

## DEPOZICE DUSÍKU V LESNÍCH POROSTECH A JEJICH VLIV NA OBSAH NITRÁTŮ V ODTÉKAJÍCÍ VODĚ A NA OKYSELOVÁNÍ PŮDY

### NITROGEN DEPOSITION IN THE FOREST STANDS AND THE EFFECT ON NITRATE AMOUNT IN RUNOFF WATER AND ON SOIL ACIDIFICATION

ZDENĚK VÍCHA - VÁCLAV LOCHMAN - MILAN BÍBA

*Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.*

#### ABSTRACT

In the contribution, development of nitrogen compounds fallout and losses within the research plots of the Forestry and Game Management Research Institute are described, from the mid-1990s to 2007. In the Czech Republic, as well as in the whole Central Europe, the emissions of  $\text{NO}_x$  and  $\text{NH}_3$  have been reduced since the late 1980s. That resulted in a decrease of the fallout of nitrogen compounds, particularly of  $\text{NH}_4^+$ , mainly in the regions that suffered from exceptionally high levels of air pollution in the past. In regions of low air pollution load such as southern Bohemia, the fallout of total nitrogen has increased moderately in recent years. In the north-eastern part of the country, however, the watersheds exposed to airflow were still of higher nitrogen fallout, and, in runoff water, also of higher  $\text{NO}_3^-$  concentrations ( $< 5 \text{ mg.l}^{-1}$ ). After 2001, the decrease of the nitrogen fallout has remained questionable.

**Klíčová slova:** sloučeniny dusíku, depozice, emise, lesní povodí

**Key words:** nitrogen compounds, deposition, emission, air pollution, forest watershed

#### ÚVOD

Narůstající nasycení lesních ekosystémů dusíkem vlivem jeho vysokého spadu představuje evropský i světový problém příštích desetiletí, a to s ohledem na výživu lesních porostů a ochranu podzemních a povrchových vodních zdrojů před vysokou koncentrací nitrátů. Cílem tohoto příspěvku je porovnání vývoje dynamiky sloučenin dusíku na jednotlivých plochách (volné plochy a lesní porosty) v různých stanovištních a geografických podmínkách České republiky a zároveň jejich srovnání s vývojem v dalších evropských zemích.

FERRIER et al. (2001) uvádí, že největší emise oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) ve střední Evropě probíhaly mezi roky 1980 a 1990. Obdobný průběh měly i emise  $\text{NH}_3$ , ale s nižším poklesem a s nízkým nárůstem na přelomu tisíciletí (WRIGHT et al. 2001). V roce 1999 byla zástupci evropských vlád v Gothenburgu podepsána dohoda o snížení emisí  $\text{NO}_x$  o 41 % a  $\text{NH}_3$  o 17 % do roku 2010, oproti roku 1990 (FERRIER et al. 2001). V České republice docházelo k významnému poklesu emisí sloučenin dusíků v devadesátých letech minulého století, a to u  $\text{NO}_x$  z 858 000 t v roce 1988 na 318 000 t v roce 2002 a u  $\text{NH}_3$  z 156 000 t v roce 1990 na 77 000 t v roce 2002 (ČHMÚ 2000, 2003). Podstatně příznivější poměry existovaly v Rakousku, kde v letech 1980–2004 poklesly emise  $\text{NO}_x$  z 247 800 t na 22 700 t, ale od roku 1995 opět stoupaly. Emise amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) zůstávaly stejné, 63 700 t v roce 1980 a 63 800 t v roce 2004 (SCHMIDT, OBERSTEINER 2007). Vysokou emisí amoniaku v bývalé NDR uvádí MÖLLER, SCHIEFERDECKER (1990). V období let 1975–1989 vyprodukovalo zemědělství tohoto státu ročně 215 000 t  $\text{N/NH}_3$  (260 900 t  $\text{NH}_3$ ). Podle ISEMANNA (1990) mohlo zemědělství v západní a střední Evropě produkovat až 90 % emisí  $\text{NH}_3$ , přičemž asi

80 % zemědělské produkce amoniaku připadalo na živočišnou výrobu a jen asi 20 % na působení minerálního hnojení. Podle tohoto autora dosahovaly emise  $\text{N/NH}_3$  z chovu zvířat stejné výše jako emise  $\text{N/NH}_3$  z provozu motorových vozidel (před rokem 1990).

