

jsme porovnávali zjištěný metan se zdrojovým uhlím, aby-chom určili rozsah uvolňování z daného zdroje. Hodnoty izotopového složení  $\delta^{13}\text{C}$  se pohybují od  $-20\text{‰}$  (hnědé uhlí) po  $-75\text{‰}$  (biogenní plyn z černého uhlí, viz tab. 1). Množství a izotopové složení je ovlivněno oxidací (snižuje emise) a difuzí (mění izotopové složení plynu, a tím i genetické souvislosti). Hlavním zdrojem emisí je těžba v hornoslezské pánvi (Bužek - Franců - Boháček 1999) se dvěma typy metanu: termogenním plynem s hodnotou  $\delta^{13}\text{C}$  okolo  $-40\text{‰}$ , a biogenním plynem s hodnotami od  $-55$  do  $-75\text{‰}$ , který převládá v měřených povrchových únicích. Největší zdroj emisí představují tedy stará důlní díla. V rámci projektu byla vyvinuta nová metoda k vyhodnocení rozsahu ztrát původně adsorbovaných uhelných plynů. Metoda byla ověřena na známých ložiscích uhelných plynů v USA. Výsledky projektu umožní upřesnit bilanci metanových emisí v ČR a lépe charakterizovat plynová uhelná ložiska s ohledem na teplotní a tlakový vývoj pánví v minulosti.

Výsledky řešení lze charakterizovat po třech liniích:

1) Chemické a izotopové složení CBM plynů, 2) izotopové složení antropogenních zdrojů metanových emisí ve vztahu k hornické činnosti a těžba uhlíkovodíků v ČR, a 3) geologické, geochemické a fyzikální faktory ovlivňující emise CBM plynů.

Výsledky studia chemického a izotopového složení většiny CBM plynů v ČR reprezentuje první datový soubor týkající se tohoto subjektu u nás. Soubor výsledků, jenž je k dispozici v závěrečné zprávě projektu (HOLUB - BUŽEK - CLAYTON - RICE 1999), může být základem pro další výzkum. Koncentrace a izotopové složení uhlíku z metanových emisí jsou připojeny v tab. 1.

Zjištěná data o izotopovém složení metanových emisí usnadňují odhad podílu lokálních zdrojů k celkovému atmosférickému metanu (navýšení nad základní hodnotou, která činí zhruba 1,6 ppm). Odhad může být zpřesněn z izotopové bilance vycházející z měření jednotlivých vzorků atmosférických plynů v dané lokalitě.

Na vznik plynů z uhlí, odvozených z metanových emisí, spoluúspobí následující faktory: uhelná geologie a geoche-

Tab. 1. Koncentrace a izotopové složení uhlíku z metanových emisí.

vzorek	lokalita	$\delta^{13}\text{C-CH}_4\text{ (‰)}$	konzentrace ppm
potrubní plyn		-51	$10^5$ - $10^6$
černé uhlí	Ostrava	od -40 do -75	$10^5$ - $10^6$
	Důl Kladno - větrací jáma	-21,5	$10^3$
	Mšeno - studna	-19	$10^3$
hnědé uhlí	Most - Důl Čs. Armády	-20,5	$10^3$ - $10^4$
rašelina	Boží Dar	od -35 do -55	$10^2$
	Jelení	-49,4	$10^2$
	Nové Hrady	-54	$10^2$

mie, termální vývoj pánve, typ dolu, těžební metoda a stáří dolu. Izotopické složení plynů umožňuje blíže charakterizovat zdroje emisí. Pro specifikaci izotopového složení plynů bylo nutno studovat fyzikálně-chemické procesy (separační účinky difuze, adsorpce, desorpce) a oxidaci metanu. Vyvinutá metoda termální desorpce reziduálních uhelných plynů poskytuje navíc i informaci o struktuře uhlí a jeho kvalitativních parametrech, jakož i o tlakové teplotních podmínkách matečné sedimentační pánve.

