prostředí, salinitu, teplotní režim, původ a vlastnosti půd, pH atd. Bioindikace se může „odečítat“ na různých úrovních, od molekulární až po hladinu společenstva. Bioindikátory mohou být nejrozličnější organismy – od virů po savce, od řas po cévnaté rostliny. Tyto organismy by za normálních podmínek měly být (1) dostupné na velkém spektru stanovišť a během celého roku, (2) na nevelkém teritoriu a bez sklony k migraci, (3) s příjmem potravy (výživu) ve znečištěném ekosystému a s rychlým metabolismem (pohotová reakce na toxicitu), (4) dobře chovatelné (pěstovatelné) v labora-

Pásmo	Indikační druh	Forma	Popis
0		bez lišejníků	Pouze primitivní zelená práškovitá řasa na stromech, <i>Pleurococcus</i> (zrněnka)
1		korovité	<i>Lecanora conizaeoides</i> (misnička): šedozeleň lišejník připomínající dláždění, na stromech a kamenech silikátových (kyselých) hornin
2		lupenité	<i>Xanthoria parietina</i> (terčovník zední): jasně oranžový 1., na vápenných substrátech, vápenci, omítce, azbestu aj.
3		lupenité	<i>Parmelia saxatilis</i> (terčovka skalní) světle šedozeleň 1. na starých „kyselých“ zdech
4		lupenité	<i>Parmelia physodes</i> (terčovka bublinatá): šedě zbarvený 1. na stromech spolu s dalšími lupenitými lišejníky
5		keříčkovité	<i>Evernia prunastri</i> (větvičník slivový): svrchní povrch šedozeleň, spodní bělavý, na stromech, v oblastech s téměř čistým vzduchem
6		keříčkovité	<i>Usnea</i> (provazovka): šedozeleň vláknitá stélka, v čistém ovzduší v přirozených lesních porostech

Přehled růstových forem lišejníků – vodítko pro indikaci stupně atmosférického znečištění. Velké znečištění se projevuje nepřítomností lišejníků (obr. 3). Kresby E. Listíkové

torních podmínkách (možnost kontrolních pokusů). Výhodné jsou druhy, u nichž jsou dostatečně rozpracovány metody sběru.

Lišejníky – bioindikátory znečištění oxidem siričitým

Příklad bioindikace lišejníky je učebnicový – tyto organismy se běžně využívají při průzkumech kvality ovzduší. Jednoduchý terénní průvodce hlavními formami lišejníků je na obr. 3. Korovité lišejníky jsou pevně spojené s podkladem – stromem, zdí či skálou. Patří mezi ně celá řada druhů (např. *Lecanora conizaeoides*), které jsou odolné vůči znečištění. Druhy rostoucí na vápnatých substrátech snášejí obecně vyšší koncentrace kyselých znečištěnin díky schopnosti podkladu neutralizovat vliv kyselé látky.

Lišejníky lupenité jsou vůči znečištění odolné méně a pokud nerostou na substrátu neutralizujícím kyselost, nalezneme je dál od zdroje znečištění.

Lišejníky keříčkovité jsou často značně citlivé. Jejich dobře vyvinuté formy se nacházejí obvykle až v určité vzdálenosti od zdroje znečištění anebo v oblastech, které byly v době jejich vývinu zasazeny znečištěním jen slabě. Velmi citlivé na atmosférické nečistoty jsou druhy rodu *Usnea* (provazovka).

Zkoumání lišejníků

(1) Sledujeme dráhu po větru od zdroje znečištění nebo paprscitě od něho, lišejníkovou flóru zkoumáme v určité výšce od povrchu půdy na určitém substrátu nebo orientaci ve vhodných vzdálenostních intervalech – alespoň po 500 m.

(2) Pro každý hlavní podklad a na každém místě zaznamenáváme: (a) přítomné morfologické formy, tj. korovité, lupenité, keříčkovité – a jejich poměrné zastoupení (pomocí např. pokryvnosti), (b) velikost a pokryvnost stélek lišejníků po-

mocí průsvitné fólie z umělé hmoty se síti 10 x 10 cm, (c) je-li to možné identifikujeme druhy přítomných lišejníků podle dostupných příruček.

Máme-li tímto způsobem dobře zmapován dostatečný okruh kolem zdroje znečištění, můžeme se pokusit křivkami (izoliniemi) pospojovat krajní výskyty jednotlivých bioindikačních druhů (anebo jemněji: stupně jejich pokryvnosti). V další fázi je možné konfrontovat statisticky dostatečný počet přímých analýz prostředí (koncentrace polutantu) s odpovídajícím výskytem lišejníků a pomocí extrapolace do prostoru tak získat relativně přesný obraz o rozložení dopadu znečišťující látky v území.

