

Poškození ekosystémů nadměrnou depozicí dusíku a vyjádření míry kritické zátěže

I přesto, že je dusík klíčovým prvkem života na Zemi, bez kterého se organismy neobejdou, jeho nadměrné vstupy do suchozemských a vodních ekosystémů představují jeden z nejzávažnějších problémů poškození životního prostředí.
United Nations Environment Programme (2019)

Nadměrná atmosférická depozice dusíku do ekosystémů vzbudila pozornost již v 70. a 80. letech 20. století v souvislosti s tzv. kyselými dešti, kdy společně s mnohonásobně vyšší depozicí síry docházelo k velkoplošnému poškození a úhynu lesů, úhynu ryb a vodních bezobratlých. Po zavedení odsiřovacích zařízení (u nás v 90. letech minulého století, v západní Evropě už od konce 70. let) se podařilo problém kyselých dešťů výrazně zmenšit. V některých oblastech světa (Skandinávie, Severní Amerika) klesla depozice síry zpět až na preindustriální hodnoty, ale depozice dusíku se globálně snížila velmi málo. Acidifikační vliv sloučenin dusíku dnes již nepředstavuje výrazné riziko, ale větší pozornost si získal z pohledu svého dopadu na biodiverzitu, kvalitu pitné vody, kvalitu půdy, ovzduší a zdraví člověka.

Zdroje reaktivního dusíku

Dusík se v největším množství nachází v atmosféře jako plyn N_2 (nereaktivní). V této formě ho, až na několik výjimek, nemají živé organismy přijímat. Jen některé mikroorganismy jsou schopné N_2 fixovat a transformovat do forem, které mohou přijímat další organismy (reaktivní dusík). Reaktivní sloučeniny dusíku jsou amonné ionty NH_4^+ (redukováná forma N) anebo dusičnan NO_3^- (oxidovaná forma). Fixaci vzdušného dusíku provádějí mikroorganismy buď žijící volně v půdě a vodě, nebo v symbióze s kořeny rostlin – jako jsou z čeledi bobovitých (*Fabaceae*) – např. hrách (*Pisum*) nebo jetel (*Trifolium*). Reaktivní formy dusíku v přírodě vznikají i při výbo-

jích blesků a sopečné činnosti. Veškerý dusík, který je přirozeně k dispozici v ekosystémech, byl buď fixován mikroorganismy, převeden na reaktivní (oxidován či redukován) při výbojích blesků, nebo se do koloběhu dostal následným rozkladem organické hmoty v půdách a sedimentech, při požárech a sopečné činnosti.

Mnohem větší množství reaktivního dusíku se však do atmosféry uvolňuje při spalování fosilních paliv v elektrárnách a spalovacích motorech (oxidovaná forma) nebo pochází z intenzivního zemědělství (převážně redukováná forma). Objev Haberovy-Boschovy syntézy (vysokotlakého katalytického slučování plynného vodíku a dusíku za vzniku amoniaku) na počátku

20. století sice umožnilo zvýšit produkci potravin díky syntéze umělých dusíkatých hnojiv a zajistit obživu rostoucí světové populaci, vysoké hodnoty vstupů do zemědělství jsou však doprovázeny velkými ztrátami nevyužitého dusíku. Jan Willem Erisman s mezinárodním týmem (2008) odhadl, že pouze 17 % sloučenin dusíku aplikovaných v zemědělství skončilo v zemědělských produktech, zbylý dusík byl denitrifikován zpět do atmosféry či vyplaven do vod. Z atmosféry se dusík dostává opět do ekosystémů ve formě suché (depozice plynů a částic) nebo mokré (děšť, sníh, mlha, námraza) atmosférické depozice. Kvůli nadměrné depozici reaktivních forem dusíku dochází zejména v půdách ke změně biogeochemických pochodů, což může vést k intenzivnější denitrifikaci a nárůstu koncentrace oxidu dusného (N_2O) v atmosféře. N_2O je zodpovědný za tvorbu přízemního ozónu, tvorbu aerosolu negativně ovlivňujícího zdraví (částice $PM_{2.5}$) a přispívá k rostoucí koncentraci skleníkových plynů v atmosféře. Nitrifikace nespotřebovaných sloučenin dusíku v půdách vede k vyplavování dusičnanů do vodních toků. Ve vodních ekosystémech je hlavní negativní dopad dusíku spojován s eutrofizací, kdy jeho nadbytek spolu s nadbytkem fosforu způsobuje nadměrný rozvoj řas a sinic, ve vodě pak chybí kyslík pro ostatní vodní organismy, dále souvisí s kvalitou pitné vody a překračováním povolených limitů koncentrace dusičnanů.

