

Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy

III. Okyselení potoků a jezer

Podobně jako u půd došlo účinkem kyselého deště i k okyselení povrchových vod. Např. šumavská jezera a mnohé horské potoky jsou často křišťálově průhledné nejen proto, že by voda byla čistá, ale protože je kyselá a nemohou v ní žít organismy, které by její průhlednost snižovaly.

Dokud půdy byly schopny neutralizovat kyselost snižováním zásob bazických kationtů v půdním iontově-výměnném komplexu, podzemní a povrchové vody se neokyselovaly – kyseliny z atmosféry byly téměř kompletně neutralizovány bazickými kationty z půd. Ve střední Evropě jsou půdy poměrně mocné a jejich pufrací kapacita značná, a proto u nás nedošlo k takovému okyselení povrchových vod jako ve Skandinávii, kde na rozsáhlém území jižního až středního Švédska a Norska došlo od 50. let 20. stol. v důsledku okyselení jezer, potoků a řek k postupnému uhynutí ryb a dalších živočichů i rostlin. Vrchol postižení spadá do druhé poloviny 70. let, kdy bylo zasažené území velké zhruba jako trojnásobek České republiky.

Jev je zdánlivě paradoxní, protože ve Skandinávii vlivem acidifikace nikdy neuhynuly lesy tak masivně jako ve střední Evropě, ale zato zde byly mnohem více postiženy povrchové vody. Protože půdy ve Skandinávii jsou velmi chudé a málo mocné, okyselení povrchových vod nastá-

lo již při relativně malé depozici a za stavu půd, kdy ještě nebyly toxické pro stromy, ale odtékající voda již byla poměrně kyselá. Většina středoevropských půd byla extrémně acidifikována ve svrchních vrstvách, kde se vytvořily podmínky toxické pro stromy. Pod kořenovou zónou jsou tady na rozdíl od Skandinávie obvykle ještě další vrstvy půdy a zvětralin, a tak se nakonec vody v těchto horizontech neutralizují. Výjimkou potvrzující pravidlo jsou kary většiny šumavských jezer (Živa 2002, 6: 265–269 a 2003, 1: 25–29).

Jak se vody okyselují?

Pokusme se tento obecně platný mechanismus procesu acidifikace, tak jak probíhal zhruba od poloviny 19. stol., popsat na příkladu povodí potoka Lysina v západních Čechách. K tomuto účelu se používají modely simulující dlouhodobý průběh acidifikace. Protože hlavní složkou ekosystému určující odolnost vůči antropogennímu okyselení jsou půdy (viz předchozí část seriálu), zahrnují tyto modely

zejména půdní procesy vedoucí k okyselení půd a vod. Stejně jako v minulém článku seriálu jsme použili model MAGIC (Model of Acidification of Groundwater In Catchments – Model acidifikace podzemních vod v povodích) vyvinutý v polovině 80. let v USA (Cosby a kol. 2001). Vstupními parametry jsou současné vlastnosti půd ve zkoumaném povodí (velikost sorpčního půdního komplexu, jeho nasycenost bazickými kationty, množství a struktura půd, adsorpce síranů, disociační konstanty organických kyselin, rychlost zvětvávání matečné horniny a další experimentálně dosažitelné veličiny). Hlavní řídicí proměnnou celého modelu jsou údaje o časových změnách atmosférické depozice (viz první díl seriálu, Živa 2009, 2: 93–96) a model je kalibrován pomocí současného chemického složení potoka a bazické saturace půdy.

Povodí Lysina (0,27 km²) ve vrcholové části Slavkovského lesa v nadmořské výšce 829–946 m n. m. je monitorováno od r. 1989. Pouhých 10 km severně se nachází v sokolovské hnědouhelné pánvi elektrárna Tisová. Geologické podloží tvoří žula s nízkým obsahem bazických kationtů a malou zvětvávací rychlostí. Hnědá lesní půda je podzolovaná s mocností v průměru asi 1 m. Povodí je 100% pokryto smrkovou monokulturou. Atmosférická depozice síry je zde dnes okolo 8 kg/ha/rok, ale počátkem 90. let 20. stol. byla 35 až 40 kg/ha/rok. Dvě třetiny tvoří suchá depozice na jehlicích smrků (bližší vysvětlení v první části seriálu).