Vysoké uvolňování amoniaku do atmosféry působilo, že v bývalé NDR dosahovaly v blízkosti velkochovů zvířat jeho spady v borových porostech až  $150 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$  (HEINSDORF, KRAUSS 1991). Ze států sousedících s Českou republikou (ČR) byly zjištěny pravděpodobně nejnižší spady sloučenin dusíku v Rakousku. SCHMIDT, OBERSTEINER (2007) uvádějí, že v období let 1996–2005 dosahovaly průměrné roční spady na volné ploše na plochách ICP Forests (úroveň II) v Rakousku  $3,12 \text{ kg N/NO}_3$  a  $3,86 \text{ kg N/NH}_4$  na ha a pod korunami porostů  $4,53 \text{ kg N/NO}_3$  a  $4,09 \text{ kg N/NH}_4$  na ha. To jsou nižší depozice nitrátového a amonického N než v Německu, Beneluxu, Polsku a v severní Itálii.

#### MATERIÁL A METODIKA

Plošné hodnocení nasycení lesních ekosystémů dusíkem s ohledem na výživu lesních porostů a ochranu podmínek vod zjišťováním koncentrací  $\text{NO}_3^-$  v půdní vodě bylo uskutečněno v Holandsku (DE VRIES et al. 2000), Dánsku (CALLESEN et al. 1999) a Bavorsku (MELLERT et al. 2005a,b 2007). Sledování přítomnosti  $\text{NO}_3^-$  v půdní vodě lesů Dolního Saska popisuje HORVÁTH et al. (2009).

Na skutečnost, že vysoký spad dusíku do lesních ekosystémů vede k jejich nasycení tímto prvkem, dále k destabilizaci a v krajním pří-

padě i rozpadu celého porostu, upozorňoval již ABER et al. (1989). Poškození borových porostů v důsledku přesycení ekosystému dusíkem popisuje HEINSDORF, KRAUSS (1991) a HEINSDORF, BECK (2003). Podle ABERA et al. (1989) může vést přesycení dusíkem k narušení rovnováhy při výživě, ke snížení odolnosti vůči mrazu, ke změně poměrů výhonů a kořenů a ke zvýšení denitrifikace. HEINSDORF, KRAUSS (1991) a HEINSDORF, BECK (2003) uvádějí, že působení vysokého spadu  $N/NH_3$  z blízkých zdrojů způsobovalo zvýšení obsahu N v jehlicích borovice až na 3,5 % a disproporce ve výživě s dalšími prvky. Z empirických měření sestavený model ukazuje, že maximální přírůst probíhal při obsahu dusíku v jehličí mezi 1,8 až 2,3 %. Další zvyšování obsahu N vedlo ke snižování přírůstu a vysoké přesycení ekosystému N mělo vliv na snížení hladiny Mg v jehličí až na 0,4 %. BÜTTNER (1990) uvádí rozšíření poměru N:Ca, N:Mg a N:K, a to již v nadložním humusu. Vznikají tak disharmonické humusové formy, které jsou velmi kyselé, chudé basemi a s velkým obsahem N. Také DE VRIES et al. (2000) uvádí, že vysoká koncentrace  $NO_3^-$  v půdě může způsobit negativní změny v porostech a mít vliv na kvalitu podzemní vody. Kritický je molární poměr  $NH_4^+/Mg > 5$ , jenž způsobuje pokles příjmu basických kationů.

Vliv vysoké depozice N na vývoj ekosystému bukového lesa rostoucího na čedičovém substrátu popisuje EICHHORN et al. (1991). Studie se zaměřuje nejen na porost, ale i na přizemní vegetaci, na půdní prostředí, na bilanci dusíku a na problémy s obnovou porostu.