Dopady na biodiverzitu jsou spojeny se změnou kompetičních vztahů v důsledku eutrofizace nebo se změnou poměru forem reaktivního dusíku v půdě NH_4^+/NO_3^- . Určité druhy rostlin vykazují specifické preference jedné či druhé formy a pro řadu rostlin je vysoká koncentrace NH_4^+ toxická (van der Berg a kol. 2008, Kleijn a kol. 2008, Paulissen a kol. 2004). Rostliny silně kyselé půd upřednostňují spíše amonné ionty, naopak druhy rostoucí na alkalických půdách dávají přednost dusičnanům. Mezi druhy preferující amonné ionty patří podle Andrease Gígona a Iana H. Rorisona (1972) vřes obecný (*Calluna vulgaris*), metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), smilka tuhá (*Nardus stricta*), naopak péchava vápnomilná (*Sesleria caerulea*) a hlaváč fialový (*Scabiosa columbaria*) preferují dusičnany.

Různé ekosystémy reagují na zvýšený vstup dusíku různě, a to v závislosti na mnoha faktorech, kterými jsou např. velikost depozice a doba jejího trvání, forma vstupujícího dusíku do ekosystému, rychlost imobilizace dusíku v půdě, rychlost denitrifikace nebo typ hospodaření. Obecně platí, že zvýšená depozice dusíku vede k eutrofizaci a u ekosystémů doposud limitovaných jeho dostupností ke zvýšení primární produktivity. Vyšší dostupnost dusíku tak podporuje kompetičně silné druhy rostlin a může vést až k úplnému vymizení slabých kompetitorů. To obvykle znamená ústup oligotrofních druhů rostlin a naopak rozšíření generalistů či nitrifilních druhů, které dokážou využít nadbytek



1 Vrcholové zlomy mladých smrkových porostů na náhorní plošině Jizerských hor, kde je kritická zátěž nutričního dusíku značně překročena (únor 2019). Foto J. Hruška

této živiny v ekosystému. Větší dostupnost dusíku vede u některých druhů i k jeho vyšší koncentraci v pletivech a větší atraktivitě pro herbivory. Stromy mají při nadbytku dusíku extrémně velké přírůsty biomasy, nadměrný příjem prvku vyvolává v jejich metabolismu nerovnováhu živin, která se při vysokých dávkách projevuje celkovým chřadnutím, žloutnutím a u jehličnanů opadáváním jehlic. Typicky smrky vystavené vysoké depozici dusíku jsou velmi náchylné ke zlomům, protože mají následkem rychlého růstu křehké dřevo (obr. 1).

Kritické zátěže

Obavy o osud zejména ekosystémů citlivých na dusík vedly ke snaze stanovit emisní stropy. Jelikož jsou však sloučeniny dusíku v atmosféře transportovány na velké vzdálenosti, nelze problém řešit jen v rámci jednoho státu. Proto se provádí monitorování národních emisí a depozic a je snahou jednotně pracovat na jejich snížení. Z tohoto důvodu jsou navrhovány i jednotné metody stanovení indikátorů, tzv. kritických zátěží dusíku, jejichž sledování pro jednotlivé evropské státy vyplývá ze závazků daných ratifikací mezinárodních dohod. Nejstarší dohodou, která řeší dálkový přenos znečišťujících látek, je Úmluva o dálkovém znečišťování přesahujícím hranice států (CLRTAP), v jejímž rámci se stanovují a monitorují kritické zátěže i pro území České republiky. Kritickou zátěž definuje jako takové maximální množství jedné nebo více znečišťujících látek, které podle stávajícího stavu poznání ještě nemá negativní účinky na citlivé složky ekosystému. Mezi citlivé složky patří např. druhové složení vegetace, která reaguje na vysoké vstupy nutričního (eutrofizujícího) dusíku.

