

Retence antropogenní síry v půdách: faktor bránící okyselení šumavských povrchových vod

Retention of human-induced sulphur in soils: a factor preventing acidification in surface water of Bohemian Forest

Jakub Hruška & Vladimír Majer

Český geologický ústav, Klárov 3, CZ -118 21 Praha 1, Česká republika

Abstract

Bohemian Forest is a mountain region with the lowest concentration of human-induced sulphates within the Czech Republic (typically 2–5 mg/l). This is because of a large pool of sulphate adsorption capacity of soil developed on the metamorphic rocks which underlay central part of these mountains. Although acidic deposition is similar to that in other parts of the Czech Republic, more than 70% of atmospheric sulphates are retained within the soils; they do not affect the surface waters (pH usually > 6, except areas of glacier lakes). In other Czech mountain regions which are underlain by igneous rocks, the sulphate adsorption capacity is depleted and sulphates from deposition acidify surface waters (Jizerské hory Mts., Slavkovský les Mts.). Because of the lacking information about the dynamic of sulphate adsorption into the Šumava's soils, we are unable to predict the future of the anthropogenic acidification of surface water in this region.

Key words: acidification, sulphate adsorption capacity, surface waters, biogeochemical budget

Úvod

Kyselý déšť poškozuje povrchové vody prakticky ve všech horských oblastech České republiky. Nejvýznamnější složkou kyselého deště je kyselina sírová (H_2SO_4), která vzniká v atmosféře oxidací oxidu siřičitého (SO_2), jehož původ je ve spalování sirnatého hnědého uhlí. Kyselý déšť se šíří atmosferickou cirkulací na dlouhé vzdálenosti a ovlivňuje tak i místa vzdálená stovky kilometrů od zdrojů SO_2 .

Kyselý déšť proniká do půd, poškozuje půdní prostředí a vyčerpává neutralizační kapacitu půd a hornin. Po jejím vyčerpání kyselina sírová začne rozpouštět z půdního prostředí toxické kovy, zejména hliník, kadmium a berylium, které pronikají do povrchových vod a tvoří toxické prostředí pro mnoho živočichů, zejména ryb. Antropogenně okyselené povrchové vody se vyznačují nízkým pH, vysokým poměrem $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}$ a vysokými koncentracemi toxických prvků rozpuštěných kyselou vodou z půdního a horninového prostředí (Obr. 1–4).

Schopnost různých oblastí různou měrou odolávat kyselé depozici je dána souhrnem klimatických, geologických, geografických vlastností daného území a druhem lesních porostů. Určit stupeň odolnosti obvykle není možné bez podrobnějšího průzkumu zájmové oblasti.

Síranová adsorpční kapacita

Jednou z nejdůležitějších vlastností, která může dlouhodobě oddálit účinek kyselých dešťů

na povrchové vody, je schopnost některých půd adsorbovat velké množství síranů na povrchu půdních částic. Nejvyšší síranovou adsorpční kapacitu mají oxidy železa a hliníku vzniklé při pedogenezi oxidací původní matečné horniny (Cosby & al. 1986).

SO₄²⁻ z atmosférické depozice se navážou na jejich povrch a nepostupují dále do podzemních a povrchových vod, dokud se adsorpční kapacita nevyčerpá. Po tuto dobu nemohou adsorbované SO₄²⁻ způsobit antropogenní okyselení povrchových vod.

Nejvyšší síranové adsorpční kapacity mají půdy vyvinuté na metamorfovaných horninách (např. pararuly a migmatity), nejnižší naopak půdy na vyvěřelých kyselých horninách (žuly). Zadržení síranů v půdách tedy může být velmi krátké, řádově měsíce, může však trvat i mnoho desetiletí (Cosby & al. 1986).

Bilanční model malých povodí

Zjistit, je-li tato kapacita vyčerpána, lze pomocí bilance vstupu a výstupu síranů v ekosystému. Nejpoužívanějším modelem pro výpočty těchto bilancí je malé povodí (ČERNÝ 1992). V povodí platí, že veškerá voda, která do území vstoupila může (mimo odparu a dýchání rostlin v povodí) odtékat jen jedním místem, takzvaným závěrem povodí. Jedná se obvykle o potok, který povodí odvodňuje.

