

VZTAH JAKOSTI PODZEMNÍCH VOD A LESNÍHO POKRYVU V OBLASTECH S VYSOKOU ATMOSFÉRICKOU DEPOZICÍ – PŘÍKLAD KRUŠNÝCH HOR

Jedním z nejvýznamnějších indikátorů kvality ovzduší je zdravotní stav lesa. Problémy kyselé atmosférické depozice ve střední Evropě se dostaly do povědomí nejširší veřejnosti teprve v polovině osmdesátých let 20. století, kdy v důsledku acidifikace vymřely stovky hektarů lesa. Tato ekologická katastrofa však zasáhla všechny oblasti životního prostředí, významným způsobem i hydrosféru. Nejprve se acidifikace negativně projevila na jakosti povrchových vod a s určitým zpožděním i na degradaci kvality vod podzemních. Odlesnění a následná rekultivace zasažených ploch novými druhy lesa byla s jakostí odtékačících vod v úzké souvislosti. Z výsledků na malých experimentálních povodích vyplynul fakt, že přítomnost lesa, především pak jehličnatého, může jakost podzemních vod v oblastech postižených kyselou atmosférickou depozicí zhoršovat. Tyto výsledky se však až doposud opíraly jen o závěry detailních studií, disponujících sice velmi přesnými informacemi, nejčastěji ale jen z velmi omezené plochy rádově několika hektarů. Jaká je úloha lesa v procesu acidifikace podzemních vod v regionálním měřítku? Je les obětí, nebo jednou z příčin okyselování vod? To byly otázky, na které se hledala odpověď v jedné z nejvíce postižených oblastí Evropy – v Krušných horách.

Vývoj lesního pokryvu v Krušných horách

Vegetační pokryv Krušných hor prodělal za posledních sto let radikální změny. Původní horský les, představovaný směsí evropského buku, stříbrného a norského smrků, s malým podílem břízy, buku a javoru, byl postupně v devatenáctém století nahrazován rychle rostoucím norským smrkem. Tento druh smrku se stal až do padesátých let dvacátého století naprostě dominantním typem vegetace Krušných hor. První indicie poškození se projevily již ve dvacátých letech minulého století, ve větším měřítku se problémy se zdravotním stavem smrků objevily na přelomu čtyřicátých a padesátých let. Skutečná ekologická katastrofa zasahující prakticky celý pás vrcholových partií Krušných hor vypukla až v roce 1978. Odtěžené plochy se postupně rekultivovaly. Nový náhradní les měl za úkol rychle stabilizovat strmé svahy a zabránit tak půdní erozi. Hledaly se především druhy odolnější proti acidifikaci než norský smrk. Pozitivním jevem, výrazně se projevujícím na jakosti povrchových a podzemních vod, byl pokles podílu jehličnatých stromů na celkové skladbě lesa. Tím klesala suchá atmosférická depozice.

Výsledky

Analýza dat získaných na 28 malých experimentálních povodích prokázala v období posledních čtyřiceti let významné změny životního prostředí Krušných hor. Studium kvalitativních změn podzemní vody bylo založeno na sledování vývoje koncentrací hydrouhličitanů, jejichž pokles je jednoznačnou indičí snížení pufrovací schopnosti horninového prostředí. Z dat jasně vyplynula obecně známá úzká závislost mezi poklesem alkalinitu a snižováním pH. Pokles pH pak následně zvyšuje rozpustnost hliníku a berylia. Jako další kritérium byly použity koncentrace dusičnanů – sledovaná povodí byla vždy bez jakékoli zemědělské aktivity, a proto jsou zvýšené obsahy dusičnanů způsobeny výhradně jen atmosférickou depozicí.

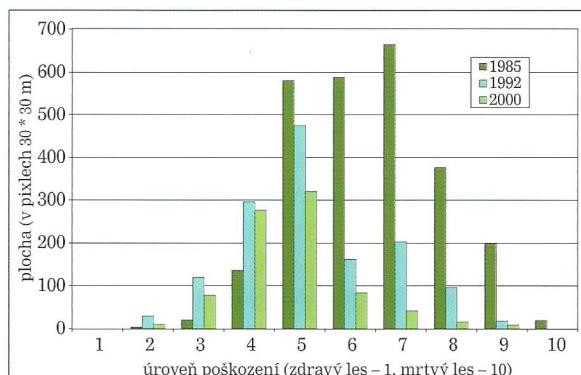
Výsledky dokládají u celé řady pramenů silný stupeň acidifikace. V osmdesátých letech byla alkalinita na řadě pramenů téměř nulová. Měření pH v tomto období sice nebylo prováděno, ale na základě analogie s výsledky z let 2000–2002 lze předpokládat, že se hodnota pH na těchto pramenech blížila čtyřem. Údaje o koncentracích hliníku jsou k dispozici až z 90. let: jeho průměrná koncentrace na