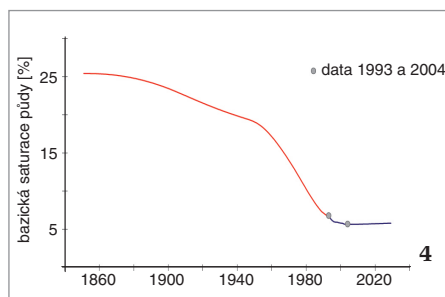
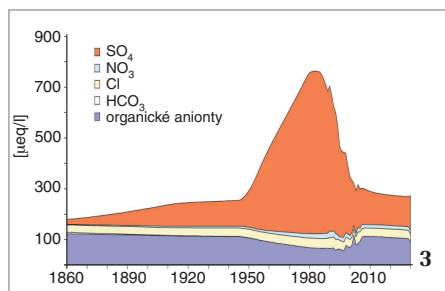
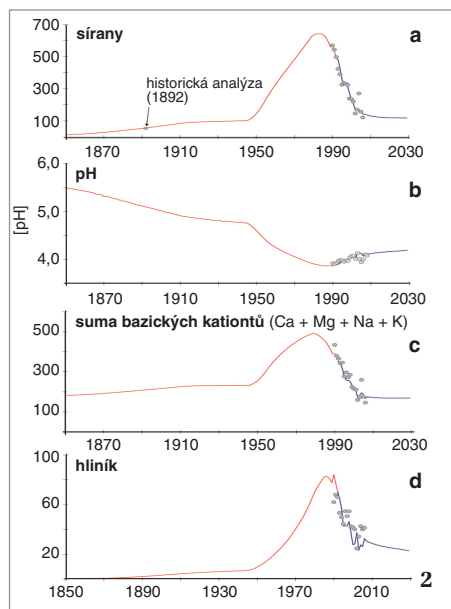
Lysina má všechny typické znaky dlouhodobé acidifikace. Potok odvodňující povodí má průměrné roční pH v rozmezí 4,0–4,2 a většinu aniontů tvoří sírany z atmosférické depozice (obr. 3). Průměrná koncentrace hliníku uvolněného z půd do potoka je mezi 40–60 μmol/l. Nízké hodnoty pH a vysoké koncentrace hliníku (obr. 2b a 2d) neumožňují život žádných obratlovců a značně zredukovaly i makrozoobentos.

Chemické složení vody v 19. stol. jsme odhadli z jedinečné historické studie Josefa Hanamanna Lučebná povaha tekoucích vod českých, vydané v r. 1896. Podle koncentrace SO₄²⁻ ve vodách stékajících ze Slavkovského lesa jsme odhadli rovněž dobovou depozici síry v této oblasti cca na 2 kg/ha/rok, tedy zhruba 4× nižší než v současnosti a cca 15× nižší než na vrcholu acidifikace v 80. letech 20. stol. Tomu odpovídala i nízká koncentrace síranů v potoce, zhruba 50 mikroekvivalentů/litr (tj. mikroekvivalenty molární koncentrace vodíkových iontů) v r. 1892 (obr. 2a).

Naše rekonstrukce vývoje okyselení povodí Lysina vypadá následovně: v polovině 19. stol. bylo pH potoční vody zhruba 5,5, koncentrace síranů byly blízko přírodnímu pozadí, pH deště mělo hodnoty



1



okolo 5,0 a déšť neobsahoval téměř žádné síraný, protože jejich zdroj, tj. spalování hnědého uhlí bylo teprve v počátcích. V potoce dominovaly anionty huminových kyselin vznikajících při rozkladu organické hmoty v půdách (obr. 3). S přibývajícím důlní činností v nedaleké sokolovské pánvi a s rozvojem průmyslu začaly stoupat koncentrace SO_2 v ovzduší. Déšť se zvolna stával kyselější přítomností H_2SO_4 . V potoce začala stoupat koncentrace SO_4^{2-} a snižoval se obsah již tak málo zastoupených hydrogenuhličitanů HCO_3^- (obr. 2b a 3). Ty reagovaly neutralizační reakcí s vodíkovými ionty (H^+), které přinesla kyselina sírová, na vodu a oxid uhličitý. Současně začalo mírně klesat pH (obr. 2b). Po další době, podle výsledku modelování zhruba okolo r. 1920, kleslo pH na hodnotu okolo 5,0. V tu chvíli se začal uplatňovat neutralizační mechanismus, který má příroda pro takový případ v záloze. Vodíkové ionty začaly v půdách vytěsňovat bazické kationty (obr. 2c) a zaujímat jejich místo. Detailnější popis tohoto mechanismu jsme uvedli v druhé části seriálu (Živa 2009, 3: 141–144).