Vstup chemických sloučenin a prvků do povodí je tvořen atmosférickou depozicí, která je dobře měřitelná odběrem srážkových vod. Výstup z povodí je reprezentován odtokem povrchové vody. Při znalosti množství srážek, množství vody odtoklé povrchovým odtokem a chemického složení obou, můžeme sestavit hydrogeochemickou bilanci sledovaného území. Ta udává, kolik kterých chemických látek do území vstoupilo a kolik jich území opustilo. Jedná se o absolutní hodnoty, které se většinou vztahují na plošnou jednotku a čas (látkové toky se obvykle udávají v kg na hektar za rok – kg/ha/rok), nikoliv na jednotku objemu jako koncentrace. Jejich výhodou, na rozdíl od koncentrací, je, že můžeme sledovat, které prvky a sloučeniny mají v povodí zdroj (odtok je vyšší než vstup), které se v povodí zadržují (vstup je vyšší než výstup), nebo které mají konzervativní chování (vstup je roven výstupu).

Tento model aplikujeme nyní na antropogenní síru. Pokud je sorpční kapacita půd vyčerpána, je vstup atmosférou do ekosystému zhruba roven jeho výstupu a povrchové vody jsou obvykle okyselené antropogenní H₂SO₄. Vody mají nižší pH a obsahují vyšší koncentrace toxických prvků mobilizovaných nízkým pH z půdního prostředí.

Pokud je vstup vyšší než výstup, dochází k sorpci síranů v půdách a povrchové vody nemají výrazně snížené pH.

V tabulce 1 jsou uvedeny příklady takových bilancí. Je zde lokalita s vysokou sorpční ka-

Tabulka 1. Bilance vstupů a výstupů síranů v ekosystémech různých oblastí ČR. Jednotky kg SO₄²⁻/ha/rok.

Lokalita	Vstup síranů atmosférickou depozicí	Výstup síranů povrchovým odtokem	Retence síranů v půdách	pH vody	SO ₄ mg/l	Geologické podloží
1. Šumava – Povydí	100*	27	+73 (+ 73 %)	6.3	2.6	pararuly a migmatity
2. Jizerské hory Povodí Uhlířská	120	140	- 20 (-17 %)	5.3	16.4	granity
3. Slavkovský les povodí Lysina	81	87	- 6 (- 7 %)	3.99	22.5	granity

* odhadnuto podle Hlavatý (1992)

pacitou (povodí Vydry na Šumavě) a dvě s nízkou kapacitou – povodí Lysina ve Slavkovském lese (HRUŠKA & KRÁM 1994) a povodí Uhlířská v Jizerských horách (HRUŠKA & al. 1995). Povodí s vysokou kapacitou je na pararulách a migmatitech, tedy metamorfovaných horninách, povodí s nízkou kapacitou jsou na žule.

Odlíšnost Šumavy od ostatních pohoří

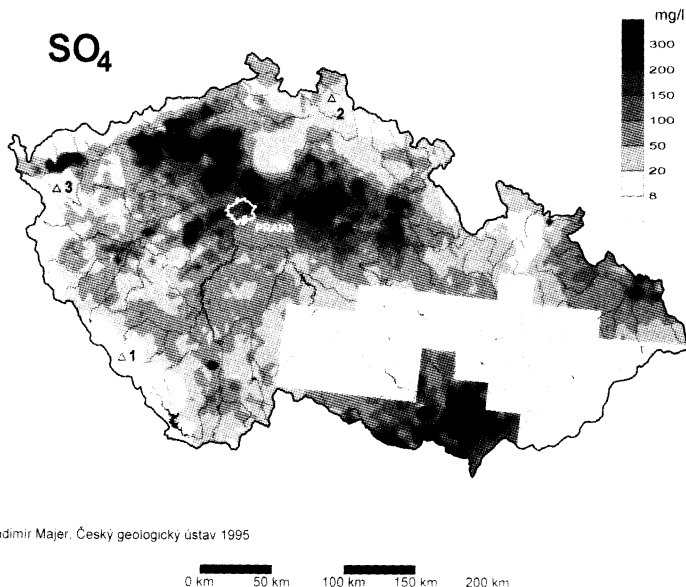
Z tabulky 1 a obrázku 1 jasně vyplývá, že koncentrace SO_4^{2-} v povrchových vodách Šumavy jsou nejnižší na celém území ČR (obr.1, tabulka 1.). Mapy na obrázcích 1 a 4 jsou výsledkem regionálního mapování geochemie povrchových vod, které je prováděno Českým geologickým ústavem (MAJER & al. 1992, 1993, 1994, 1995).