Vedle indikátorů založených na bilančním výpočtu velikosti depozice, rychlosti imobilizace, denitrifikace přípustného vyplavování nitrátů a odnímání dusíku z ekosystému v podobě biomasy (blíže zpráva CLRTAP 2016) se úspěšně využívají i tzv. empirické kritické zátěže. Ty jsou založeny na pozorované změně druhového složení ekosystémů, v nichž byly prováděny dlouhodobé experimenty hnojení dusíkem nebo pro ně máme k dispozici dostatečně dlouhé řady pozorování ovlivněných ekosystémů. První představení konceptu empirických kritických zátěží proběhlo již v r. 1992 (Bobbink a kol.) a poslední revize a nejnovější přehled shrnuje publikace Rolanda Bobbinka a Jean-Paula Hettelingha (eds., 2011).

K plošnému mapovému vyjádření empirických kritických zátěží nutričního dusíku (CLN, Critical Load of Nitrogen) pro ekosystémy v České republice byla využita aktuální mapová vrstva ekosystémů – Konsolidovaná vrstva ekosystémů (KVES), spravovaná Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR, která je nejpodrobnějším podkladem o rozšíření jednotlivých ekosystémů. Blíže informace o tvorbě této vrstvy jsou uvedeny na webových stránkách AOPK ČR (viz odkazy na webu Živy) a popsány v článku Ivy Hönigové a Karla Chobota v časopise Ochrana přírody (2014, 4: 27–30). Konsolidovaná vrstva rozlišuje 41 ekosystémů, přičemž pro 18 z nich není kritická zátěž určena (tab. 1). Jde o různé

typy urbánních ploch (např. zástavbu, městské zelené plochy a parky) a různé způsoby intenzivního zemědělského využití území (pole, vinice, sady), tedy plochy, kde vymezování kritických zátěží pro přírodní nebo polopřírodní ekosystémy nemá smysl. V případě, že byla CLN definována na podrobnější úrovni ekosystémů, než jakou představuje databáze KVES, a zároveň existovala informace o prostorovém vymezení těchto podrobnějších jednotek, byla jednotka KVES rozdělena (zvýrazněné řádky v tab. 1). K dělení sloužila vrstva mapování biotopů (bližší informace o vrstvě najdete rovněž na stránkách AOPK ČR). Takové rozdělení se týkalo pěti jednotek z KVES databáze, které sdružovaly ekosystémy s odlišnou úrovní kritické zátěže. Např. u skal a sutí jsou na depozici nutričního dusíku citlivější společenstva na silikátových skalách než na karbonátových.

Ekosystémy se známou hodnotou CLN pokrývají 58 % rozlohy České republiky (viz obr. na 3. str. obálky). Zbývající část území (42 %) představují kategorie antropogenního využití, pro které se kritické zátěže nestanovují. Hodnoty CLN jsou definovány pomocí intervalu, z něhož jsme pro naše účely pracovali se střední hodnotou.

Ekosystémy nejzranitelnější nadbytkem nutričního dusíku (maximální zátěž do 10 kg N/ha/rok) zaujímají jen nepatrnou rozlohu ČR (tab. 1). Jde o alpinské louky v nejvyšších polohách pohraničních pohoří, makrofytní vegetace stojatých oligotrofních vod a silikátové skály a sutě s vegetací skalních stepí. Největší část našeho území (25 %) pak pokrývají ekosystémy, které mají střední hodnotu empirické kritické zátěže 10 kg N/ha/rok. Mezi ně řadíme např. hospodářské jehličnaté lesy, nevápnitá rašeliniště a prameniště, suché bory nebo alpinská vřesoviště. Nejméně citlivé na depozici dusíku jsou podle stávajícího stavu poznání hospodářské louky, zaujímající 16 % rozlohy ČR, u nichž je střední hodnota CLN rovna 25 kg N/ha/rok.