nejvíce acidifikovaných pramenech ($\text{HCO}_3^- < 1 \text{ mg.l}^{-1}$) byla $0,9 \text{ mg.l}^{-1}$. I přes výrazný pokles atmosférické depozice na konci 90. let dvacátého století změna kvality podzemních vod není tak markantní, jak by se dalo očekávat, a podzemní vody si zachovávají kyselý charakter i na počátku nového tisíciletí. Ve srovnání s osmdesátými lety minulého století obsahy HCO_3^- v letech 2000–2002 mírně stoupaly na průměrnou hodnotu 15 mg.l^{-1} , nicméně na řadě pramenů přetrvávají vysoké koncentrace jak hliníku, tak i berylia.

Hlavním důvodem této skutečnosti může být druhotný zdroj síry, který se za desítky let působení atmosférické depozice akumuloval v půdním horizontu a dnes je vyplavován. Dá se proto očekávat, že návrat jakosti podzemních vod do stavu odpovídajícího tzv. přirozenému stavu bude trvat ještě dlouhou dobu.

Lesní pokryv Krušných hor byl v nejhorším stavu v osmdesátých letech. Jako typická ukázka může posloužit vývoj na povodí č. 28 (obr. 1).

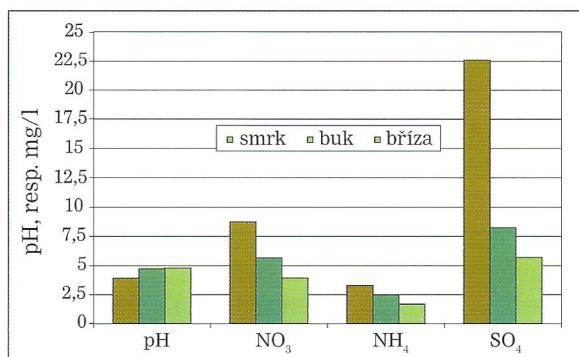
V roce 1985 představoval na tomto povodí smrkový porost 27 % z celkové plochy povodí $1,39 \text{ km}^2$ a průměrná hodnota poškození byla 6,12. V průběhu následujících let se postupně mrtvý a těžce postřížený les kácel a i přesto, že docházelo k postupné obnově, plocha lesa klesala, v roce 1992 na 19 %, resp. na 12 % v roce 2000. Obnova lesa sice přinesla výrazné zlepšení zdravotního stavu, přesto jeho stav stále ještě není optimální. Průměrná hodnota poškození lesa se na tomto povodí ustálila na 4,76 v roce 1992, resp. na 4,47 v roce 2000. V druhé polovině devadesátých let však lze



Obr. 1. Ukázka vývoje zdravotního stavu smrkového porostu na povodí č. 28 za období 1985–2000

na řadě povodí pozorovat negativní trend opětovného postupného zhoršování zdravotního stavu lesa. Tento stav sice není tak kritický, jako byl v osmdesátých letech, nicméně je to varovný signál, že životní prostředí se ještě zdaleka nevrátilo do normálního stavu. Příčiny tohoto stavu můžeme mimo jiné hledat mezi výše zmíněným pomalým návratem jakosti podzemních vod k normálnímu stavu a současně v pokračujícím nárůstu depozice dusíku, postupně nahrazujícím úspěšně odstraněnou depozici síry.

V následující etapě prací byly výsledky rozboru vývoje zdravotního stavu lesa na jednotlivých experimentálních povodích porovnány s hydrochemickými údaji. Pozornost byla nejprve obecně zaměřena na posouzení pouhé přítomnosti lesa na jakost podzemních vod. Především jehličnatý les má velkou schopnost zachycovat suchou atmosférickou depozici, která tvoří v Krušných horách více než 2/3 depozice celkové. Tuto teorii dokládají výsledky monitoringu podkorunových srážek na povodí Jezeří z roku 2001 (obr. 2).