Atmosférická depozice síry v oblasti není o mnoho nižší než v jiných pohoří (tabulka 1). Naopak výstup síranů z ekosystému, tedy množství v povrchových vodách, je velmi nízké a většina síranů je adsorbována v půdách vytvořených na šumavských migmatitech a pararulách.

Ve většině ostatních horských oblastí tvořených vyvěřelými horninami, především žulami (Jizerské hory, Slavkovský les) je relativně nízká sorpční kapacita půd vyčerpána a v těchto oblastech jsou povrchové vody do různé míry poškozeny acidifikací.

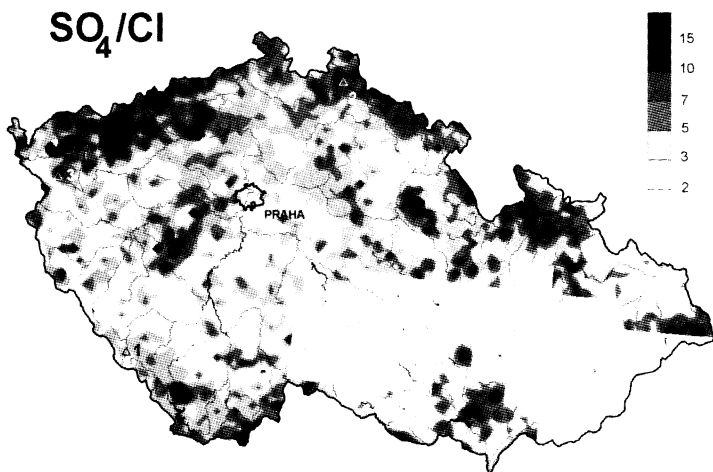
Vysoké koncentrace SO_4^{2-} v oblastech nížin (obr.1) jsou dány složením horninového podloží, příp. způsobeny jiným druhem lidské činnosti: Používáním průmyslových hnojiv a odpadními vodami z domácností a průmyslových provozů. Tato množství výrazně překrývají množství síranů z atmosférické depozice. V horských oblastech, ve kterých se antropogenní acidifikace nejvíce projevuje, je ale dominujícím zdrojem síry atmosférická depozice.

Lépe než absolutní koncentrace SO_4^{2-} tento stav vystihuje relativní koncentrace SO_4^{2-} (MAJER & al. 1994). Jedná se o poměr mezi celkovou koncentrací SO_4^{2-} a Cl^- (obr. 2). Hlavním