### Ekologická metodika III.

#### Navrhování experimentu

Experimenty se provádějí proto, abychom jimi mohli přírodě položit jasně formulované otázky. Ty obvykle vyjadřují naše domněnky (hypotézy) o způsobu, jak v daném konkrétním případě příroda pracuje. Jinými slovy – hypotézy obsahují předpovědi – a potvrzení (nebo vyvrácení) těchto předpovědí je pro nás nejdostupnějším prostředkem, jak ukázat, že jsme schopni porozumět světu kolem sebe. Experimentování pak musí podléhat týmž pravidlům zkoumání. A jak vypadá návrh testování hypotéz?

**Laboratorní pokusy.** Experiment se dá nejsnadněji zopakovat a dává nejpřesvědčivější výsledky, když jsou všechny faktory (proměnné) pod kontrolou badatele. Za těchto podmínek můžeme systematickým způsobem měnit jeden z nich (např.

teplotu) tak, aby výsledek pokusu byl odpovídal na určitou otázku, kupříkladu: *Jaký je účinek teploty na rychlost růstu pro jistý biologický druh?* Minimalizovat rušivé výkyvy ostatních faktorů (vlhkosti, osvětlení apod.) se nám stěží podaří jinde než právě v laboratorních podmínkách. Vážnou výhradou k ekologickým pokusům prováděným v laboratorii je sporná přenosnost (aplikovatelnost) jejich výsledků do podmínek v přírodě.

**Polní pokusy.** V terénních podmínkách není možné kontrolovat všechny proměnlivé faktory. Obvykle jsme schopni předem určeným způsobem řídit pouze jeden z nich a zbývající se mění nezávisle na experimentu. Otázky kladené v polních pokusech nebývají tak precizní jako u laboratorních pokusů. Příkladně: *Dostávají se dané dva druhy v přírodě do interakce? A pro většinu takových pokusů je příhodnější: Ovlivňují se navzájem negativně? Jestliže jeden z plevelů zastíní všechny ostatní přítomné rostliny, potlačí tím současně světlomilnou plodinu a podpoří jiný (stínomilný) plevel, vidíme tu názorně hned dvě různé interakce – negativní a pozitivní. Při troše štěstí nám příroda dovolí ptát se dále: Za jaké z konkrétních podmínek si uvedené dva druhy konkurují silněji? Zpravidla druhy s podobnou životní strategií, např. trávy, mezi něž patří jak obilné plodiny, tak plevele (pýr nebo chundelka), si konkurují silněji než druhy ve více strukturně rozvrstveném společenstvu. Jiné druhy (s podobnými ekologickými nároky) si budou více konkurovat buď ve vlhkém, nebo naopak v suchém prostředí. U polních pokusů se předpokládá, že přirozené měnlivé faktory ovlivňují všechna pokusná šetření stejně nebo přinejmenším náhodně. Tento předpoklad znamená pro interpretaci výsledku prvek nejistoty a snižuje záruku, že výsledek pokusu je zopakovatelný.*

V rostlinné ekologii se záležitost navrhování experimentu dá ukázat na parcelkových pokusech při studiu mezidruhové konkurence, kdy se využívá různých typů pokusných uspořádání. Při tzv. aditivním uspořádání se jeden z koexistujících druhů rostlin pěstuje při konstantní hustotě a při výsevu se mění hustota druhého druhu. Na rozdíl od toho se při substitučním uspořádání zachovává konstantní celková hustota porostu, ale mění se vzájemné poměry hustot zúčastněných druhů. Možných uspořádání je více.

Někdy se hovoří ještě o **přírodních pokusech**, které svým rozměrem zpravidla přesahují parametry běžného experimentu. Pokusem jsou vlastně bezděky – vzhledem k původnímu užitkovému záměru člověka. Můžeme sem zařadit většinu lidských zásahů uskutečněných v přírodě: umístění skládky v přírodním ekosystému, zřízení a obhospodařování pole, zatopení říčního údolí vodou přehradní nádrže. Co se stane s ovlivněným okolím, můžeme často jen odhadovat a teprve čas ukáže výsledek. Přírodní pokusy jsou jednak tzv. momentové (dvě přirozeně existující společenstva se srovnávají po zásahu do jednoho z nich) a jednak dlouhodobé (na základě dlouhodobého sledování nebo s použitím metod historické analýzy srovnáváme dobře definovaný stav objektu před zásahem a po něm).