Pro hodnocení stupně nasycení lesních ekosystémů je měřítkem množství vymývaného  $N/NO_3^-$  v  $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ . Podle MELLERTA et al. (2005a, 2007) a HORVÁTHA et al. (2009) je možné považovat porosty, u kterých nedosahuje ztráta s odtokem vody  $5 kg N/NO_3^- \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ , za nenasycené dusíkem a porosty se ztrátou 5 až  $15 kg N/NO_3^- \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$  za nasycené dusíkem. Z ekosystémů nasycených na vysoké úrovni odtéká více než  $15 kg N/NO_3^- \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ .

Pro lesy v Bavorsku vyhodnotil výsledky průzkumu koncentrací nitrátů v půdní vodě mimo kořenovou zónu (v hloubce 60–100 cm) MELLERT et al. (2005b, 2007). Koncentrace  $2,5 mg NO_3^- \cdot l^{-1}$  jsou hranicí pro lesní ekosystémy s napjatým koloběhem N, ze kterých odtéká voda v dobré kvalitě. Do této skupiny patřila jedna třetina z 399 monitorovaných lesních porostů. 37 % porostů vykazovalo v půdní vodě koncentrace nitrátů mezi  $2,5$  a  $10,0 mg \cdot l^{-1}$ . Práh  $10,0 mg \cdot l^{-1}$  byl zohledněn dle požadavků německé normy obsahu  $NO_3^-$  ve vodě určené pro kojení a obsahu v minerální a stolní vodě. Překročení tohoto prahu je zřetelnou známkou pro nasycení ekosystému dusíkem. Překročení hranice  $10,0 mg NO_3^- \cdot l^{-1}$  bylo zjištěno asi u jedné třetiny zkoumaných porostů. Hraniční hodnotu nitrátů SRN pro pitnou vodu  $50 mg \cdot l^{-1}$  překračovalo 8 % porostů. Ve třetině zkoumaných porostů, kde nedosahovaly koncentrace nitrátů v odtékající vodě  $2,5 mg \cdot l^{-1}$ , probíhaly dlouholeté střední ztráty N do  $5 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$  (MELLERT et al. 2005b).

HORVÁTH et al. (2009) uvádí výsledky průzkumu obsahu  $NO_3^-/N$  v půdních vodách do hloubky 5 m, v porostech lesního úřadu Ahlhorn na severovýchodě Dolního Saska. Z nich pak byly vypočítávány ztráty dusíku z ekosystémů. Jen 13 % porostů bylo hodnoceno jako nenasycené ekosystémy se ztrátou  $N < 5 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ , 52 % ekosystémů jako nasycené N na nízké úrovni (ztráta N 5 až  $15 kg \cdot ha^{-1}$ ) a 35 % lesních porostů bylo hodnoceno jako nasycené na vysoké úrovni se ztrátou  $N > 15 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ . Vysoké koncentrace  $NO_3^-$  ve vodě odtékající z hodnocených porostů (median  $37,6 mg \cdot l^{-1}$ ) několikanásobně překračují median koncentrace  $NO_3^-$  ve vodě odtékající z lesních porostů v Bavorsku (MELLERT et al. 2007) a v Dánsku (CALLESEN et al. 1999). Šetřením prováděným v Holandsku byla při tamější vysoké depozici N zjištěna průměrná koncentrace  $NO_3^-$  v půdní vodě lesů  $30,1 mg \cdot l^{-1}$  (DE VRIES, JANSEN 1994). Velké nasycení lesních ekosystémů N zde způsobují vysoké emise N vyvolané pravděpodobně intenzivní živočišnou produkcí zemědělství.

MELLERT et al. (2005a) vyjmenovává rizikové faktory působící na znečištění odtékající půdní vody nitráty. Vedle výše spadu N to jsou

především typ porostu a vlastnosti půdy. Porosty dělí na jehličnaté a listnaté. Z jehličnanů vylučuje borovici jako dřevinu s nižším vychytáváním látek z ovzduší, která většinou vyrůstá na chudých stanovištích. Z listnáčů vymezuje olši jako dřevinu fixující dusík. Zvláště jsou hodnoceny kalamitní plochy a rozpadávající se porosty. Půdy řadí podle stoupajícího rizika vyluhování  $NO_3^-$  na jílovité, písčité a šterkovité hlíny, humusokarbonátové půdy a na hlinitopísčité půdy. Písčité a jílovité půdy vykazovaly nejnižší koncentrace  $NO_3^-$  a nejvyšší koncentrace byly shledány v karbonátových půdách s porosty smrku.