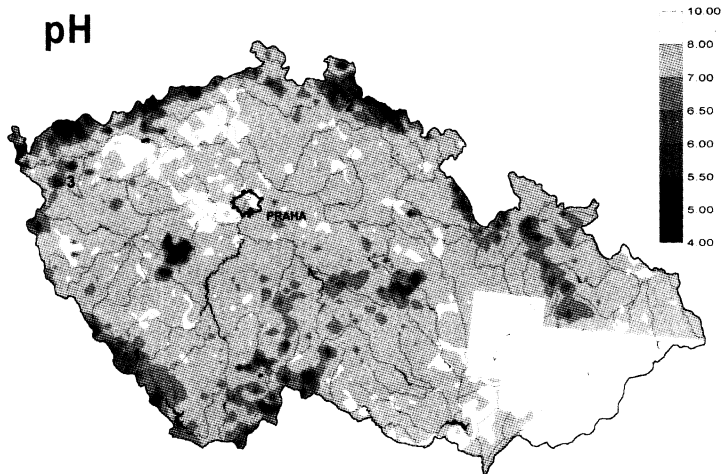


© Vladimír Majer, Český geologický ústav 1995

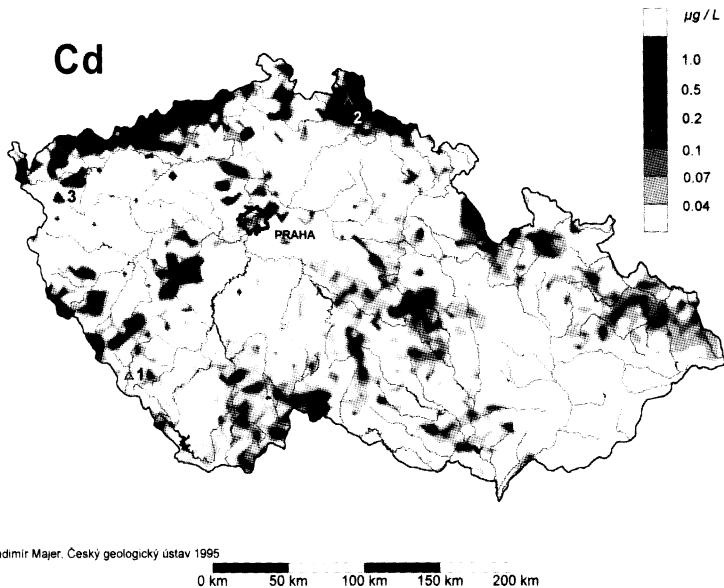
Obr. 1. – Koncentrace síranů v povrchových vodách na území ČR. 1. Šumava – Povydrň, 2. Jizerské hory – povodí Uhlířská, 3. Slavkovský Les – povodí Lysina. Bílá, ostře ohraničená místa v jihovýchodní části ČR jsou území, kde mapování dosud nebylo dokončeno.



Obr. 2. – Poměr koncentrací SO₄²⁻ ku koncentraci Cl⁻ v povrchových vodách na území ČR. 1. Šumava -Povydří, 2. Jizerské hory – povodí Uhlířská, 3. Slavkovský Les – povodí Lysina. Bílá, ostře ohraničená místa v jihovýchodní části ČR jsou území, kde mapování dosud nebylo dokončeno.



Obr. 3. – pH povrchových vod na území ČR. 1. Šumava – Povydří, 2. Jizerské hory – povodí Uhlířská, 3. Slavkovský Les – povodí Lysina. Bílá, ostře ohraničená místa v jihovýchodní části ČR jsou území, kde mapování dosud nebylo dokončeno.



Obr. 4. – Koncentrace kadmia v povrchových vodách na území ČR. 1. Šumava – Povydí, 2. Jizerské hory – povodí Uhlířská, 3. Slavkovský Les – povodí Lysina. Bílá, ostře ohraničená místa v jihovýchodní části ČR jsou území, kde mapování dosud nebylo dokončeno.

zdrojem chloridů v povrchových vodách horských oblastí jsou srážky. Do nich se chloridy ve formě aerosolu dostávají při tvorbě mraků nad mořem. Antropogenní zdroje Cl⁻, na rozdíl od SO₄²⁻, nejsou pro koncentrace ve srážkách významné. Naopak významným zdrojem Cl⁻ ve znečištěných oblastech, stejně jako u SO₄²⁻, jsou zemědělská výroba a odpadní vody z průmyslu a domácností. Proto tam, kde obě složky mají stejný původ, je jejich poměr malý (většina hustěji obydlených území), zatímco v horských oblastech je tento poměr většinou výrazně zvýšený. Tento poměr proto výborně vykreslí místa, kde je vysoká antropogenní acidifikace povrchových vod. Na obr. 2. jsou tímto poměrem zviditelněna téměř všechna česká horstva, vyjma Šumavy, kde je díky adsorpci SO₄²⁻ v půdách tento poměr nízký.