V potoční vodě se to projevilo tak, že se pH nejprve snižovalo jen mírně, ale množství bazických kationtů stouvalo úměrně se zvyšováním množství síranů (obr. 2a a 2c). Teprve když už výměnný proces v půdách na neutralizaci kyseliny sírové z atmosféry nestačil, pH půdní i potoční vody začalo strmě klesat. Tato situace nastala podle našeho modelování zhruba po 2. světové válce, kdy se v ČR začalo ve velkém spalovat hnědé uhlí. V r. 1955 byla spuštěna již zmíněná elektrárna Tisová, první z velkých uhelných elektráren socialistické éry. V té době došlo k výraznému zvýšení koncentrace SO_2 v ovzduší v jejím okolí, pH potoční vody kleslo pod hodnotu 4,5 (obr. 2b) a kyselá půdní voda začala výrazně uvolňovat hlínik (obr. 2d) z jílových minerálů. Tento proces částečně brzdil další pokles pH. Zvyšování výroby elektrické energie a stavba tepelných elektráren v průběhu 60. a 70. let vedly k rychlému a strmému nárůstu koncentrací SO_2 v ovzduší, SO_4^{2-} ve srážkách a k výraznému nárůstu suché depozice síry v celé střední Evropě. Nejvyšší hodnoty depozice

jsme v souladu s mnoha jinými studiemi odhadli na konec 70. let. V té době byla dobudována soustava uhelných elektráren v podkrušňohorských pánvích a současně se začala prudce zhoršovat kvalita těžného hnědého uhlí, v němž výrazně rostl obsah síry. Všechna tato síra byla emitována ve formě SO_2 do ovzduší.

V 80. letech, zejména v jejich druhé polovině, kyselá depozice v Evropě začala klesat. Příčinou byla úspěšná snaha o snížení emisí SO_2 v západní Evropě. Při převládajícím západním proudění se k nám začalo dostávat méně škodlivin, zatímco naše emise se udržovaly kvůli stagnující těžbě uhlí na stejné úrovni. Zvláště ve vnitrozemí a na severu republiky dokázaly místní zdroje emisí efekt čistší západní Evropy téměř beze zbytku eliminovat. Projev určitého snížení znečištění tak můžeme ještě před r. 1989 zaznamenat jen v západní a jihozápadní části Čech (Český les, Šumava, částečně Slavkovský les a nejzápadnější Krušné hory).

V povodí Lysina zaznamenáváme výrazný pokles depozice síry a tím i síranů již od konce 70. let. Tento jev však není způsoben regionálním poklesem atmosférické depozice, ale částečným odlesněním. Zhruba 30 % území bylo vykáceno, a tak ztratilo na části své plochy významný zdroj suché depozice síry. Protože v půdách je část síry vratně adsorbována, vymývání těchto zásob pokračuje dodnes. Od r. 1989 současně dochází tentokrát již ke skutečnému poklesu atmosférické depozice odsířením či odstavením hlavních zdrojů znečištění v ČR.

Všimněme si zajímavé věci. Z obr. 2 vyplývá, že koncentrace SO_4^{2-} v potoce v povodí Lysina poklesla od hypotetického vrcholu koncem 70. let zhruba na dnešních 20 % této hodnoty. Hodnota pH se ovšem změnila jen velmi málo (obr. 2b), jinými slovy pokles koncentrace síranů nebyl doprovázen odpovídajícím vzrůstem pH. Stejně koncentraci síranů, jakou měříme dnes, odpovídá pH zhruba 4,5 v období nástupu acidifikace. Je tedy vyšší než dnešní pH cca 4,1. Proč se nevrátilo alespoň na tuto úroveň? Důvodem zdánlivého paradoxu je, že dnes již půdy nemají neutralizační schopnost, jakou

