

### Podobnosti a odlišnosti substrátů

Analogie se substráty vulkanického původu lze vidět v našich podmínkách u odkališť rudných nebo elektrárenských reziduů. Pokud jsou kalojemy v provozu, je možno srovnávat jejich přímou interakci s kolonizujícími rostlinami. Pokud bylo odkaliště vyřazeno z provozu a ponecháno alespoň nějakou dobu samovolnému vývoji, dají se sledovat nepřímé vlivy deponie na mechanismy vegetační kolonizace a sukcese. Rozdíly při srovnávání s poměry v jiném tropickém pásu (vulkány v Andách) jsou primárně makroklimatické, kolem rovníku dominuje rytmicitata cirkadiánní (denní cyklus) v kombinaci s obdobími deště a sucha, zatímco v Evropě se střídají čtyři roční období s různou délkou dne. Jisté substrátové rozdíly nutno posuzovat případ od případu. Navzdory zmíněným rozdílům je však pozor-

hodným faktem, že v tak odlehlých oblastech existuje velký překryv ve výskytu rostlin, alespoň na úrovni rodů, s mírně stoupající procentuální tendencí směrem k bezcévným rostlinám. Výrazně se to týká specifických rodů mechorostů (např. prutník – *Bryum*), lišejníků (např. dutohlávka – *Cladonia*). V horkých rovníkových oblastech vyrovnává odlišnou geografickou polohu oproti mírnému klimatickému pásu nadmořská výška velehor a umožňuje tak relativní srovnatelnost podmínek.

U odkališť a mnohdy též u materiálů vyvržených sopečným kráterem hrají podstatnou roli specifické vlastnosti – např. vysoký obsah těžkých kovů nebo aniontů kyselin a silné zasolení. Srovnáme-li počty zastoupených rostlinných rodů na vulkanických materiálech v Andách a na uměle navršených substrátech rudných a struskopopílkových odkališť v ČR, tak z 55 cel-

kově zaznamenaných rodů lišejníků bylo společných 16 rodů (21 %), ze 40 rodů mechorostů 8 společných (20 %) a z 83 rodů cévnatých rostlin 15 společných (18 %).

Má tedy význam ptát se na to, jakou shodu či podobnost můžeme shledat při výzkumu přirozených procesů oživení původně sterilních vulkanických na jedné straně a antropogenních substrátů z energetiky nebo těžby surovin na straně druhé. V dalším kroku nás logicky bude zajímat, jak zjištěné výsledky srovnávacího výzkumu aplikovat v ekologii obnovy toho či onoho prostředí, té či oně krajiny.

*Pro tento text byly použity výsledky získané za podpory grantových projektů č. 206/93/2256, 206/98/1194 a 526/02/0651 GA ČR a výzkumného záměru MŠMT ČR č. 31300042.*

Jakub Hruška, Filip Oulehle, Pavel Krám, Irena Skořepová

## Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy

### 2. Vliv depozic síry a dusíku na půdy a lesy

**Vliv imisí (depozice) síry a dusíku na horské lesy byl považován za hlavní problém 2. poloviny 20. stol. a po odsíření velkých zdrojů emisí v 90. letech byl poněkud zapomenut. Skončily totiž katastrofické velkoplošné úhyny lesů a problém imisí se tak zdál jednou provždy vyřešen. Přesto ale depozice síry a dusíku stav horských lesů stále negativně ovlivňují, i když jinými, na první pohled méně viditelnými mechanismy.**

#### Přímé poškození lesů

Po dlouhá desetiletí byly za hlavní příčinu hynutí lesů vlivem imisí považovány vysoké koncentrace  $\text{SO}_2$  v ovzduší, kdy přímý kontakt velmi koncentrovaného  $\text{SO}_2$  s asimilačními orgány smrku poškodí chlorofyl a jehličí uschne (tzv. akutní poškození). Tento mechanismus se nejvíce uplatňoval v oblastech s extrémně vysokými koncentracemi  $\text{SO}_2$  v ovzduší a tímto způsobem zahynuly v 60.–80. letech 20. stol. lesy v Krušných horách. Imisní epizoda může být velice krátká. Při vhodném počasí stačí k akutnímu poškození vedoucímu k odumření stromu desítky minut. Např. v zimě 1977/78 uhynuly tisíce hektarů lesa v Krušných horách, když se během jedné noci prudce snížila teplota zhruba o 25 °C a současně se prudce zvýšila koncentrace  $\text{SO}_2$ .