Atmosférická depozice reaktivního dusíku

K vyhodnocení aktuální zátěže atmosférickou depozicí nutričního dusíku a případného překročení empirických kritických zátěží bylo využito mapy celkové atmosférické depozice dusíku vytvořené podle metodiky Filipa Oulehle a kol. (2016), založené na vztahu mezi měřenými depozicemi sloučenin dusíku na několika desítkách stanic zaznamenávajících depozici po delší časové období (od 70. let 20. století), jejich srážkovým úhrnem, zeměpisnou polohou a celkovými emisemi sloučenin reaktivního dusíku (NO_x a NH_3) na celém území ČR. Emise zveřejňuje ve svých přehledech Český hydrometeorologický ústav (www.chmi.cz).

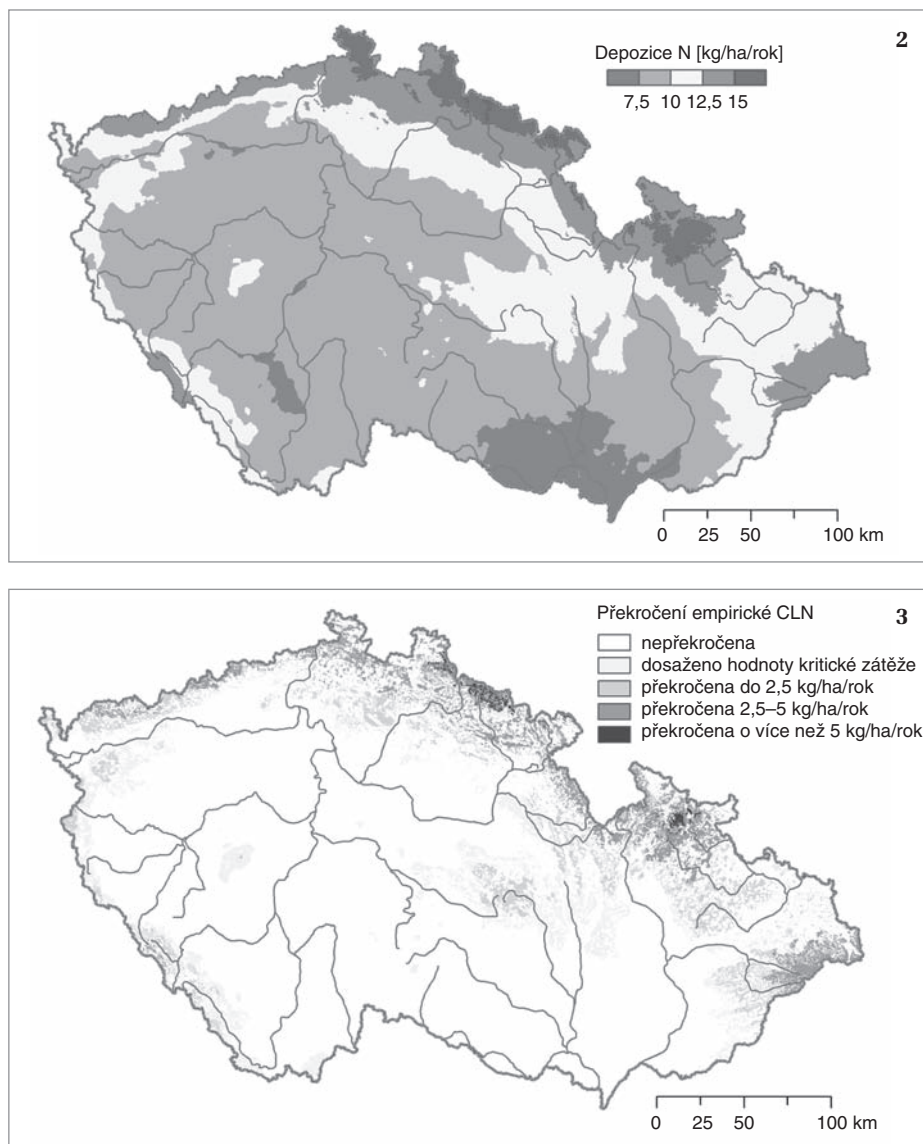
Celková atmosférická depozice dusíku se v r. 2017 pohybovala v rozmezí 6–18 kg N/ha/rok (obr. 2). Nejvyšší byla naměřena v severních hraničních oblastech republiky od Šluknovské pahorkatiny a Lužických hor až po Hrubý Jeseník a Zlatohorskou vrchovinu. Zde hodnoty překračují 15 kg N/ha/rok. Druhé nejvyšší hodnoty depozice bylo dosahováno, vyjma již zmíněných oblastí, v Krušných horách, Nízkém