2 Chemismus povrchové vody v povodí Lysina ve Slavkovském lese vypočítaný biogeochemickým modelem MAGIC pro roky 1860–2030 a průměrné roční koncentrace prvků a sloučenin v období 1990–2006. Orig. J. Hruška a P. Krám

3 Koncentrace aniontů v potoce Lysina v letech 1860–2030 podle biogeochemického modelu MAGIC. Orig. J. Hruška a P. Krám

4 Bazická saturace půdy povodí Lysina s použitím modelu MAGIC pro období 1860–2030. Měřené údaje z let 1993 a 2004. Orig. J. Hruška a P. Krám

5 Hodnoty pH povrchových vod v ČR měřené v letech 1984–96 a znovu v letech 2007–08. Orig. V. Majer

6 Koncentrace berylia (Be) v povrchových vodách ČR v letech 1984–96 a 2007–08. Orig. V. Majer

7 Vývoj chemismu a oživení Černého jezera na Šumavě pro období 1871–2007. Siven americký (*Salvelinus fontinalis*) byl vysazen v 90. letech 19. stol. (Živa 2003, 1: 25–29), zooplankton zahrnuje jen korýše žijící ve volné vodě, zoobentos pouze jepice a pošvatky dlouhodobě sledované V. Landou a T. Soldánem. Orig. J. Vrba a J. Kopáček

8 Po poklesu stavů zoobentosu v Černém jezeře v 70. a 80. letech 20. stol. se od konce 90. let opět zvyšuje množství jeho druhů. Samička šídla ruměnného (*Pyrrosoma nymphula*) kladoucí vajíčka do Černého jezera. Foto E. Tošenovský

měly v počátcích acidifikace. Jak klesaly koncentrace SO_4^{2-} při poklesu depozice, klesaly i koncentrace bazických kationtů v potoční vodě – ty jsou dnes dokonce nižší, než byly hodnoty modelované pro preindustriální období (obr. 2c). Zásoba bazických kationtů v půdě vytvořená primárním zvětráváním byla v posledním století nevratně vyčerpána a odtekla s povrchovou vodou. To se projevilo poklesem bazické saturace půdy v povodí (obr. 4), a proto jsou poměrně pesimistické i scénáře budoucího vývoje do r. 2030 (obr. 2 a 4). I snížená depozice síry a dusíku totiž bude dostačující k tomu, aby se povodí Lysina udržovalo ve stavu chronické acidifikace, protože zvětrávání podloží nebude schopno nahradit kyselým deštěm a lesnickým hospodařením (viz druhý díl seriálu) nevratně vymyté a odnesené bazické kationty z iontově-výmenného komplexu půd. Povodí tak zůstane kyselé, pH se do r. 2030 zvýší jen nepatrně a vysoké koncentrace hlíniku se proto udrží na toxické úrovni.

Regionální přehled

Povodí Lysina leží v oblasti, kde se setkávají všechny podmínky pro úspěšnou acidifikaci ekosystému. Většina území ČR má ale relativně dobré předpoklady pro neutralizaci kyselého deště, takže se zde jeho vliv na povrchové vody neprojevil tak silně jako třeba ve Skandinávii. Přesto i v ČR jsou místa, kde neutralizační kapacita půd nestačila a povrchové vody jsou okyseleny. Jde zejména o horské oblasti, kde je vysoká kyselá zátěž, půdy jsou méně mocné a podloží tvoří špatně zvětrávající kyselé horniny. Jmenovat můžeme oblasti Krušných hor, Jizerských hor, Krkonoš,