V padesáti lesních porostech na východě Dolního Saska (Weser-Ems Region) byly zjištěny pod starými porosty vyšší obsahy nitrátů než pod mladými porosty. Podle dřevin bylo pořadí dub < borovice < douglaska (HORVÁTH et al. 2009). Vysoké nasycení zdejších lesních ekosystémů dusíkem způsobily emise N, především  $NH_3$  z velkochovů dobytka v sousední bývalé NDR.

Stručné charakteristiky výzkumných objektů jsou uvedeny v tab. 1. Spady sloučenin dusíku jsou měřeny na plochách sloužících dlouhodobějšímu vodohospodářskému výzkumu. V práci byly uplatněny i údaje o spadech sloučenin dusíku na objektech monitoringu ICP Forests (úroveň II) a pro hodnocení obsahu nitrátů v drobných tocích byly využity výsledky „Monitoringu lesních ekosystémů s vazbou na potravní řetězec“, plošně zahrnující téměř všechny lesní oblasti ČR.

Výsledky získané pro hodnocení spadu látek platí pro sledované porosty. Spady na povodích jsou však lokálně proměnlivé, a proto při bilancování spotřeby dusíku v ekosystémech jsou získané hodnoty víceméně orientační. Výše odtoku vody je na povodích Červík, Malá Ráztoka, U Vodárny a Želivka měřena (HO). Pro ostatní povodí byly vzaty k výpočtu množství odtékající vody specifické odtoky  $q$  ( $l \cdot sec^{-1} \cdot km^{-2}$ ), (Atlas ČSSR 1966). Pro povodí Šerlich byla využita vodní bilance porostů (KANTOR et al. 1994).

Veškerá stanovení sloučenin dusíku ( $NO_3^-$  a  $NH_4^+$ ) ve vzorcích srážkové a potочní vody prováděla zkušební laboratoř VÚLHM, v. v. i. Ke stanovení  $NO_3^-$  byl do roku 1994 používán kolorimetr Technicon Autoanalyser II a od tohoto roku jsou nitráty stanovovány na kapalínovém chromografu Termoseparations Products. Pro měření koncentrací  $NH_4^+$  je používán kolorimetr SAN Plus Analyzer.

## VÝSLEDKY

Výsledky sledování spadu sloučenin dusíku na výzkumných plochách a povodích provozovaných VÚLHM, v. v. i. jsou k dispozici především za období po roce 1990. Na většině výzkumných objektů jsou také vypočteny ztráty sloučenin dusíku s odtékající vodou. Údaje v tab. 2 ukazují, že celkové roční depozice dusíku (do roku 2005 počítáno  $N_t = N/NH_4^+ + N/NO_3^-$ , od roku 2006 jako  $N_T$ ) byla na volné ploše nižší než pod lesními porosty. Po poklesu depozice N do roku 2001 nebylo v dalších letech její snižování na plochách jednoznačné.

Spady nižší než  $10 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$  probíhaly pouze na plochách Zdíkov a Třebotov a v porostech buku na Vojířově, ve Všetči (na Kamýku) a na Želivce. Průměrné koncentrace nitrátů ( $NO_3^-$ )  $5 mg \cdot l^{-1}$  ve vodě povrchových zdrojů byly překročeny na povodích Malá Ráztoka, Strouha, U Vodárny, Šerlich a Moldava. Na exponovaných horských povodích U Vodárny, Moldava, Malá Ráztoka a Šerlich překračovaly ztráty dusíku s odtékající vodou  $5 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$  i po roce 2000 (1998). V první polovině devadesátých let na povodích U Vodárny, Moldava a Šerlich tyto roční ztráty N s odtékající vodou překračovaly  $15 kg \cdot ha^{-1}$ , tj. hranici limitující plné nasycení ekosystémů dusíkem. V horských povodích s vyšším odtokem vody (HO), jsou koncentrace  $NO_3^-$  přes  $5 mg \cdot l^{-1}$  spojeny s ročními ztrátami celkového dusíku ( $N_t, N_T$ ) přes  $10 kg \cdot ha^{-1}$ .