Význam tohoto mechanismu v současné době ustoupil, protože koncentrace  $\text{SO}_2$  v ovzduší se řádově snížily. Zatímco v r. 1990 bylo v oblasti Krušných hor průměrně více než 60 mikrogramů  $\text{SO}_2$  na  $\text{m}^3$

vzduchu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), po r. 2000 už to bylo jen okolo 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , stejně jako ve většině horských oblastí. Průměrné koncentrace  $\text{SO}_2$  v ovzduší jsou dnes na 98 % území ČR nižší než 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , což je hodnota imisního limitu na ochranu vegetace a ekosystémů stanovená Evropskou komisí, při níž by nemělo docházet k přímému poškození asimilačního aparátu.

Přesto se ale stav lesů výrazně nezlepšil. Nedochozí již sice k jednorázovým velkoplošným úhynům, ale chřadnutí lesů pokračuje. Průměrná defoliace smrku a buku v celé ČR (obr. 4) se mezi lety 1986–2003 nijak nesnížila, naopak se mírně zvýšila, přestože koncentrace  $\text{SO}_2$  velmi poklesly. Defoliace je ztráta jehlic či listů oproti ideálnímu stavu plného olistění a je mírou zdravotního stavu stromů. Pokud je ztráta asimilačního aparátu nízká, má to na zdravotní stav jen malý vliv, jakmile ale překročí zhruba 40 %, strom začíná strádat nedostatkem látek, které jsou produktem asimilace probíhající

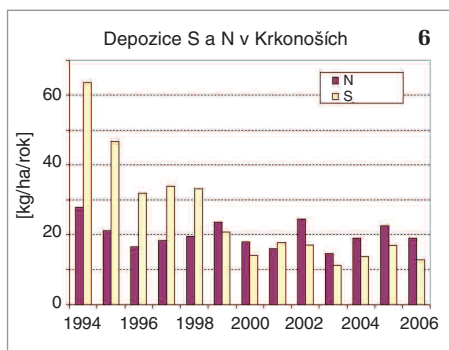
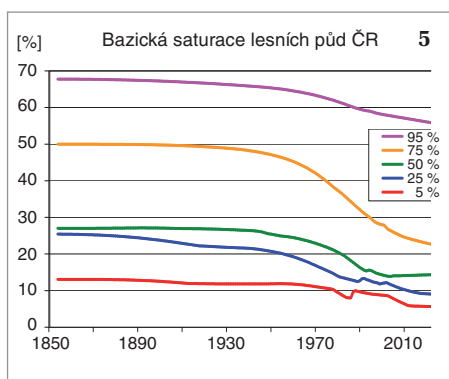
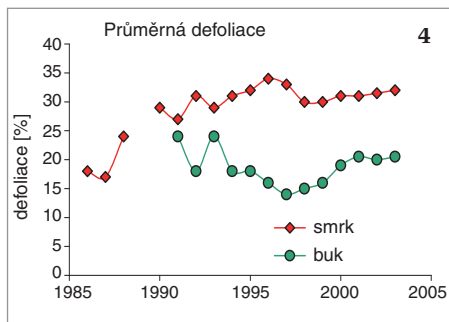
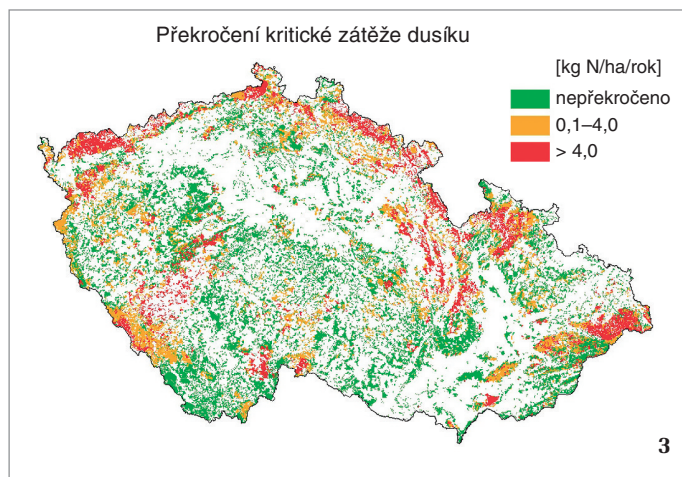
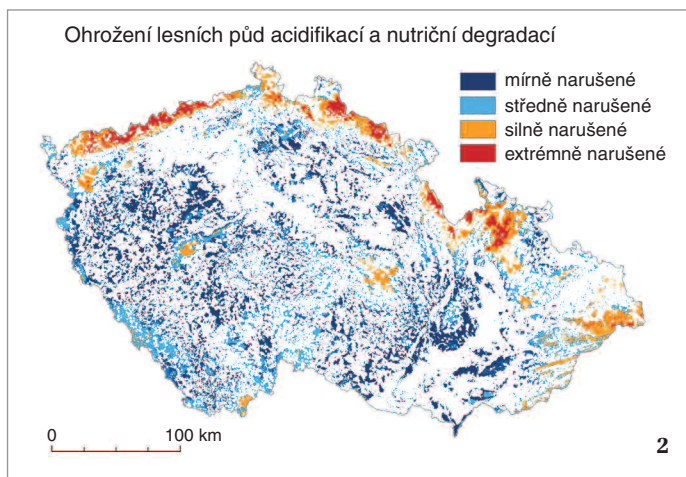