Tab. 1 Hodnoty empirických kritických zátěží dusíku (CLN) pro jednotlivé ekosystémy; NA – hodnota kritické zátěže není definována.

Podle: R. Bobbink a J.-P. Hettelingh (2011), převedeno na kategorie definované v Konsolidované vrstvě ekosystémů (KVES)

Konsolidovaná vrstva ekosystémů	Empirická CLN [kg/ha/rok]
Alpínské louky	10–15
smilkové trávníky	5–10
ostatní	NA
Aluviální a vlhké louky	10–30
Bažina, močál	NA
Bučiny	10–20
Dopravní síť	NA
Doubravy a dubohabřiny	10–20
Hospodářské lesy	NA
jehličnaté	5–15
listnaté	10–20
smíšené	10–20
Hospodářské louky	20–30
Chmelnice	NA
Lužní a mokřadní lesy	10–20
Makrofytní vegetace stojatých vod	NA
oligotrofních	3–10
mezotrofních	5–20
Městské zelené plochy, okrasné zahrady, parky, hřbitovy	NA
Mezofilní louky	10–25
Mokřadní	NA
a pobřežní vegetace	5–20
Nepůvodní kosodřevina	NA
Nepůvodní křoviny	NA
Nesouvislá městská zástavba	NA
Orná půda	NA
Ovocný sad, zahrada	NA
Průmyslové	NA
a obchodní jednotky	NA
Přírodní biotopy ve městě	NA
Přírodní kosodřevina	5–15
Přírodní křoviny	5–20
Rašeliniště a prameniště nevápnitá	5–15
vápnitá, pěnovecová	15–30
Rašelinné lesy	5–20
Rybníky a nádrže	NA
Skály, lomy (umělé)	NA
Skály, sutě karbonátové	15–30
silikátové	5–10
Skládky a staveniště	NA
Smrčiny	10–15
Souvislá městská zástavba	NA
Sportovní	NA
a rekreační plochy	NA
Suché bory	5–15
Suché trávníky	10–25
Suťové lesy	15–20
Vinice	NA
Vodní toky nepřírodní	NA
přírodní	NA
Vřesoviště nížinná, sekundární	10–20
alpínská	5–15

Jeseníku, Moravskoslezských Beskydech, nejvyšších polohách Javorníků, Hostýnsko-vsetínských hornatin a na Šumavě. Protože je zprostředkována srážkami, dosahuje obecně vyšších hodnot ve větších nadmořských výškách s bohatšími srážkami a také v zalesněných oblastech, kde se uplatňuje



Tab. 2 Rozloha ekosystémů ČR s různou mírou překročení empirické kritické zátěže nutričním dusíkem (CLN) z atmosférické depozice. Ve druhém sloupci jsou procenta vypočítána jen z rozlohy ČR, kterou pokrývají ekosystémy s definovanou hodnotou kritické zátěže, tedy z 58 % plochy našeho území. Pro zbývající část se kritické zátěže nestanovují. Zdroj dat: vlastní výpočty, podkladem mapa na obr. 3

Překročení empirické CLN	Rozloha ČR [%]	Rozloha ČR s defin. CLN [%]
nepřekročeno	44,9	77,6
dosaženo kritické zátěže	4,4	7,6
překročeno do 2,5 kg/ha/rok	4,2	7,2
překročeno 2,5–5 kg/ha/rok	4,1	7,1
překročeno o více než 5 kg/ha/rok	0,3	0,5

efekt suché depozice – zachytávání částic a aerosolů obsahujících sloučeniny dusíku na asimilačních orgánech stromů.