Nejnižší koncentrace nitrátů v letech 2006 a 2007 měla voda v povrchovém zdroji na povodí Červíku A a také na povodí Želivka. Méně

**Tab. 1.**  
Charakteristika výzkumných objektů  
Characteristics of the research plots

Povodí/ Catchment area	Lesní oblast/ Forest region	Převažující porosty/ Predominate forest	Převažující půdy/ Predominate soil types	Specifický odtok/Specific outflow q = l.sec <sup>-1</sup> .km <sup>2</sup>	Období/ Period
Červík	Beskydy	Červík A mladé porosty smrku (méně buk)/young spruce stands (less beech)	podzoly, dystrické kambizemě místy oglejené/podzols, dystric cambisols (partly gleying)	22,78	2006-2007
		Červík B dospělé porosty smrku (méně bk)/mature spruce stands (less beech)		21,08	2005-2007
Malá Ráztoka	Beskydy	převážně mladé smrkové porosty/mainly young spruce stands	podzoly, dystrické kambizemě/podzols, dystric cambisols	29,0	2006-2007
				26,7	2005-2007
U Vodárny	Jeseníky	převážně dospělé smrkové porosty/mainly mature spruce stands	kambizemě a podzoly/cambisols, podzols	20,7	2006-2007
				19,62	2005-2007
Šerlich	Orlické hory	dospělé smrkové a bukové porosty/mature spruce and beech stands	podzoly, dystrické kambizemě/podzols, district cambisols	25,37	1982-1993
U Lizu (Zdíkov)	Šumava	převážně dospělé smrkové porosty/mainly mature spruce stands	podzoly, dystrické kambizemě i oglejené/podzols, dystric cambisols (partly gleying)	9,9	
Moldava	Krušné hory	nezapojené porosty náhradních dřevin/non-closed substitute tree species stands	podzols, district cambisols	17,1	
Vojíšov	Česká vrchovina	převaha smrkových porostů, dále bk, db/predominance of spruce stands (less beech, oak)	humusové podzoly, dystrické kambizemě/organic podzols, dystric cambisols	6,5	
Všeteč	Středočeská pahorkatina	dospělé bukové porosty/mature spruce stands	dystric cambisols	6,4	
Strouha	Středočeská pahorkatina	dospělé smrkové porosty, částečně zem. pozemky/mature spruce stands, partly agricultural lands	dystrické kambizemě/dystric cambisols	2,9 - 4,1	
Želivka	Středočeská pahorkatina	převažují dospělé smrkové porosty/predominance of mature spruce stands	dystrické kambizemě, pseudogleje/dystric cambisols, pseudogley	2,17	2005-2007

než 3 mg.l<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> obsahovala také voda ve zdrojích na Zdíkově a ve Vojíšově.

V tab. 3 jsou sumarizovány údaje o spadu sloučenin dusíku na plochách intenzivního monitoringu ICP Forests (úroveň II). V období let 2006 a 2007 byly zjišťovány roční spady celkového dusíku (Nt a NT) vyšší než 10 kg.ha<sup>-1</sup> prakticky na všech plochách, s výjimkou plochy v listnácích v oboře Březka. Z údajů je též zřejmé, že v porostech smrku probíhal vyšší spad dusíku než v porostech listnáců. Depozice N v porostu borovice byla jen o málo vyšší než průměrná depozice v listnatých porostech.