1 Smrkový porost v Jizerských horách strádající kvůli okyselení půd a nevhodnému hospodaření nedostatkem hořčíku. Foto J. Hofmeister

v jehlicích či listech. Z měřených údajů vyplývá, že zhruba 40 % smrků v ČR má defoliaci vyšší než 40 %, a proto je průměrná defoliace velmi vysoká, dokonce nejvyšší ze všech evropských zemí. Protože se zdravotní stav (měřený defoliací) nezlepšil, je zřejmé, že existuje jiný mechanismus poškození stromů než jen přímé ovlivnění vysokými koncentracemi  $\text{SO}_2$ . Navíc v mnoha horských oblastech nebyly koncentrace  $\text{SO}_2$  nijak vysoké. Např. v Orlických horách a Jeseníkách nepřekračovaly 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ani v r. 1990. Přesto i tam došlo k masivnímu odumření lesa.

#### Dlouhodobé okyselení půd

Horské lesy poškozuje též dlouhodobé okyselení půd (obr. 1 a 7). Kyseliny, jež se do půdy dostávají deštěm, z ní vyplavují prvky, které jsou důležité pro udržení vyvážené hodnoty půdní kyselosti a současně jsou nezbytnými živinami pro vegetaci. Jde zejména o vápník (Ca) a hořčík (Mg), menší roli hraje draslík (K) a nejmenší sodík (Na). Souhrnně je nazýváme bazické kationty. Tyto prvky jsou schopny



po nějakou dobu vyrovnávat (neutralizovat) přísun kyselin z atmosféry. Při této reakci jsou ale nevratně odnášeny z půd do podzemních a povrchových vod.

Vedle množství depozice závislého na imisních poměrech a druhové skladbě a věku lesa rozhodují o stupni okyselení další faktory. Jedním z nich jsou přirozené vlastnosti půd, zejména množství bazických kationtů v půdě, jejichž hlavním zdrojem je zvětrávání podložních hornin. Čím víc je v půdách bazických kationtů, tím jsou půdy odolnější vůči kyselé depozici, protože mohou déle neutralizovat přísun kyselin z atmosféry. Nejméně odolné jsou horské půdy na kyselých horninách