## Literatura

- BUŽEK, F. - FRANCŮ, J. - BOHÁČEK, Z. (1999): Geochemistry of coal-bed methane in the Upper Silesian Basin, Czech Republic. – Proc. Of 19th Int. Meeting of Organic Geochemistry, Istanbul. PC 30, 517-518.  
 BUŽEK, F. - HOLUB, V. - BOHÁČEK, Z. - FRANCŮ, J. (1999): Carbon isotope composition of methane emissions in the Czech Republic - preliminary results. – Bull. Czech. Geol. Survey 74, 191-196.  
 CLAYTON, J. L. (1988): Geochemistry of coalbed gas - A review. – Int. J. of Coal Geol. 35, 159-173.  
 HOLUB, V. - BUŽEK, F. - CLAYTON, J. L. - RICE, D. (1999): Carbon Isotopic Composition and Flux of Coalbed Methane between the Geosphere and Atmosphere. – Final Report of the Czechoslovak - U. S. Science and Technology Program Project No 94 027. Archiv ČGÚ Praha.

## VÝVOJ LÁTKOVÝCH TOKŮ SÍRY A DUSÍKU V SÍTI MALÝCH POVODÍ GEOMON

### Development of mass element fluxes in Geomon network of small catchments

DANIELA FOTTOVÁ

Český geologický ústav, Klárov 3/131, 118 21 Praha 1

**Key words:** Catchment, Network, Bulk deposition, Throughfall, Sulphur

**Abstract:** Six years (1994 - 1999) of hydrological and chemical data from GEOMON network of fourteen small forest catchments are now available. The data were acquired by an uniform sampling and analytical methodology. Bulk deposition, throughfall deposition and runoff of ecologically important components were measured on a monthly basis. This contribution is focused especially on

the development in sulphur deposition and nitrogen fluxes. Significant decrease of sulphur deposition due to desulphurization was recorded in a large part of the territory of the Czech Republic. However, in the northern part of the country (Orlické hory Mts.) deposition via throughfall is still high. This fact resulted in a new episode of forests die-back in this area in 1998 possibly similar to that in the Krušné hory Mts. in 1996. Emissions from Poland are the most probable cause. In contrast, deposition of nitrate nitrogen has not decreased since 1994. Regional decrease resulting

from reduction of emissions from large industrial sources was replaced by increasing traffic. The most apparent difference between the catchments is in runoff of nitrate nitrogen. Runoff from the catchments with damaged forests was very high because they have lost their ability to take up nitrogen as a nutrient, whereas in relatively healthy forests it was markedly lower.

Síť malých povodí GEOMON, zaměřená na monitoring látkových toků a koordinovaná Českým geologickým ústavem, je v současné formě provozována od roku 1994. Projekt byl do roku 1998 financován z programu PPŽP MŽP, tedy grantovým způsobem, v roce 1999 pak formou navýšení institucionálních prostředků. Tuto formu financování dlouhodobých projektů doporučila Rada monitoringu. Ve čtrnácti malých lesních povodích se jednotnou odběrovou i analytickou metodikou pořizují v měsíčním intervalu (průtoky kontinuálně) vstupní údaje pro výpočet látkových toků ekologicky významných složek (FOTTOVÁ 1998, FOTTOVÁ a kol. 1999). Jedná se o celosvětově uznávaný způsob hodnocení stavu a vývoje přírodního prostředí. Prostředkem k takovému hodnocení je výpočet základních bilancí, tzn. vstupů a výstupů složek, v přirozených jednotkách biosféry reprezentovaných malým povodím. Vstup do povodí představuje depozice srážkami na volné ploše (pro většinu složek) a podkorunovými srážkami (pro síru a vodíkové ionty). Jako výstup z povodí je uvažován povrchový odtok. S využitím dat o látkových tocích lze vypočítat

kritické zátěže síry, dusíku a těžkých kovů (kadmium, olovo a měď) a jejich případné překročení, což je nový směr v hodnocení znečišťování přírodního prostředí zohledňující jeho kapacitní možnosti dané do značné míry i vlastnostmi geologického podloží. Velikost překročení kritické zátěže skutečnou atmosférickou depozicí poukazuje na riziko poškození prostředí.

V současné době je sledováno 14 povodí rozmištěných na území České republiky tak, že postihují různé krajinné typy, různou úroveň regionální imisní zátěže a tedy i různý stupeň degradace lesů. Většina povodí je v chráněných oblastech, jejich výběr se řídí požadavky hydrologické definovanosti, relativní geologické homogenity a absence lokálního antropogenního znečištění. Základní charakteristiky jsou v tab. 1.