Nejnižší hodnoty depozice dusíku byly zjištěny naopak v nejnižších a nejsušších oblastech našeho území v Dolnomoravském úvalu, Dyjsko-svrateckém úvalu, Českobudějovické pánvi nebo v Žatecké pánvi. Zde se hodnoty pohybují do 7,5 kg N/ha/rok.

Překročení kritických zátěží

Nejvíce jsou kritické zátěže (obr. 3) překračovány v nejvyšších pohořích v severní části České republiky, kde zaznamenáváme nejvyšší hodnoty depozice vlivem vysokých srážkových úhrnů a také vzhledem k pozici vůči největším zdrojům emisí. Zároveň se zde nacházejí typy vegetace

2 Celková atmosférická depozice dusíku na území ČR v r. 2017. Plošné vyjádření je modelováno podle metody F. Oulehle a kol. (2016) a založeno na vztahu mezi národními emisemi, srážkami a geografickou polohou.

3 Překročení empirických kritických zátěží dusíku pro ekosystémy atmosférickou depozicí tohoto prvku. Pro stanovení překročení byl brán střed intervalu definované kritické zátěže. KVES byla překryta mapou celkové atmosférické depozice dusíku v r. 2017 a pro jednotlivé ekosystémy bylo vyjádřeno ne/překročení jejich empirické kritické zátěže. Výsledná mapa zohledňuje rozdíly v rámci ČR. Barevné verze map (obr. 2 a 3) najdete na webové stránce Živý. Orig. T. Chuman

citlivé k depozici dusíku. Těmi však nejsou pouze přirozené ekosystémy, ale i hospodářské jehličnaté lesy, s rozmezím kritické zátěže 5–15 kg N/ha/rok. Území, kde depozice překračuje o více než 5 kg/ha/rok, se nacházejí především v Jizerských horách, Krkonoších a z Broumovské vrchoviny ve Vraních a Javořích horách a Adršpašsko-teplických skalách, dále v nejvyšších polohách Hrubého Jeseníku a Zlatohorské vrchoviny. Rozloha tohoto území představuje 0,3 % ČR, tedy 0,5 % plochy, na které jsou kritické zátěže definovány (tab. 2).

K překročení o 2,5–5 kg N/ha/rok dochází již na mnohem větším území (obr. 3). Opět zejména v severních pohraničních oblastech od Krušných hor přes Děčínskou vrchovinu, Šluknovskou pahorkatinu, Lužické hory, Frýdlantskou pahorkatinu, Ještědsko-kozákovský hřbet, Krkonošské podhůří, Orlické hory, Králický Sněžník, Rychlebské hory, dále v severní části Nizkého Jeseníku a v Moravskoslezských Beskydech. V jižní polovině republiky je tato oblast překročení na Šumavě v Železnorudské hornatině a na Šumavských pláních. Dohromady zaujímají plochy s touto úrovní překročení 4,1 % rozlohy ČR (7,1 % území s definovanými CLN).

Zbývajícím územím s překonanou kritickou zátěží do 2,5 kg N/ha/rok se vyjma již uvedených oblastí nachází ve Smrčinách, Slavkovském lese, nejvyšších polohách Českého lesa, Doupovských horách, Českém středohoří, Ralské pahorkatině, Jičínské pahorkatině, Železných horách, Hornosvratecké vrchovině, Podorlické pahorkatině, Hostýnsko-vsetínské hornatině, na Šumavě a v nejvyšších polohách Brdské vrchoviny. Rozloha tohoto území dosahuje 4,2 % ČR (resp. 7,2 % definované plochy CLN). Na dalších 4,4 % (7,6 % CLN) rozlohy naší republiky je už kritické zátěže dosaženo – atmosférická depozice je právě rovna hodnotě CLN.