(žuly, křemence), které obsahují málo bazických kationtů a pomalu zvětrávají. Půdy mají přirozeně málo bazických kationtů v iontově-výměnném komplexu – jediné ty jsou ale přístupné pro neutralizaci kyselého deště. Prvky v hornině jsou pevně vázány v minerálech a musí se tedy nejprve uvolnit velmi pomalými zvětrávacími reakcemi a přejít do iontově-výměnného komplexu půdy. Horské půdy tak mají malou mocnost a kvůli nízkým teplotám snižujícím zvětrávací rychlost i přirozeně nízké množství bazických kationtů. To je spolu s drsným klimatem a vysokým přísunem kyselin důvod, proč se devastující vliv kyselých dešťů nejdříve objevuje v horských oblastech. Lépe jsou na tom půdy nižších poloh a také půdy vzniklé na horninách bohatých na bazické kationty (např. vápence a čediče) – zde je riziko okyselení mnohem menší. Ve většině horských oblastí ČR ale převládají právě kyslejší a pomalu zvětrávající horniny, na nichž se vyvinuly přirozeně chudé půdy.

Zásoby uvolnitelných bazických kationtů vznikaly v půdách zvětráváním podloží zejména v období od konce poslední doby ledové, v našich horských oblastech tedy asi 10 000 let. V důsledku kyselé depozice i změny druhové skladby původních lesních porostů na smrkové monokultury, kdy probíhá okyselení půdy rozkladem jehličnatého opadu v kombinaci se zvýšenou kyselou depozicí, byly zásoby bazických kationtů vyčerpány v průběhu zhruba posledních stovek let, hlavně však v posledních několika desetiletích. Celý jev je možné jen s malou nadsázkou přirovnat ke změně geologické epochy. Pomocí modelů simulujících acidifikační procesy probíhající v půdách bylo území ČR rozčleněno na čtyři kategorie s různým poškozením půd kyselým deštěm (obr. 2). Na nejpoškozenějších místech bude docházet k mírnému zlepšení, ovšem návrat ke stavu před působením kyselých dešťů je nereálný – i snížené množství emisí je bude udržovat ve stavu jen trochu lepším, než byl nejhorší stav počátkem 90. let 20. stol. Možná je to překvapivé, ale stav půd se bude většinou dále zhoršovat – pokles bude pomalý, ale znatelný. Obr. 5 ukazuje trend vývoje bazické saturace lesní půdy ČR (bazická saturace udává procento nasycení iontově-výměnného komplexu půdy bazickými kationty – Ca, Mg, Na a K) modelovanými pro období 1850 až 2030. Jasně z něj vyplývá, že k největší

ztrátěází z půd vlivem okyselení došlo v 50.–90. letech 20. stol. (Živa 2009, 2: 93–96). Jak už bylo uvedeno, po masivním poklesu emisí v 90. letech 20. stol. došlo ke zpomalení poklesu bazické saturace, ale ten bude pokračovat i v příštích dekádách. Současná atmosférická depozice, oproti 80. letům 20. stol. velmi snižená, ovšem v žádném případě nulová (obr. 6), bude stačit k dalšímu pozvolnému okyselení půd. Velkou roli zde hraje i intenzivní lesnictví způsobující zvýšení depozice ve smrkových lesích a nevratně vyčerpávající zásobyází z půd (viz níže).

### Hliníková toxicita

Hlavním mechanismem poškození stromů v důsledku okyselení půd je otrava hliníkem (Al). Tento prvek se v horninách a půdách běžně vyskytuje, dokonce jako jeden z nejvíce zastoupených (je třetím nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře). Pokud ale nejsou půdy okyseleny, vyskytuje se ve formě nerozpustných sloučenin (převážně primárních a sekundárních minerálů půd a hornin), které nejsou škodlivé, protože je organismy nedokáží přijmout. Jakmile se ale půdní prostředí okyselí, hliník se velmi rychle rozpouští a v rozpuštěném stavu působí jako buněčný jed. Pokud kyselost klesne, hliník se opět rychle sráží do nerozpustných sloučenin.