Povodí jsou vybavena stejnými odběrovými zařízeními a vzorky se analyzují v jedné laboratoři, což zaručuje vzájemnou srovnatelnost pořizovaných dat. V akreditované laboratoři ČGÚ, která se úspěšně účastní mezinárodních meziklaboratorních testů, se provádí následující stanovení: Na, K, Mg, Ca, Cl, F, N, S, Mn, Al, As, Cd, Cu, Pb, pH, vodivost, alkalita. Na projektu spolupracuje Český hydrometeorologický ústav a jeho pobočky, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti a jeho pobočky, Geologický ústav AV ČR. Z Českého geologického ústavu se na projektu podílí Jakub Hruška a Pavel Kráml (zpracování dat z povodí Lysina a Pluhův bor), Eva Přechová (zpracování

Tabulka 1. Základní charakteristiky povodí sítě GEONOM.

Povodí	Plocha	Nadmořská výška	Srážky průměr (1994–1999)	Geologické podloží (převažující typ)	Půda (převažující typ)	pH povrchové vody (průměr 1997–1999)	Alkalita (průměr 1997–1999)
	km <sup>2</sup>	m n. m.	mm				mmol/l
Uhlířská UHL Jizerské hory	1,87	780–870	1231	žula krkonošsko-jizerský masiv	rezivá půda podzol	4,81	9,8
Modrý potok MOD Krkonoše	2,62	1010–1554	1666	muskovitický svor krkonošsko-jizerské krystalinum	podzol	5,62	43,9
U dvou louček UDL Orlické hory	0,33	880–950	1308	dvojslídna rula orlicko-kladské krystalinum	rezivá půda podzol	4,76	-8,4
Červík CER Beskydy	1,85	640–961	1155	flyš-istebniánské pískovce slezská jednotka	hnědá půda silně kyselá	6,67	116,2
Jezeří JEZ Krušné hory	2,61	475–924	814	dvojslídna rula krušnohorské krystalinum	hnědá půda silně kyselá	5,45	103,3
Lysina LYS Slavkovský les	0,27	829–949	934	leukokrátní žula kynžvartský masiv	rezivá půda	4,02	-107,7
Pluhův bor PLB Slavkovský les	0,22	690–804	934	serpentinit mariánskolázeňský masiv	hnědá půda silně kyselá	7,09	600,3
Na lizu LIZ Šumava	0,99	828–1024	905	silliman.-biotit. pararula moldanubické krystalinum	hnědá půda silně kyselá	6,54	150,8
Spálenec SPA Šumava	0,53	795–858	816	granulitová rula křišťanovský granulit. masiv	hnědá půda silně kyselá	6,18	118,4
Anenský potok GEM Českomoravská vrchovina	0,27	480–540	644	silliman.-biotit. pararula české moldanubikum	hnědá půda kyselá	6,93	352,3
Salačova Lhota SAL Českomoravská vrchovina	1,68	557–744	572	silliman.-biotit. pararula české moldanubikum	hnědá půda silně kyselá a oglejená	7,20	374,2
Lesní potok LES region Prahy-Říčansko	0,70	400–495	613	biotit. žula říčan. a jevan. středočeský pluton	hnědá půda kyselá	5,07	10,7
Polemka POM Železné hory	0,69	512–640	695	migmatit-ortorula, pararula železnohorský pluton	hnědá půda silně kyselá a sil. oglej.	6,40	124,0
Loukov LKV Českomoravská vrchovina	0,43	472–658	715	dvojslídna žula melechovský masiv	hnědá půda kys. a silně kyselá	5,04	-0,1