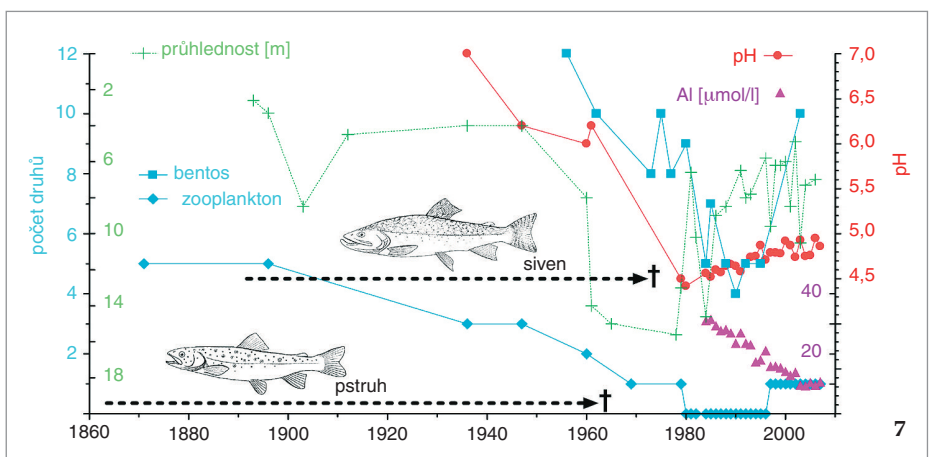
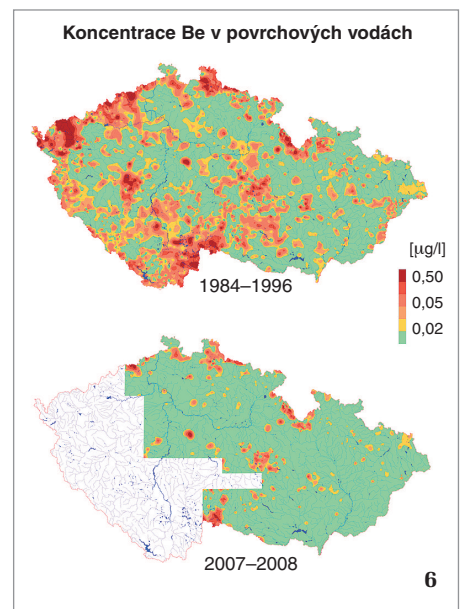
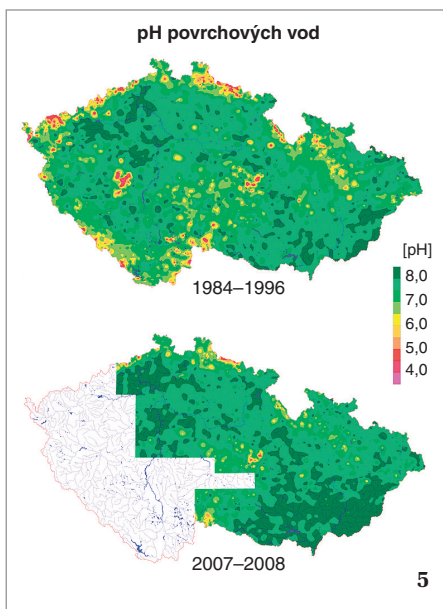
Orlických hor, Jeseníků, vrcholové části Ždárských vrchů, Brd, Šumavy, Českého a Slavkovského lesa (obr. 5). Zde bylo na přelomu 80. a 90. let 20. stol. za nízkých vodních stavů (kdy se mapování provádělo) pH nižší než 6,5, což znamená, že při vyšších stavech pH klesalo pod hodnotu 5,5. Při této hodnotě se již do vody dostává významné množství toxického hliníku z půd. Nízké pH bylo naměřeno i v Třeboňské pánvi – zde jsou ale zdrojem kyselosti přírodní huminové kyseliny tvořící se v rašeliništích. Podobně i ve vrcholových částech Šumavy je kyselost kombinací vlivu přirozených huminových kyselin a antropogenního okyselení.

Mapování prováděné v současné době ukazuje viditelný posun k vyšším hodnotám pH a tedy snížení kyselosti prakticky ve všech postižených oblastech (obr. 5). Odsíření elektráren tedy má plošně pozitivní efekt. V současnosti se na dosud zmapovaném území výrazněji okyselené oblasti vyskytují ještě v Krkonoších a ve Ždárských vrších (zde k přirozené kyselosti vod přispívá výskyt rašelinišť). Značně ustoupilo okyselení Jeseníků, Orlických a Jizerských hor. U těchto horstev ale byl ústup podpořen úhynem či odtěžením lesa, následným poklesem suché depozice síry a dusíku a tím pádem lepší regenerací půd a vod. Může to být ale jev pouze dočasný (viz dále).