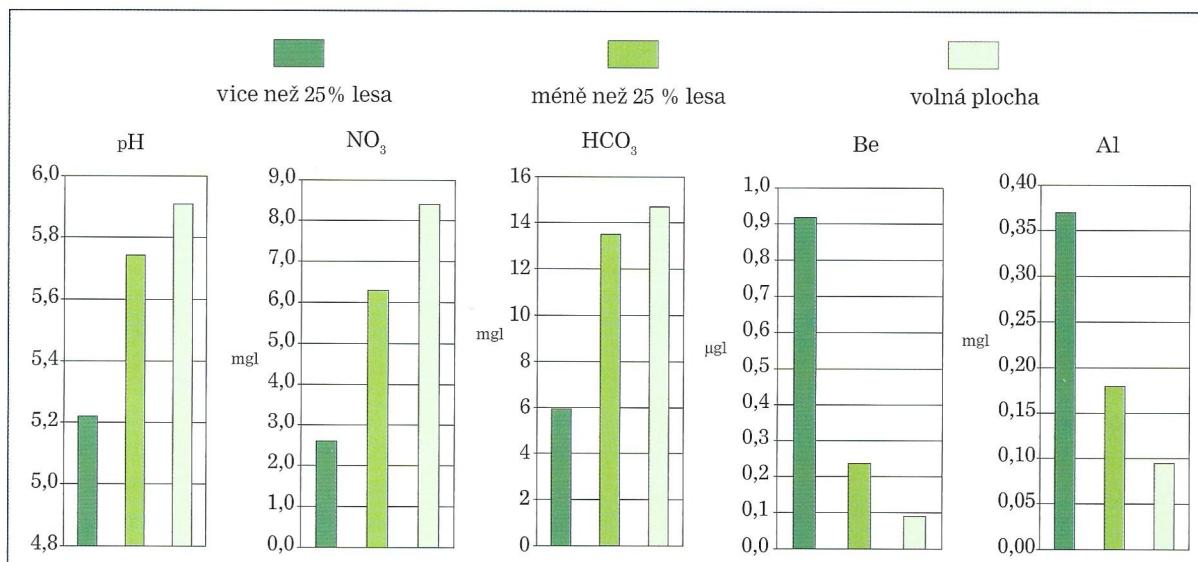


Obr. 2. Podkorunové srážky měřené v roce 2001 na povodí Jezeří pod různými typy lesního pokryvu

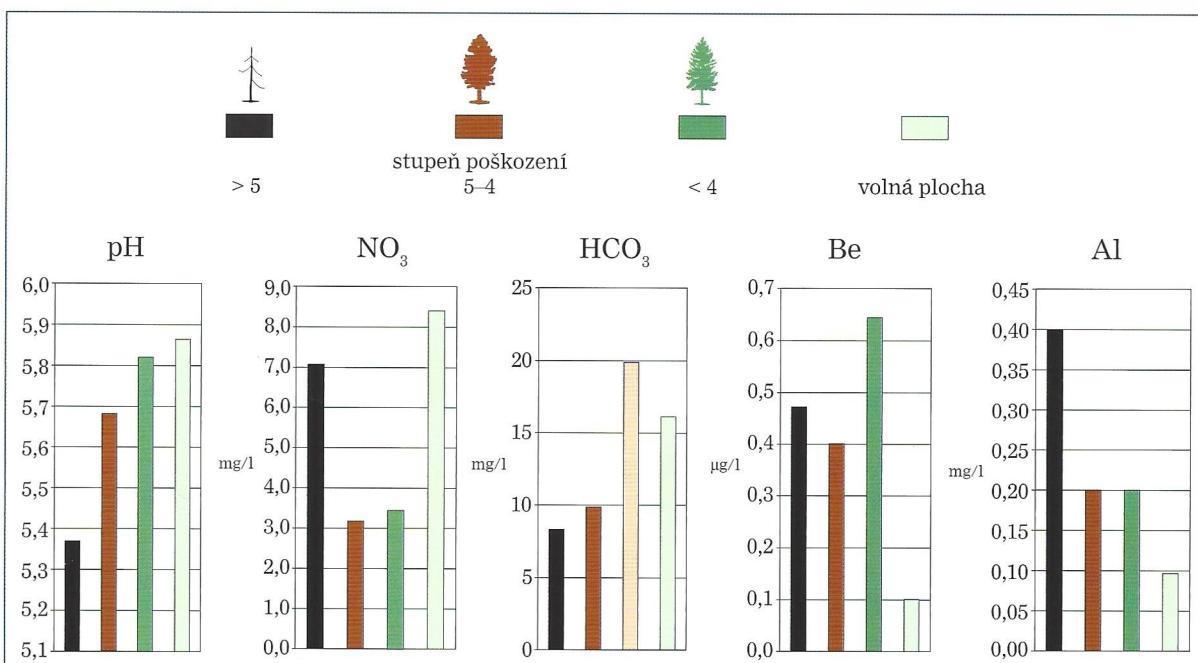
Přítomnost lesa je proto většinou považována za jeden z významných faktorů urychlujících acidifikaci. Výsledky zpracování tento předpoklad potvrdily i v regionálním pohledu: zalesněná povodí měla pH téměř o jeden řad nižší než travnaté plochy, současně měla tato povodí i nižší obsahy HCO_3^- a výrazně vyšší koncentrace hliníku a berylia (obr. 3). Zdánlivě nelogicky se chovají obsahy dusičnanů – přítomnost hustého vegetačního pokryvu by měla zvyšovat účinnost suché atmosférick-