Vysoké koncentrace hliníku, resp. nízký poměr bazických kationtů a hliníku (Ca+Mg+K)/Al v půdním roztoku působí fyziologické problémy kořenovému systému smrků. Ionty hliníku totiž můžou vytlačit kationty vápníku, hořčíku a draslíku v buněčné membráně kořenů, čímž se naruší iontová rovnováha. To vede k odumírání takto postižených orgánů (v typickém případě jemných kořenů) a následně i k špatnému příjmu živin, vody a celkovému oslabení rostliny. Hliník např. nejčastěji blokuje příjem hořčíku. Stromy s nedostatkem hořčíku pak trpí chlorózou, tedy žloutnutím jehlic kvůli nedostatku chlorofylu nutného k zachytávání sluneční energie (obr. 1 a 8). Takto postižené jehlice rychle opadávají a zvyšuje se defoliace stromů. Velké riziko poškození je tam, kde je molární poměr (Ca+Mg+K)/Al (zkráceně Bc/Al) v půdním roztoku kořenové zóny menší než 1. Protože více hliníku se vždy vyskytuje až v minerálních půdních horizontech, kořenový systém smrků se z toxického prostředí vytahuje



2 Vymezení oblastí s půdami různě narušenými acidifikací a nutriční degradací. Orig. F. Oulehle, J. Hruška, Česká geologická služba (2009)

3 Překročení kritické zátěže dusíku pro lesy v ČR. Orig. I. Skořepová, Česká geologická služba

4 Průměrná defoliace smrku ztepilého (*Picea abies*) a buku lesního (*Fagus sylvatica*) na území České republiky v letech 1986–2003. Vyšší defoliace znamená vyšší ztrátu jehlic či listů. Zdroj: Ministerstvo zemědělství ČR

5 Pokles bazické saturace lesních půd ČR mezi lety 1850–2030 simulovaný modelem MAGIC na základě sledování v letech 1993–2004; 50% hodnota je medián (střední, resp. nejčtenější údaj) všech hodnot, 5% reprezentuje podíl půd, jejichž zastoupení v souboru je 5% nejnižších hodnot, naopak 95% reprezentuje nejvyšší hodnoty v celém souboru. Orig. J. Hruška

6 Depozice síry a dusíku v Krkonoších v letech 1994–2007. Data J. Hošek, Hořovice a Správa KRNP

7 Okyselení půd bylo hlavní příčinou úhynu lesů ve vrcholové části Jizerských hor. Foto L. Dostál

8 Žloutnutí a opadávání mladších jehlic smrků je typickým příznakem nedostatku hořčíku (chlorózy) způsobeným kombinací acidifikace půd a příliš intenzivního lesnického hospodaření. Foto J. Hruška

9 Těžba klestu a větví může znatelně zhoršit stav lesních půd (snímek ze západního Švédska). Foto F. Moldan

více k povrchu půdy, kde je obvykle méně hliníku a více bazických kationtů. Tento mechanismus je typický pro lesní půdy v celé střední Evropě i jižní Skandinávii. Postižené stromy s extrémně mělkým kořenovým systémem se stávají mimořádně citlivými vůči suchu, mrazu a dalším vlivům. Protože scénáře klimatických změn počítají s vysokým výskytem velmi suchých period, může okyselení půd vlastně způsobit poškození suchem. Popsané mechanismy stromy výrazně oslabují, ale jen zřídka jsou bezprostřední příčinou jejich úhynu. Tou bývá obvykle klimatický stres (náhlá změna teploty v zimě, dlouhotrvající sucha či mrazy) nebo hmyzí či houbové škůdce, kterému by se zdravý les obvykle ubránil jen s malými ztrátami.

Přestože se kyselá depozice v 90. letech velmi snížila, poměr Bc/Al v půdních vodách se prozatím nezvyšuje. Na výzkumné ploše Harčetin na náhorní plošině Krušných hor dokonce tento poměr v půdě nadále klesá – půdní podmínky se zde tedy stále mírně zhoršují (obr. 10). Důvodem je komplex geochemických reakcí, kdy se v půdní vodě sice nepatrně zvyšuje pH (obr. 10) a klesá koncentrace hliníku, ale současně ještě rychleji klesají koncentrace bazických kationtů, protože se jedná velmi nízkou koncentraci a jedná se díky nižšímu vstupu kyselin z atmosféry omezeno vyplavování z iontově výměnného komplexu (snížila se rychlost poklesu bazické saturace – obr. 5). Přitom situace byla v minulosti zcela odlišná. Biogeochemický model MAGIC (Cosby a kol. 2001),