V horách se zvýšení koncentrace síranů projevuje sníženým pH (obr 3). Zatímco Vydra má průměrné pH 6,3, povodí Lysina ve Slavkovském lese má průměrné pH = 3,99 a povodí Uhlířská 5,3. V povodí Vydry je pH navíc ovlivněno vyššími koncentracemi huminových kyselin a fulvokyselin z rozsáhlých rašelinišť Modravska, které Vydra odvodňuje. Tyto organické kyseliny přírodního původu obvykle přispívají ke snižování pH vod (HRUŠKA 1994). Proto je oblast Modravska na mapě pH (obr. 3) mírně tmavší. Tento jev je ale přírodního původu a nelze ho považovat za antropogenní okyselení.

Nízké pH mobilizuje z půd některé toxické kovy. Na obr. 4 jsou uvedeny jako případ koncentrace kadmia. Ve Vydře (pH=6,3) je koncentrace zhruba 0,05 µg/l, zatímco v extrémně antropogenně okyselených vodách Slavkovského lesa (pH okolo 4) a Jizerských hor (pH=5,3) je to 0,2 a 0,5 µg/l, tedy 5–10x více.

Vyšší koncentrace huminových kyselin a fulvokyselin obvykle ke zvýšení mobilizace kovů z půd nevedou. Tento trend je dobře pozorovatelný při porovnání obrázků 1 a 2 s obrázkem 4. Tam, kde jsou v horách vody okyseleny antropogenní sírou (Krušné hory, Jizerské hory), jsou koncentrace Cd mnohem vyšší než v oblasti Šumavy. Výjimku na Šumavě tvoří oblasti

ledovcových jezer, která jsou vzhledem k extrémní poloze a morfologii povodí (jezerní kary neobsahují prakticky žádné půdy) již antropogenně okyselena.

Podobné příklady bychom našli u hliníku a berylia. Efekt zvýšených koncentrací hliníku se výrazně projevuje například na rybách. Zatímco Vydra (průměrná koncentrace Al = 0,1 mg/l) je zarybněna pstruhem potočným – *Salmo trutta* a vrankou obecnou – *Cottus gobio* (BUFKA L. – osobní sdělení), potok povodí Lysina s průměrnou koncentrací Al = 1,6–1,8 mg/l (HRUŠKA & KRÁM 1994) je zcela bez ryb. Tato koncentrace Al asi 6x překračuje maximálně únosnou koncentraci (ROSSELAND 1990) pro nejodolnější rybu, za kterou je pokládán siven americký – *Salvelinus fontinalis*.

Závěr

Většina povrchových vod Šumavy je dnes chráněna před acidifikací velkou adsorpcí síranů v půdách. Adsorpční kapacita půd ještě není vyčerpána a proto jsou koncentrace SO_4^{2-} ve vodách velmi nízké a vody nejsou antropogenně okyselené, přestože atmosférická depozice síry v oblasti Šumavy není výrazně odlišná od ostatních oblastí republiky (HLAVATÝ 1992). Pokud dojde k vyčerpání síranové adsorpční kapacity půd, dojde i na Šumavě ke stejnému okyselení povrchových vod jako v Krušných a Jizerských horách, či ve Slavkovském lese. Počátek tohoto trendu lze zaznamenat ve všech šumavských ledovcových jezerech, která jsou, díky své extrémní geologické a klimatické poloze a malému množství půd v povodích jezer, acidifikována antropogenní sírou a dusíkem již dlouhá desetiletí (VESELÝ & MAJER 1992, VESELÝ, tento sborník). Celková geologická a klimatická situace jezer je ovšem výrazně odlišná od okolního reliéfu Šumavy.