Zajímavý je pohled na překročení kritické zátěže v jednotlivých ekosystémech (tab. 3). U některých, jako v případě přírodních kosodřevin a alpských luk, je překročeno na 100 % jejich rozlohy. Mezi nejhroženějšími ekosystémy následují přirozené smrčiny – překročení CLN na více než polovinu jejich rozlohy, a suché bory – překročeno na více než třetinu rozlohy a na dalších necelých 7 % dosaženo. K silně ovlivněným se řadí také rašeliniště a prameniště, u nichž je CLN překročeno na třetinu rozlohy a na téměř 5 % dosaženo.

Překračování kritické zátěže nutričního dusíku ohrožuje nejen přírodní a přírodě blízké ekosystémy, ale také hospodářské lesy, u kterých je na více než třetinu jejich rozlohy CLN překročeno a na dalších necelých 20 % je jí dosaženo. I mírné zvýšení depozice dusíku by znamenalo výrazný nárůst rozlohy, na které jsou kritické zátěže překračovány.

Shrnutí

Značná část přírodních a polopřírodních ekosystémů v ČR má v současnosti atmosférickou depozicí dlouhodobě překročenu kritickou zátěž nutričního dusíku. Dochází proto k negativním dopadům, jako jsou redukce biodiverzity oligotrofních stanovišť a podpora nitrofilních druhů, především horských luk, kosodřeviny a rašelinišť.

U přírodních horských lesů a většiny hospodářských lesů se zvyšuje rychlost přírůstu (Kolář a kol. 2015), což znamená i větší náchylnost k vrcholovým zlomům, zvláště v zimě. Vzhledem k setrvalé úrovni atmosférické depozice bohužel nelze v blízké budoucnosti očekávat výraznější zlepšení, zejména co se týče biodiverzity horských ekosystémů. Do budoucna je potřeba se zaměřit na snižování emisí dusíku hlavně z dopravy, průmyslu a zemědělství, případně zavést managementová opatření, která povedou k oligotrofizaci (např. odnímání biomasy). Přestože by se mohlo zdát, že odnímání biomasy z nelesních biotopů kosením či pastvou je z hlediska biodiverzity a množství živin v ekosystému nevýznamné, opak je pravdou. Zdokumentované příklady původně druhově bohatých luk, které se ruderalizovaly a ztratily většinu vzácných oligotrofních druhů, najdeme třeba v Krkonoších. Odnímání biomasy je důležité jen pro některé bezlesé ekosystémy. V lesích pálení kletu nebo odvoz posklizňových zbytků naopak vede k ochuzování o bazické živiny a o biomasu, která je kriticky nutná zvláště pro hmyz a houby. Citlivost je potřebná především tam, kde by se opakovaně likvidovala zásoba dia-spor k obnově závislých populací nebo narušoval životní cyklus např. entomofauny.

Použitá literatura uvedena na webu Živy.

Tab. 3 Zastoupení jednotlivých typů ekosystémů v ČR podle Konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES) a podíl jejich rozlohy, kde je kritická zátěž nutričního dusíku atmosférickou depozicí v r. 2017 překročena nebo je jí dosaženo.

Typ ekosystému	Podíl z celkové rozlohy ekosystému v ČR [%]
dosaženo kritické zátěže	
Bučiny	9,4
Doubravy a dubohabřiny	0,2
Hospodářské lesy jehličnaté	15
listnaté	1
smíšené	3,7
Lužní a mokřadní lesy	2,2
Rašeliniště a prameniště	4,6
Suché bory	6,7
Vřesoviště	10,6
kritická zátěž překročena	
Alpínské louky	100
Bučiny	1,7
Hospodářské lesy jehličnaté	35,5
listnaté	0
smíšené	0,6
Lužní a mokřadní lesy	0,1
Makrofytní vegetace stojatých vod	3,7
Mokřady a pobřežní vegetace	6
Přírodní kosodřevina	100
Přírodní křoviny	4,9
Rašeliniště a prameniště	30,4
Rašelinné lesy	9,9
Skály, sutě	12,4
Smrčiny	58,1
Suché bory	37,2
Vřesoviště	21

Radek Michalko

RECENZE

Stano Pekár, Marek Brabec: Moderní analýza biologických dat 3. Nelineární metody v prostředí R