kalibrováný údaji ze současnosti a dlouhodobými trendy vývoje emisí a depozice (Živa 2009, 2: 93–96), vypočetl, že poměr Bc/Al byl v polovině 19. stol. zhruba 8 (obr. 10). Od té doby klesal, jak se půdy postupně okyselovaly a snižovala se jejich bazická saturace. Nejstrmější pokles byl zaznamenán v 50.–90. letech 20. stol. Poměr Bc/Al se dostal pod kritickou hodnotu 1 v 70. letech a je nejnižší v současné době, tedy více než 15 let po období nejvyšší depozice. V budoucnu se poměr bude zvyšovat, ovšem jen velmi zvolna a pravděpodobně během 40 let nedosáhne zpět ani poměru 1 (obr. 10). Prakticky totožná zjištění jsou k dispozici z Německa a jižní Skandinávie.

#### Vliv lesnictví na okyselení půd

Poměrně značný, ale pomalý a dlouhodobý vliv na ochuzování půd o bazické kationty má lesnické hospodaření. Při biogeochemických výpočtech je nutno brát v úvahu i fakt, že těžbou dřeva se z lesního ekosystému, zejména z půd, nevratně odčerpává část bazických kationtů (Ca, Mg, Na, K), která by jinak v ekosystému zůstala a při rozkladu biomasy by se opět dostala zpátky do půdy. Bazické kationty

jsou přitom důležité nejen jako prvky bránící acidifikaci, ale i jako významné živiny pro stromy.

Že vliv lesnictví není zanedbatelný, si ukážeme na příkladu půd v povodí Lysina ve vrcholové části Slavkovského lesa. V tomto chudém granitovém povodí s malou větrávací rychlostí bazických kationtů se intenzivně pěstují smrkové monokultury nejméně v druhé generaci, a to v oblastech původně porostlých smíšenými lesy buku, jedle a smrku.

Protože oblast je přirozeně kyselá kvůli chudému podloží, byla historicky i bazická saturace relativně nízká – zhruba 25 % v polovině 19. stol. (obr. 11). Od té doby začala zvolna působit kyselá depozice, ale výrazně se zintenzivnilo i lesnictví. Na obr. 11 jsou opět biogeochemickým modelem MAGIC vypočteny tři možnosti vývoje půdního chemismu. Pokud by v povodí existoval pouze „prales“ a veškerá biomasa stromů a v ní fixované bazické kationty by byly rozkladem vráceny zpět do půdy, došlo by i v tomto případě za současného působení kyselého deště ke znatelnému poklesu bazické saturace, a to zhruba na 10 %. Nejvyšší pokles bazické saturace připadá na 50.–80. léta 20. stol.,



kdy byla nejvyšší depozice síry. V případě pralesního scénáře by ale od počátku 21. stol. došlo k alespoň mírné regeneraci půd (nepatrné zvyšování bazické saturace). Protože se však v povodí po celou dobu těžilo (a to kmeny s kůrou, větve a jehličí obvykle zůstávají na místě), působila ztráta bazických kationtů odvozem kmenů s kůrou současně s atmosférickou depozicí (zelená čára na obr. 11). A zde je vidět, že těžba znatelně přispěla ke snížení bazické saturace půdy proti teoretickému scénáři pralesa. V současné době je bazická saturace pouhých 5 %, tedy zhruba polovina pralesního scénáře. Těžba je tak odpovědná za polovinu ztráty bázi vůči samotnému působení kyselé depozice. Mnohem významnější ale je, že po snížení depozice v oblasti (na cca 7 kg S/ha/rok a 10 kg N/ha/rok) je dnes vliv hospodářství rozhodujícím činitelem, proč se půdy budou v této oblasti dále okyselovat. Mezi lety 1993 a 2004 totiž dokonce bazická saturace půdy ještě klesla (ze 7 % na 5 %), přestože velké odsíření již v oblasti proběhlo. I do budoucna model MAGIC při stávající úrovni depozice a intenzitě smrkového hospodářství předpokládá pomalý pokles bazické saturace, a tedy okyselování půd (zelená čára v obr. 11).