Při monitoringu lesních ekosystémů s vazbou na potravní řetězec, probíhající v letech 2000–2008 byla odebrána a analyzována voda drobných povrchových zdrojů na 674 lokalitách, téměř ve všech lesních oblastech ČR s výjimkou lesní oblasti 34 a 35 – Hornomoravského a Jihomoravských úvalů a lesní oblasti 32 – Slezská nížina. Z výsledků provedených analýz vyplývá, že převažují lokality, kde koncentrace NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nedosahují mezní hodnoty 15 mg.l<sup>-1</sup> (kojenecká voda). Koncentrace nitrátů větší než 15 mg.l<sup>-1</sup> byly především ve zdrojích, jejichž povodí nebyla plně zalesněna. Pro lesní oblasti byly vypočteny průměrné hodnoty vzorků s hranicí NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ≤ 5 mg.l<sup>-1</sup> a > 5 mg.l<sup>-1</sup>. Mezní hodnota pro pitnou vodu 50 mg.l<sup>-1</sup> byla překročena v jediném případě. Průměr ze všech odběrů je 5,12 mg. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.l<sup>-1</sup>.

Dynamika sloučenin dusíku v půdě, jejich příjem vegetací a přeměny forem dusíku ovlivňují i spotřebu a produkci protonů (H<sup>+</sup>) v půdním prostředí. Při nitrifikaci amonného iontu (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se uvolňují dva protony. Při příjmu nitrátového iontu (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se jeden proton spotřebovává (KHANNA, ULRICH 1985). Z tohoto pohledu je důležité, aby se co největší množství nitrátů ze spadů a vzniklých nitrifikací amonných iontů ze spadů spotřebovalo v ekosystému. Bilance spadů NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a jejich vyplavování s odtékající vodou v kg a kmol je uvedena pro jednotlivá povodí v tab. 4.

Na plochách ležících v menších nadmořských výškách a na Zdíkově a Červíku je vymýváno menší množství NO<sub>3</sub><sup>-</sup> než přichází se spady a tato forma dusíku je zde v různé míře spotřebována v lesních ekosystémech. Pro povodí Malá Ráztoka a U Vodárny nemáme k dispozici údaje o výši spadu NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v porostech, ale je pravděpodobné, že jsou zde vyplavována větší množství nitrátů než přichází se srážkami, a tedy i ionty NO<sub>3</sub><sup>-</sup> vzniklé nitrifikací iontů NH<sub>4</sub><sup>+</sup> z depozice. Takového procesu jsou zřejmě z dat získaných na povodích Moldava a Šerlich.

K vymývání nitrátů přispívá promyvný vodní režim horských půd. Zejména v období vysokých imisních spadů sloučenin dusíku mohla dosahovat roční překročení ztrát NO<sub>3</sub><sup>-</sup> odtokem, oproti jejich spadu, i 0,5 kmol.ha<sup>-1</sup>, což představuje při nitrifikaci NH<sub>4</sub><sup>+</sup> produkci protonů

Tab. 2.

Celkové spady dusíku (Nt a NT) na výzkumných objektech, koncentrace NO<sub>3</sub> ve vodních zdrojích a celkové ztráty dusíku (Nt a NT) odtokem vody

Total nitrogen fallout (Nt and NT) within the research plots, concentrations NO<sub>3</sub> in water suppliers, and total nitrogen losses (Nt and NT) with outflows