Ledovcové kary, které tvoří povodí jezer, mají extrémně nízkou mocnost půd. Jedná se většinou o regolit pokrytý surovým humusem a tato půdní troska nemá prakticky žádnou síranovou adsorpční kapacitu na rozdíl od většinou plochého reliéfu vrcholových partií Šumavy, kde jsou minerální půdy dostatečně mocné. Proto v jezerních karech pronikly sírany z atmosféry do vod jezer a výrazně je okyselily.

Z hlediska celého pohoří nelze odhadnout, kdy bude vyčerpána síranová adsorpční kapacita, protože nejsou k dispozici detailnější analýzy šumavských půd z hlediska adsorpce SO_4^{2-} .

Poděkování. Za pomoc při odběru vzorků děkují autoři Josefu Veselému z Českého geologického ústavu. Práce na povodí Lysina ve Slavkovském lese probíhaly v rámci grantu Grantové agentury ČR 205/93/0725.

Literatura

- COSBY B.J., HORNBERGER G.M., WRIGHT R.F. & GALLOWAY J.N., 1986: Modelling the effects of acid deposition: control of long-term sulphate dynamics by soil sulphate adsorption. *Water Resources Research*, Vol. 22, No 8:1283–1291.
- ČERNÝ J., 1992: Výzkum malých povodí. *Časopis pro mineralogii a geologii*, roč 37, 3: 243–251.
- HLAVATÝ T., 1992: Stanovení celkové atmosférické depozice ekologicky významných prvků do povodí Černého a Čertova jezera. *Diplomová práce, VŠCHT, Fakulta technologie ochrany prostředí, Praha*.
- HRUŠKA J. & KRÁM P., 1994: Aluminium chemistry of the root zone of forest soil affected by acid deposition at the Lysina catchment, Czech Republic. *Ecological Engineering* 3: 5–16.
- HRUŠKA J., FOTTOVÁ D., BUBENÍČKOVÁ L. & KŘEČEK J., 1995: Acidification research in Jizerské hory Mts. In Černý J. & Pačes T. (eds.): *Acidification in the Black Triangle Region. Excursion guide, Acid Reign '95?, 5th International Conference on Acidic Deposition Science and Policy*. Czech Geological Survey, Prague, pp. 23–33.

- HRUŠKA J., 1994: Podíl přírodních organických kyselin na kyselosti povrchových vod rašelinných oblastí postižených antropogenní acidifikací. *Kandidátská disertační práce, Český geologický ústav, 1994.*
- MAJER V., SÁŇKA V. & VESELÝ J., 1994: Geochemistry of fresh waters on the map 02 Ústí nad Labem, Czech Republic. *Věstník Českého geologického ústavu* 62, 1: 13–21.
- MAJER V., SÁŇKA V. & VESELÝ J., 1992: Geochemie povrchových vod na území listu 21 – Klatovy. *Zpráva Českého geologického ústavu, Praha.*
- MAJER V., SÁŇKA V. & VESELÝ J., 1993: Geochemie povrchových vod na území listu 22 – Strakonice. *Zpráva Českého geologického ústavu, Praha.*
- MAJER V., SÁŇKA V. & VESELÝ J., 1994: Geochemie povrchových vod na území listu 32 – České Budějovice. *Českého Zpráva geologického ústavu, Praha.*
- MAJER V., SÁŇKA V. & VESELÝ J., 1995: Geochemie povrchových vod na územích listů 01 – Vejprty a 11 – Karlovy Vary. *Zpráva Českého geologického ústavu, Praha.*
- ROSSELAND B.O., ELDHUSET T.D. & STAURNES M., 1990: Environmental effects of aluminium. *Environmental Geochemistry and Health* 12 (1–2): 17–27.
- VESELÝ J. & MAJER V., 1992: The major importance of nitrate increase for the acidification of two lakes in Bohemia. In Mosello R., Wathne B.M. & Giussani G. (eds.): *Limnology on groups of remote lakes: ongoing and planned activities. Documenta Ist. ital. Idrobiol.*, 32: 83–92.