V posledních letech se hovoří také o využití potěžeby zbytků (větví a jehličí) jako obnovitelném biopalivu (obr. 9). V okyselených a citlivých oblastech by to

ale znamenalo další okyselení půd, protože větve a jehličí také obsahují značné množství bazických kationtů (asi 60 % toho, co kmeny s kůrou), které by z ekosystému nevratně zmizely. Pokud by se tato praktika začala používat ihned, klesla by bazická saturace půdy na Lysině během dalších 40 let na pouhých 2,5 % (červená čára v obr. 11), což by zřejmě již mělo výrazný vliv na růst lesa, kterému by se nedostávalo zejména hořčíku a vápníku.

### Saturace ekosystémů dusíkem a jeho kritická zátěž

K dovršení hrozivé degradace půd v důsledku kyselých dešťů se v řadě horských oblastí vystavených zvýšené depozici dusíku v současnosti přidává ještě další hrozba – saturace lesních ekosystémů dusíkem.

Vodní i suchozemské ekosystémy neovlivněné lidskou činností dospívají po dlouhodobém vývoji k rovnovážnému stadiu, kdy je jejich další rozvoj a růst limitován prvkem, který je oproti ostatním živinám nejméně dostupný. Pro neobdělávané půdy a lesy bývá často tímto prvkem dusík. Za ustálených podmínek většinu N dodaného do ekosystému srážkami, suchou depozicí i vnitřními zdroji (mineralizací organické hmoty v půdách a sedimentech) využije vegetace a mikroorganismy. Jestliže však do tohoto systému začne vstupovat více N, než odpovídá původnímu rovnovážnému stavu, začne se ustavovat nová rovnováha. Větší přísun N tak zpočátku zvyšuje biologickou produktivitu ekosystému a ovlivňuje druhové složení vegetace ve prospěch rostlin náročnějších na spotřebu N. Znáмым příkladem je změna lučních společenstev v případě aplikace dusíkatých hnojiv nebo zvýšená produktivita severských lesů při zvýšené atmosférické depozici N.

Na podíl N spotřebovaného organismy má vliv řada faktorů. Kromě úrovně depozice N je to především druh, hustota vegetačního pokryvu a stadium jeho rozvoje. Rostoucí společenstva odebírají více N než klimaxová. Dále se uplatňují mocnost a typ půd a klimatické parametry, zejména jejich výkyvy. Atmosférická depozice N dlouhodobě převyšující určitou kritickou hodnotu však vede k tzv. saturaci ekosystémů dusíkem, tj. ke stavu, kdy přísun tohoto prvku překročí jeho celkovou potřebu na straně mikroorganismů nebo vyšší vegetace.

Kritická zátěž je definována jako nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nezpůsobí chemické změny, jež by měly dlouhodobé škodlivé účinky na nejcitli-

vější složky ekosystému. Koncept kritických zátěží je oficiální metodou výpočtu imisních zátěží platných v rámci evropské konvence o dálkovém přenosu škodlivin (UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) a slouží Evropské komisi k posouzení vlivu imisí na ekosystémy a dalších strategií snižování emisí.

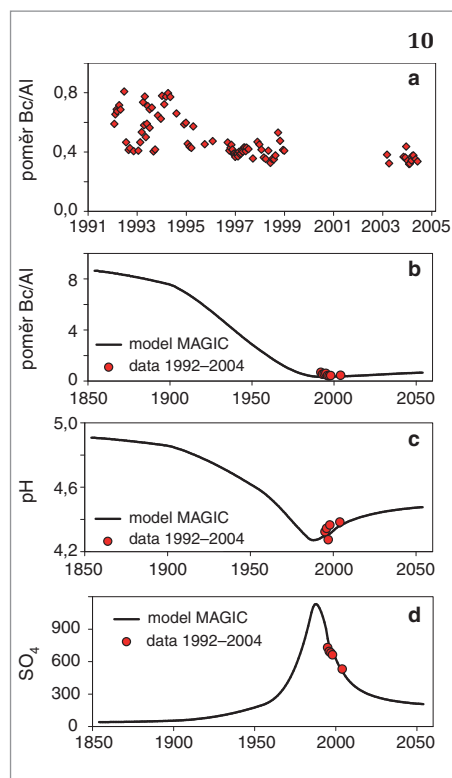
Podle současných poznatků je pro stře-doevropské lesy (míněno stromy) touto kritickou zátěží zhruba 10 kg N/ha/rok. Jde o hodnotu orientační, pro jednotlivé citlivé druhy rostlin je nižší. Např. švédské zdroje nově udávají pro brusinku jako typický indikátor eutrofizace boreálních lesů hodnotu kritické zátěže pouze 6 kg N/ha/rok. Průměrná hodnota celkové depozice dusíku dnes v ČR činí zhruba 15 až 20 kg N/ha/rok.