Objekt měření depozice/ Research plot (deposition)	Obobí/Period	Spad N/ Fallout		Průměrné koncentrace NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ve vodě zdroje/ Average concentrations NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in water supply	Ztráty N s odtokem vody/Loss of N through outflow	
		volná plocha/ open space	porost/ forest stand			
[kg.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> /year <sup>-1</sup> ]						
<b>Červík A</b> mladé porosty smrku/young spruce stands	1992-1996	8,53		1,72		
	1997-2001	9,91			1,32	
	2006-2007	10,71			1,70 4,16	
<b>Červík B</b> dospělé porosty smrku a buku/ mature spruce and beech stands	1992-1996				3,65	
	1997-2001				4,31	
	2006-2007		13,24		2,41 4,16	
<b>Malá Ráztoka</b> mladé porosty smrku/young spruce stands	1992-1996	29,30			5,53	
	1997-2001	23,64			5,37	
	2006-2007	16,28			5,46 12,40	
<b>U Vodárny</b> dospělé porosty převážně smrku/ mature spruce stands	1992-1996	12,66			11,97 16,87	
	1997-2001	19,69			7,9	
	3006-2007	25,36			6,25 10,34	
<b>Zdíkov</b> porost smrku/spruce stand	1992-1996		7,75		3,04	
	1997-2004		6,05		3,24	
	2006-2007		10,51		2,54 2,05	
porost buku/beech stand	1992-1996		6,89			
	1997-2001		4,90			
	2006-2007		10,65			
<b>Vojířov</b> porost smrku/spruce stand	1992-1996	9,66	11,92		2,51	
	1997-2001	8,45	11,43		2,40	
	2006-2007	10,92	16,19		< 1,00	
smíšený porost bk, sm, jd, db/ mixed stand (beech, spruce, oak, fir)	1992-1996		8,26			
	1997-2001		9,16			
<b>Strouha</b> porost smrku/spruce stand	1992-1996	8,06	10,37		8,31	
	1997-2001	6,39	12,24		4,91	
	2006-2007	11,92	13,71		7,99 2,62(1,86)	
<b>Všeteč</b> porost buku/beech stand	1992-1995	5,54	8,27			
	1996-2001	4,69	9,08			
	2006-2007	10,61	14,79		3,3 1,74	
<b>Želivka</b> dospělý porost smrku/mature spruce stand	1985-1990	15,36	32,34		2,33	
	1991-1996	11,03	26,03		2,07	
	1997-2002	8,82	20,82		2,33	
	2005-2007	8,11	18,69		2,17 < 1,00	
	mladý porost smrku/young spruce stand	1997-2002		13,95		
		2005-2007		12,24		
mladý porost buku/young beech stand	1997-2002		9,88			
	2005-2007		9,36			
<b>Moldava</b> nezapojený porost náhradních dřevin/non-closed substitute tree species stand	1995-1990	20,35	24,51		15,60 22,32	
	1991-1996	13,17	17,4		10,36 15,22	
	1997-2002	12,13	13,37		8,93 11,5	



**Tab. 2. – pokračování**

Celkové spady dusíku (Nt a NT) na výzkumných objektech, koncentrace  $\text{NO}_3$  ve vodních zdrojích a celkové ztráty dusíku (Nt a NT) odtokem vody

Total nitrogen fallout (Nt and NT) within the research plots, concentrations  $\text{NO}_3$  in water suppliers, and total nitrogen losses (Nt and NT) with outflows

<b>Šerlich</b>	1988-1991	27,25	54,49	12,21	28,00
dospělý porost smrku/mature spruce stand	1992-1997	14,57	41,53	7,75	16,15
	1998			7,37	13,78
mladý porost smrkuyoung spruce stand	1988-1991				
	1992-1997		32,26		
			17,90		
porost buku/beech stand	1988-1991		27,41		
	1992-1997		14,04		
<b>Třebotov</b>	1992-1996	6,23	7,39		
porost borovice/pine stand	1997-2001	7,57	3,16		
	2006-2007	2,37	6,56		
porost buku/beech stand	1992-1996		7,23		
	1997-2001		4,12		
	2006-2007		5,83		

**Tab. 3.**

Průměrné roční spady dusíku na plochách intenzivního monitoringu ICP Forests (úroveň II) v období let 2006–2007 (množství N je uváděno v  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ )

Average nitrogen fallouts within the intensive monitoring plots (ICP Forests - level II) in the period of 2006-2007 [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ]