Jako další příklad regenerace vod z okyselení může sloužit porovnání koncentrací berylia (obr. 6). Berylium (Be) je prvek, který se do povrchových vod uvolňuje (podobně jako hliník) s rostoucí kyselostí půd a vod. Nemá mnoho zdrojů antropogenní kontaminace, a jeho koncentrace tak velmi dobře vypovídají o acidifikaci území. Jde o potenciální mutagen, a je proto ze zdravotního hlediska poměrně zásadním prvkem, i když jeho toxicita se stále zkoumá. Pokles koncentrací na území České republiky je značný (obr. 6), ale místa jeho nejvyšších koncentrací dosud nebyla znovu vzorkována.

Hliníková toxicita

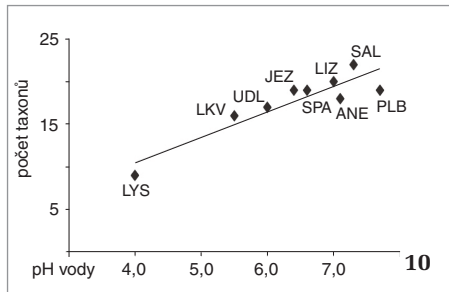
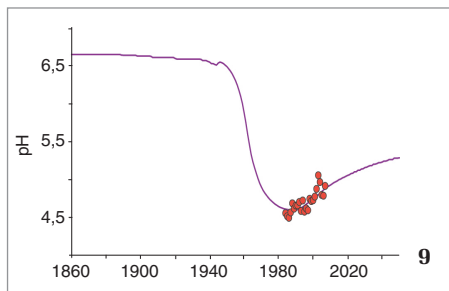
Stejně jako je hliník toxický pro kořenové systémy a poškozují lesy, je ještě toxičtější pro ryby a jiné vodní živočichy a rostliny. Hliník ryby hubí především tím, že se na žábrech, kde je fyziologicky vyšší pH v porovnání s okolní kyselou vodou, sráží z rozpuštěné formy na nerozpustný hydroxid hlinitý. Ryby se v podstatě udusí kvůli suspenzi hydroxidu hlinitého, která jim zalepí žábry. Hliník jako buněčný jed také ničí jikry nakladené na dně jezer a potoků. Různé druhy ryb nejsou k této toxicitě stejně odolné. Mezi velmi citlivé patří losos, pstruh a kaprovité ryby. Poměrně odolný je okoun a nejodolnější je siven americký (*Salvelinus fontinalis*, obr. na 3. str. obálky), který dokáže žít i v dost kyselých vodách (až pH = 4,8). V ČR okyselení vod vyhubilo ryby či značně snížilo množství druhů a početnost dalších vodních organismů (bentosu, zooplanktonu) v šumavských jezerech a v mnoha potocích a nádržích dalších českých hor. Přestože vrchol poškození z 80. let je za námi, některé oblasti jsou stále okyselené a u některých dokonce bude pravděpodobně následovat další kolo okyselování.



Černé jezero

Nejznámější jsou šumavská jezera, kde jsou k dispozici údaje již z 19. stol. Z r. 1871 pocházejí data o pěti druzích perlooček a klanonožců v Černém jezeře a o výskytu pstruha obecného potočního (*Salmo trutta m. fario*). Do 50. let 20. stol. klesl počet těchto nápadných druhů zooplanktonu na tři a pH vody se snížilo z hodnot

okolo 6–7 v 30. letech na cca 6 v 50. a začátkem 60. let 20. stol. (obr. 7). Z r. 1970 je evidován už jen jeden druh a během 60. let zmizel z jezera pstruh obecný. Na přelomu 70. a 80. let zcela mizí ze zooplanktonu jezera korýši (přežívali jen ojedinelí acidotolerantní vířníci) a pH klesá na velmi nízkou hodnotu 4,4. Ve vodě se vyskytuje koncentrace hliníku toxická pro