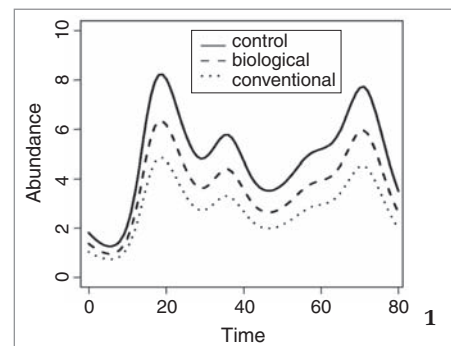
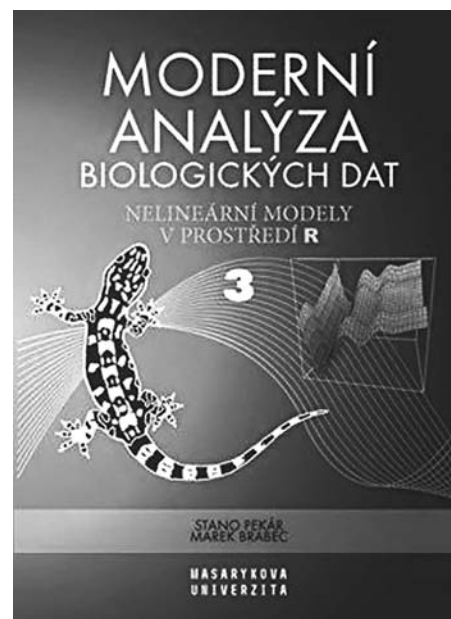
Na sklonku r. 2019 konečně vyšel, mnou dlouho očekávaný, třetí díl Moderní analýzy biologických dat od S. Pekára a M. Brabce. Třetí část se totiž zabývá analýzou nelineárních vztahů, kterých je nejen v mém oboru, tedy ekologii, nespočet. Složitě nelineární vztahy často nelze linearizovat vhodnou transformací, analyzovat polynomičnou regresí nebo modelovat zahrnutím harmonické funkce a česky psaná učebnice biostatistiky ukazující, jak z této „šlamastiky“ ven, doposud chyběla.

Autoři v knize představují jednak klasický přístup k analýze jednorozměrných nelineárních trendů pomocí nelineární regrese a jednak moderní metody v podobě obecných a zobecněných aditivních modelů. Zároveň ukazují, jak postupovat při analýze nelineárních trendů u dat pocházejících z různých náhodných rozdělení a z různých pokusných designů, jak zohlednit blokový design využitím smíšených modelů nebo různé časoprostorové autokorelace pomocí korelačních funkcí v reziduích nebo právě vyhlazovací funkce aditivních modelů. A mnohem více! Samozřejmě není opomenuta kontrola validity modelů. Odkrývají nám tak opravdu širokou škálu možností analýzy dat, které probírané metody skýtají.

Stejně jako v předešlých dílech je analýza dat představena řešením konkrétních příkladů z různých oborů biologie v prostředí programu R. Kniha obsahuje pouze minimum nutné matematiky, která bývá jinak pro většinu biologů obávaná. Naopak statistická teorie je zde vysvětlována prostřednictvím biologie a ekologie, což dělá text čtivým a statistiku pochopitelnou i pro člověka, který se matematice příliš nevěnoval.

Celkově lze sérii knih Moderní analýza biologických dat přirovnat k determinacnímu klíči, kdy máte vždy k dispozici obrazový referenční vzorek se slovně jasně vysvětlenými rozdíly a zdůvodněním pro použití té či oné metody a „vychytávky“. Podobný systém např. chybí u řady anglicky psaných učebnic představujících dané metody pro ekology. Považuji tak nejen třetí díl, ale všechny tři publikace (1. díl vydala Scientia, Praha 2009; 2. díl Masarykova univerzita, Brno 2012) za výborný učební text biostatistiky, který v mnohém předčí učebnice vydané v anglickém jazyce.

**Masarykova univerzita, Brno 2019,
218 str. Doporučená cena 340 Kč**



1 Ukázka z recenzované knihy. Modelování fenologie škvorů v ovocných sadech pod třemi typy ochrany