Hodnoty kritické zátěže pro lesní ekosystémy, kde indikátorem je smrkový les, se v ČR výrazně překračují (obr. 3). Nejvyšší překročení se táhne po severních horstvech od Krušných hor až po Jeseníky. Nadbytek dusíku má ještě jeden negativní aspekt – zvyšuje rychlost růstu stromů. Při rychlejším růstu, který je v Evropě prokázán od 50. let 20. stol., vznikají vzhledem k nedostatku bazických kationtů disproporce ve výživě. Rychle rostoucí smrkové dřevo špatně vyzrává, délkové přírůsty jsou enormně velké a stromy jsou velmi náchylné k mechanickému poškození – velmi snadno se lámou při silných větrech, námraze či mokřem sněhu. Také bylo prokázáno, že zvýšené množství dusíku v tkáních stromů je energeticky velmi atraktivní pro patogenní škůdce (H. Sverdrup, osobní sdělení).

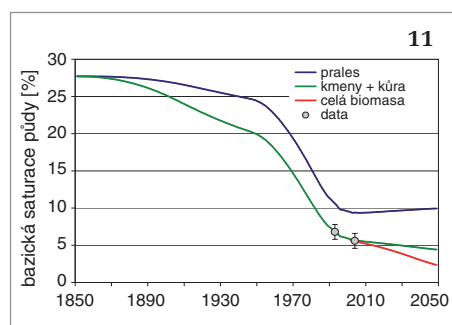
### Závěr

Vlivem kyselého deště a vysokých koncentrací  $SO_2$  v ovzduší uhynulo anebo bylo v ČR výrazně poškozeno několik desítek tisíc hektarů lesů. Přesný údaj nelze zjistit, protože kromě přímého poškození vysokými koncentracemi  $SO_2$ , kde je příčina zjevná, lze těžko odlišit účinek dlouhodobého stresu vlivem sucha, hmyzích škůdců či větrných kalamit. Je velmi pravděpodobné, že rozsah těchto poškození by bez spolupůsobení kyselého deště byl mnohem nižší. Bohužel bude k poškozování docházet i v budoucnu – okyselování je typický kumulativní jev, jehož účinky se projevují až po dekadách působení. Lze ho asi nejlépe přirovnat k účinkům kouření na lidský organismus. K největšímu poškozování dochází v době, kdy kuřák žádné subjektivní potíže nepocituje a má dojem, že mu kouření neškodí. Jakmile se ale účinky projeví, obvykle ani okamžité zastavení zlovykvy nevede k úplnému uzdravení. A emise kyselinotvorných látek zastaveny nebyly, byly pouze radikálně sníženy. Problémy lze očekávat i v blízké budoucnosti, protože po zalesnění holin nevhodnými smrkovými monokulturami se budou půdy nadále okyselovat, což způsobí pravděpodobně nové kolo chřadnutí smrkových lesů.

*Tento článek vznikl díky projektu CZ0051 podpořeného grantem z Islandu, Lichtenštejnska a Norska prostřednictvím Finančního mechanismu EHP a Finančního mechanismu Norska.*



**10** Lesní výzkumná plocha Načetín v Krušných horách. Vývoj molárního poměru  $(Ca+Mg+K)/Al$  (neboli Bc/Al) v půdní vodě v letech 1992–2004 (a). Dlouhodobý vývoj ročních průměrů poměru Bc/Al simulovaný modelem MAGIC pro roky 1850–2050 (b), pH půdní vody (c) a koncentrace síranů v půdní vodě (d). Orig. F. Oulehle, Česká geologická služba



**11** Vývoj bazické saturace půdy simulovaný biogeochemickým modelem MAGIC pro granitové povodí Lysina ve vrcholové části Slavkovského lesa. Blíže v textu. Orig. J. Hruška