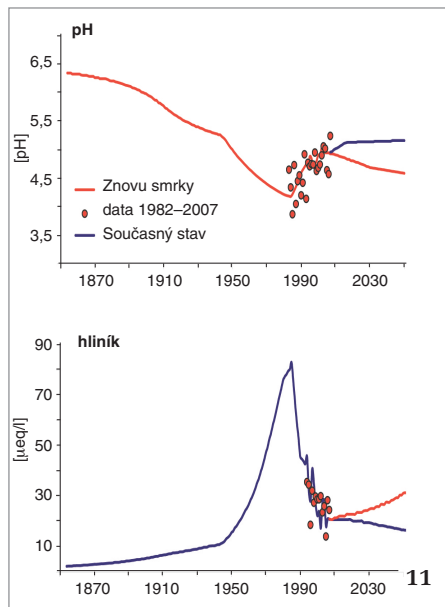
9 Hodnoty pH Černého jezera simulované modelem MAGIC pro období 1860–2050, měřená data pocházejí z let 1984–2007. Orig. V. Majer

10 Vztah mezi množstvím taxonů makrozoobentosu a pH vody na 9 povodích sítě GEOMON. Zkratky značí jednotlivá povodí. Orig. E. Traister a P. Krám

11 Hodnoty pH a koncentrace hliníku z povodí Černé Nisy v Jizerských horách simulované pomocí modelu MAGIC. Scénář s názvem Současný stav představuje ponechání povodí nezalesněné, scénář Znovu smrky uvažuje růst nové smrkové monokultury. Měřená data z let 1983–2007 (pH) a 1994–2007 (hliník). Orig. J. Hruška

všechny ryby, zooplankton a blokuje rozmnožování šídlatky jezerní (*Isoetes lacustris*, obr. 1). Vysazení siven americký mizí v průběhu 70. let. V jezeře je vysoká průhlednost vody (až 16 m), protože je zde méně fytoplanktonu (řas). V této době vrcholí okyselení, stejně jako depozice síry a dusíku.

V jezerní vodě se měří sírany a dusičnany již od 30. let 20. stol. a jejich koncentrace dosahuje maxima v první polovině 80. let. Od té doby poměrně strmě klesají, ale pH roste jen mírně (z hodnoty 4,4 na 4,8 během 20 let). Jak roste pH, snižuje se i obsah hliníku ve vodě (obr. 7). Zatímco atmosférická depozice síry je dnes na úrovni 40. let 20. stol., pH jezerní vody zdaleka nedosahuje hodnot z této doby. Voda je mnohem kyselější a odpovídá zhruba situaci v polovině 70. let. Až koncem 90. let se v zooplanktonu objevuje opět jeden druh perloočky a na počátku nového tisíciletí se zvyšuje množství druhů bentosu (v obr. 7 jsou sice uvedeny jen pošvatky a jepice, protože o dalších skupinách chybějí starší údaje, ale hojní jsou dnes opět chrostiči a vážky – obr. 8). Regenerace se stejně jako v případě půd velmi zpochybňuje vyčerpáním zásoby bazických kationtů v půdách a poklesem jejich depozice. Pozvolná regenerace Černého i ostatních šumavských jezer bude trvat ještě několik desetiletí, a v tuto chvíli je nezodpověditelnou otázkou, zda někdy dospějí do stavu, v jakém se nacházela do



první poloviny 20. stol. Modelové výpočty ukazují, že by pH Černého jezera mohlo stoupat zhruba na 5,3 v r. 2050 (obr. 9), zatímco pH vody před acidifikací bylo vyšší než 6.

Jizerské hory

Poněkud jinak probíhalo okyselení a následná regenerace potoků v Jizerských horách, jak si ukážeme na příkladu Černé Nisy. Zde také došlo kvůli vysoké depozici síry a dusíku k okyselení půd a poté i povrchových vod, které vedlo k vyhynutí ryb (obr. 11) následkem vysokých koncentrací hliníku. Zároveň tu v 80. letech 20. stol. masivně odumřel smrkový les v důsledku acidifikace půd. Podobně jako v případě povodí Lysina i Černého jezera se Černá Nisa pozvolna okyselovala od 19. stol. kvůli rostoucí depozici síry z blízkých zdrojů v českých a polských uhelných pánvích. V 50. letech, kdy pH potoka kleslo na hodnoty mezi 5,5–5,0, je doloženo vymizení pstruhů z potoka a přehrady Bedřichov napájené Černou Nisou. Několik pokusů o znovuvysazení ryb během 60. a 70. let byly neúspěšné. Atmosférická depozice síry a dusíku roste, potочní pH se snižuje a koncentrace hliníku roste až do poloviny 80. let, kdy došlo k rychlému úhynu či vytěžení smrkového lesa na většině rozlohy povodí. Tehdy se radikálně snížila atmosférická depozice, protože zmizela složka suché depozice zprostředkovaná jehlicemi smrků. Od té chvíle v potoce roste pH a koncentrace síranů a hliníku klesají (obr. 11). V r. 1992 jsou do potoka po čtyřech desetiletích úspěšně vysazeni siveni američtí, jejichž populace se zde množí. Pokus o reintrodukcii pstruha obecného se ale nezdařil, voda je stále příliš kyselá a obsahuje pro pstruha toxické množství hliníku.