Tabulka 2. Roční úhrn podkorunové depozice síry v letech 1994–1999. J

<b>UHL</b> Jizerské hory	srážky	podkorunová depozice	<b>LIZ</b> Šumava	srážky	podkorunová depozice
1994	1171	70,7	1994	911	9,0
1995	1370	72,6	1995	1142	12,1
1996	1231	48,5	1996	986	18,8
1997	1265	64,9	1997	825	11,8
1998	1222	55,0	1998	827	8,8
1999	1133	34,1	1999	739	9,5
<b>MOD</b> Krkonoše	srážky	podkorunová depozice	<b>SPA</b> Šumava	srážky	podkorunová depozice
1994	1620	35,7	1994	705	13,2
1995	1837	49,5	1995	1041	21,4
1996	1492	26,7	1996	924	26,4
1997	1714	17,7	1997	736	13,1
1998	1810	20,4	1998	791	10,2
1999	1486	15,2	1999	697	7,1
<b>UDL</b> Orlické hory	srážky	podkorunová depozice	<b>GEM</b> Českomor. vrch.	srážky	podkorunová depozice
1994	1333	82,5	1994	607	18,4
1995	1565	69,9	1995	798	20,8
1996	1188	62,0	1996	607	23,7
1997	1312	49,6	1997	638	18,3
1998	1116	91,1	1998	660	15,8
1999	1285	68,8	1999	549	10,3
<b>CER</b> Beskydy	srážky	podkorunová depozice	<b>SAL</b> Českomor. vrch.	srážky	podkorunová depozice
1994	1137	30,0	1994	571	21,3
1995	1037	22,6	1995	688	25,8
1996	1244	34,2	1996	589	40,1
1997	1269	25,5	1997	489	20,2
1998	1249	22,0	1998	583	19,5
1999	993	22,4	1999	514	14,1
<b>JEZ</b> Krušné hory	srážky	podkorunová depozice	<b>LES</b> region Prahy	srážky	podkorunová depozice
1994	982	66,7	1994	637	27,3
1995	1059	62,7	1995	771	27,9
1996	951	86,7	1996	593	25,5
1997	705	60,3	1997	621	20,5
1998	618	35,7	1998	598	17,8
1999	568	27,2	1999	454	10,4
<b>LYS</b> Slavkovský les	srážky	podkorunová depozice	<b>POM</b> Železné hory	srážky	podkorunová depozice
1994	992	31,6	1994	—	—
1995	1154	30,4	1995	749	30,9
1996	827	31,1	1996	658	48,7
1997	685	21,9	1997	847	37,4
1998	1022	18,2	1998	652	46,4
1999	906	12,2	1999	516	22,9
<b>PLB</b> Slavkovský les	srážky	podkorunová depozice	<b>LKV</b> Českomor. vrch.	srážky	podkorunová depozice
1994	992	25,7	1994	—	—
1995	1154	23,1	1995	954	25,8
1996	827	18,4	1996	636	27,2
1997	685	15,1	1997	659	24,1
1998	1022	10,3	1998	625	19,9
1999	906	7,0	1999	664	13,4

jednotky: podkorunová depozice kg S-SO<sub>4</sub>/ha/rok  
srážky mm (roční úhrna)

analytických dat) a pracovníci akreditované laboratoře. Pořizování dat z povodí Jezeří a Salačova Lhota bylo v roce 1999 financováno z úkolů 6611 a 6623 (vedoucí doc. T. Pačes, data zpracovala E. Pačesová). Pozorovatelská činnost je zajišťována formou služeb.

Databáze v současné době obsahuje šest ročních souborů z let 1994 až 1999 s následující strukturou:

- měsíční údaje o koncentracích složek ve srážkách na volné ploše, v podkorunových srážkách a v odtoku z povodí
- příslušné hydrologické údaje – srážkové úhrny obou typů srážek a denní průtoky
- vypočtené toky složek (vstup do povodí a výstup z povodí) v kg/ha/rok a bilance, tj. vstup minus výstup, která vypovídá o výsledné akumulaci (+) či vyplavování (-) dané složky
- vypočtené kritické zátěže pro síru, dusík a těžké kovy (kadmium, měď, olovo)
- hodnoty překročení kritických zátěží aktuální depozicí