ké depozice, která ve formě aerosolů a prachových částic představuje dominantní podíl celkové depozice Krušných hor. Ve skutečnosti jsou však obsahy NO_3^- v podzemní vodě v zalesněných částech povodí nižší než na loukách. Příčinou této skutečnosti je spotřeba dusičnanů jako hnojiva, stimulující růst vegetace.

Dalším krokem bylo zodpovězení otázky týkající se souvislosti jakosti podzemních vod, resp. stupně acidifikace se zdravotním stavem lesa. Princip této analýzy byl podobný jako v předchozím případě – tentokrát byla sledována jakost podzemních vod v povodích s různou kvalitou lesa. Tři z použitých indikátorů acidifikace podzemních vod jasně prokázaly



Obr. 3. Závislost průměrných hodnot hlavních indikátorů acidifikace podzemních vod na přítomnosti lesa na 28 sledovaných povodích



Obr. 4. Závislost průměrných hodnot hlavních indikátorů acidifikace podzemních vod na zdravotním stavu lesa na 28 sledovaných povodích

úzkou vazbu na zdravotní stav lesa. Povodí s lesem, kde převládal nižší stupeň poškození než 4, měla pH podzemní vody o půl řádu vyšší než v území s lesem s vyšším poškozením. Naopak povodí s poškozeným lesem měla zvýšené koncentrace hliníku a nízké hodnoty alkalinity (*obr. 4*).

Chování dusičnanů zapadá do výše zmíněného předpokladu spotřeby dusičnanů z atmosférické depozice jako hnojiva. Pouze lesní pokryv, který je v relativně dobrém zdravotním stavu, je schopen dopady atmosférického dusíku eliminovat. Dusičnany se proto ve zvýšených koncentracích objevují jen na volné ploše bez vegetace nebo v prostoru s těžce poškozeným lesem. Pouze výsledky berylia nepodporovaly teorii přímé vazby mezi jeho výskytem a zdravotním stavem lesa – v jeho případě byly zvýšené hodnoty zaznamenány i v povodí se zdravým porostem. Otázkou je, zda jsou koncentrace berylia okolo $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ již tak vysoké, aby byly pro vegetaci fatálně nebezpečné.

Závěr

Provedená analýza prokázala v prostředí s vysokou atmosférickou depozicí úzkou vazbu mezi lesním vegetačním pokryvem a jakostí

podzemních vod. Je zřejmé, že ovlivnění bude jak ve směru les→voda, tak i voda→les.

Přítomnost lesa zhoršuje jakost podzemních vod: vzrostlý jehličnatý les má do té míry velkou schopnost zachycovat suchou atmosférickou depozici, že se významně podílí na zvyšování acidifikace životního prostředí. Odtěžení lesa se proto projevilo zlepšením jakosti podzemních vod. Pozitivní roli hraje les pouze v případě dusíku, kdy je schopen do značné míry využít dusičnany v podzemních vodách jako hnojivo.

Naopak povodí s podzemními vodami s vysokým stupněm acidifikace mají lesní pokryv ve velmi špatném stavu: tam, kde podzemní vody měly obsahy hliníku okolo 1 mg.l^{-1} , pH nižší než 4,5 a byly charakteristické absencí HCO_3^- , byl průměrný stupeň poškození vyšší než 5. kategorie.

Z dosažených výsledků není jasné chování berylia. Jeho koncentrace jednoznačně stoupají s klesajícím pH, nicméně zvýšené obsahy tohoto toxickeho prvku v podzemních vodách se projevovaly i ve zdravých lesních povodích. Je možné, že koncentrace okolo $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ sice indikuje nárůst acidifikace, nemusí však ještě mít negativní dopad na zdravotní stav lesa.

Kontakt:

doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i,
Podbabská 30, 160 00 Praha 6, tel.: 220 197 463, e-mail: hrkal@vuv.cz