Zatímco regenerace šumavských jezer bude zřejmě postupně pokračovat, u Černé Nisy to zdaleka není jisté. Hlavní příčinou zlepšení bylo rychlé snížení depozice síry po úhynu smrků v povodí. Pokud by tyto části zůstaly nezalesněné, mohla by obnova pokračovat (obr. 11, Současný stav). Pokud ale mladé smrky na holinách úspěšně porostou, opět vzroste suchá depozice síry a dusíku a smrky budou spotřebovávat

mnoho bazických kationtů z půd a ty budou chybět k neutralizaci aniontů silných kyselin z depozice. Spotřeba bází je maximální zhruba ve 40 letech stáří lesa. Dosavadní regenerace se tak může obrátit k nové acidifikaci (obr. 11, Znovu smrky). Ta zřejmě nedosáhne intenzity z druhé poloviny 20. stol., ale pro populaci ryb to může mít v průběhu asi 20 let fatální důsledky – voda se opět okyselí tak, že v ní ryby nebudou moci žít. Podobný průběh obnovy zaznamenaly potoky v celé odlesněné oblasti Jizerských hor a všechny budou čelit podobným problémům, protože holiny byly zalesněny prakticky pouze smrkem.

Makrozoobentos

Že okyselení způsobuje ztrátu biodiverzity potoků, potvrzuje i průzkum makrozoobentosu z malých povodí GEOMON (viz první díl seriálu). Na 9 povodích, od silně acidifikovaných s nízkým pH až po ty s velmi odolným podložím, a tedy vysokým pH, bylo určeno celkem 30 čeledí makrozoobentosu. Byla zjištěna výrazná závislost na kyselosti vody v jednotlivých povodích. Nejnižší biodiverzita byla podle očekávání v nejkyselějších vodách (obr. 10), kdy v povodí Lysina bylo zjištěno jen 9 taxonů. Nejvíce taxonů (22) se vyskytovalo v neutrálním pH okolo 7 (povodí Salačova Lhota na Českomoravské vrchovině). V nejkyselějších vodách nebyly zaznamenány jepice. Kyselé potoky se vyznačovaly nejvyšším zastoupením pošvatek. Naopak druhové složení v neutrálních vodách charakterizovala přítomnost citlivých taxonů. Např. značná hustota populací brouků byla pozorována jen v potocích s neutrálním pH.

Závěr

Kyselá depozice způsobila v druhé polovině 20. stol. velké problémy zejména horským ekosystémům. Ve střední Evropě byly postiženy především lesy, ale i povrchové vody byly fatálně poškozeny zhruba na 10 % území ČR. Po odsíření velkých zdrojů znečištění v 90. letech 20. stol. se poškození ekosystémů plošně snížilo, ovšem na mnoha místech problémy přetrvávají a zřejmě zůstanou i v budoucnu. Kyselý déšť ztratil na intenzitě, ale i dnešní úroveň udrží některé oblasti ve stadiu chronické kyselosti po mnoho dalších desetiletí. Vliv depozice dusíku bude velkým problémem i v budoucnu, protože omezení emisí ze zemědělství a dopravy je technicky obtížné a navíc společensky problematické. Velkou roli v budoucím okyselení hraje také způsob lesnického hospodaření. Tam, kde se pěstují smrkové monokultury na citlivých stanovištích (byť často původně pro smrky vhodných), můžeme očekávat problémy i v budoucnu, a to jak s chemickým složením půd, tak i povrchových vod.

Kolektiv spoluautorů: Vladimír Majer, Pavel Krám, Filip Oulehle, Jiří Kopáček, Jaroslav Vrba, Daniela Fottová.

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