Významné závěry se týkají zejména vývoje depozic síry ve formě síranů. Na základě dosud získaných dat lze konstatovat, že vysoká depozice síry podkorunovými srážkami zahrnujícími i suchou depozici ( $\text{SO}_2$ ) byla zjištěna v Orlických horách a od roku 1994 zde přetrvává. V roce 1998 bylo zjištěno extrémních 91,1 kg S/ha/rok v podkorunové depozici v povodí U dvou louček UDL. S uvedenou hodnotou pravděpodobně souvisí nová vlna odumírání lesů v této oblasti. V roce 1999, jak dokládají nejnovější údaje, nadále v tomto povodí přetrvává relativně vysoká depozice – 68,8 kg S/ha/rok. Odpovídající hodnota depozice srážkami na volné ploše v roce 1999 byla 17,1 kg S/ha/rok. I zde se jedná o nejvyšší hodnotu v celé síti povodí i při zohlednění vysokých srážkových úhrnů. Rozdíl mezi depozicí na volné ploše a pod korunami stromů dokládá vysoký podíl suché depozice dané záhytem oxidu siřičitého vegetací. Jehličnaté stromy v důsledku velké celkové plochy jehličí a jeho neopadávání vykazují vysoké podkorunové depozice. Listnaté stromy zachycují suchou plynoucí depozici podstatně méně efektivně a výsledkem jsou hodnoty depozic podstatně nižší než ve smrkových porostech. Srovnávací údaje depozic pod jehličnatými a listnatými stromy jsou zatím k dispozici ve dvou povodích s výraznějším zastoupením listnatců, v povodí Jezeří JEZ v Krušných horách a v povodí Lesní potok LES u Říčan. V krušnohorském povodí byla v roce 1999 zjištěna depozice síry na volné ploše 6,8 kg, v bukovém porostu 10,8 kg a v jehličnatém 27,2 kg S/ha/rok. Uvedené údaje opravňují názor o nevhodnosti smrkových monokultur a potřebě vyššího zastoupení listnatých stromů pro snížení vstupu síry. V povodí U dvou

louček v Orlických horách s převahou smrků bylo sledování podkorunové depozice v listnatém porostu zahájeno na konci roku 1999 v souvislosti se zvýšeným zájmem o tuto oblast.

Roční údaje o podkorunových depozicích síry v jehličnatých porostech v celé síti uvedené v tabulce 2 dokládají účinnost odsířovacího programu zahájeného v roce 1997. Nejmarkantnější je změna v krušnohorském povodí Jezeří JEZ, kde bylo v roce 1996 dosaženo extrémní podkorunové depozice 86,7 kg S/ha/rok při poměrně nízkém úhrnu srážek. Tato hodnota byla zřejmě hlavní příčinou nové epizody odumírání stromů v Krušných horách. V letech 1998 až 1999 byl ale již zaznamenán pokles (na 27,2 kg S v roce 1999). Stejný trend vykazuje i povodí Lysina ve Slavkovském lese, kde byl zjištěn pokles z hodnot přes 30 kg S v letech 1994 až 1996 (v předchozích letech dosahovaly až 40 kg) na 12,2 kg v roce 1999. V povodí Polomka POM v Železných horách nastalo snížení podkorunové depozice až v roce 1999, což pravděpodobně souvisí s odsířením elektrárny Chvaletice ukončeným na konci roku 1998.

Navzdory možné představě, že snížení emisí mělo za následek celoplošný pokles depozic, výsledky projektu GEOMON ukázaly, že zejména v Orlických horách kritická situace vysokých depozic síry přetrvává. Mírné zlepšení bylo zjištěno v Jizerských horách. Situaci v Orlických horách lze pravděpodobně vysvětlit vlivem emisí z Polska.

Depozice dusičnanového dusíku v letech 1994–1999 na území ČR v zásadě stagnovala, snížení emisí z lokálních zdrojů je zřejmě kompenzováno nárůstem automobilové dopravy. Pokud bychom museli určit trend, byl by však spíše vzestupný. Odtok dusíku ve formě dusičnanů z povodí v podstatě funguje jako indikátor zdravotního stavu lesa. Poškozené lesy „imisních“ příhraničních oblastí severních a západních Čech ztratily schopnost odčerpávat dusík jako živinu a důsledkem byl vzrůst odtoku dusičnanů a dokonce změna bilance z kladné na zápornou. Odtoky dusíku se zde v letech 1994–1999 pohybovaly v rozmezí 8–16 kg N/ha/rok, přičemž jako orientační kritická hodnota se uvažuje odtok 3 kg N/ha/rok. V povodích Českomoravské vrchoviny a Šumavy s relativně zdravými stromy byl naopak zjištěn v celém sledovaném období odtok dusičnanového dusíku pod 1 kg N/ha/rok.

## Literatura

- FOTTOVÁ, D. a kol. (1998): Závěrečná zpráva projektu PPŽ/630/2/98.  
FOTTOVÁ, D. – SKOŘEPOVÁ, I. (1998): Changes in mass element fluxes and their importance for critical loads: GEOMON network, Czech Republic. – Water, Air, and Soil Pollution 105: 365–376.