	Počet ploch/ Number of plots	Volná plocha/Open space				Porost/Forest stand			
		N/ $\text{NH}_4^+$	N/ $\text{NO}_3^-$	Nt	NT	N/ $\text{NH}_4^+$	N/ $\text{NO}_3^-$	Nt	NT
plochy celkem/in total	11	6,41	5,52	11,93	12,88	8,06	8,47	16,53	18,7
plochy s porosty smrku/spruce stands plot	6					9,55	10,47	20,02	22,28
plocha s borovicí/pine stands plots	1					6,54	7,44	13,98	14,83
plocha s listnáči/broadleaved (beech, oaks) plot	4					6,19	5,73	11,92	14,28
plocha s nejmenším spadem - Březka (db, bk, js)/ plot with the lowest fallout - Březka (oak, beech, ash)		5,56	4,25	9,81	10,26	5,32	3,39	8,71	12,34
plocha s největším spadem - Luisino údolí (smrk)/plot with the highest fallout - Luisino údolí (spruce)						21,12	19,96	41,08	42,63

okolo  $1 \text{ kmol}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), které přispívaly k acidifikaci půdního prostředí.

## DISKUSE

Téměř na všech plochách uvedených v tab. 2. byl na bezlesí sledován spad sloučenin dusíku  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  a od roku 2006 i celkový spad dusíku NT, které jsou nižší než spady s podkorunovými srážkami. Po roce 2005 se spad celkového dusíku Nt ( $\text{N}/\text{NO}_3^- + \text{N}/\text{NH}_4^+$ ) a NT, s výjimkou ploch Malá Ráztoka a U Vodárny, pohyboval okolo  $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Na jmenovaných dvou objektech je zřejmě na celkovém spadu patrný vliv lokálního znečištění.

Na bezlesí i pod porosty byly zjišťovány nejnižší spady N na ploše Třebotov, kde přichází i nejméně srážek. Relativně nižší depozice dusíku na plochách v jižních Čechách (Zdíkov, Vojířov, Strouha, Všeteč) se v posledním hodnoceném období let 2006 a 2007 poněkud zvýšily. Nejvyšší spady N byly zjišťovány v devadesátých letech na ploše Šerlich v Orlických horách.

V období let 2006 a 2007 byl zjištěn spad NT  $42,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  na ploše ICP Forests (úroveň II) Luisino údolí v Orlických horách (tab. 3), který podstatně převyšoval spady tohoto prvku na ostatních plochách ICP Forests. Nejnižší spady celkového dusíku (Nt, NT) byly naměřeny na ploše Březka u Prahy, která se nachází, obdobně jako plochy Třebotov, v oblasti nízkých srážek (méně než  $550 \text{ mm}$  ročně).

Porosty Orlických hor, zejména ve východní části, jsou dosud silně exponovány vstupu imisních látek proudících z České kotliny. Vliv exponovanosti porostů vůči proudění vzduchu ukazuje rozdíl ve spadech a ztrátách dusíku mezi povodím Malá Ráztoka a Červík v Beskydech. Malá Ráztoka, ležící na severozápadním okraji pohoří (Přední hory), dalece převyšuje ve spadech a ztrátách sloučenin dusíku (i dalších iontů) spady a ztráty dusíku na povodí Červíku, které leží uvnitř pohoří (Zadní hory), přestože srážkové úhrny se výrazněji neliší (rozdíl Hs cca  $100 \text{ mm}$ ) (Bíba et al. 2007).

Zpráva ICP Forests 2008 (LORENZ et al. 2008) uvádí procentuální podíl ploch podle velikostí ročních spadů  $\text{N}/\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}/\text{NH}_4^+$  v EU, včetně České republiky za roky 2003–2005. Na bezlesí českých ploch

Tab. 4.

Spady  $\text{NO}_3^-$  a ztráty odtokem v povodích (v hmotnostních a molárních jednotkách) $\text{NO}_3^-$  fallouts and outflow losses (in weight and molar units)

Plocha/Plot	Období/ Period	Spad $\text{NO}_3^-$ /Fallout		Ztráta $\text{NO}_3^-$ odtokem z povodí/ $\text{NO}_3^-$ outflow losses	
				[kg.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> /year <sup>-1</sup> ]	
<b>Želivka</b>					
seč/cut	1975-1979	19,93	0,321	0,94	0,015
porost smrku/spruce stand	1975-1979	24,95	0,402		
seč/cut	1997-2000	22,73	0,367	2,07	0,034
porost smrku/spruce stand	1997-2000	56,19	0,906		
mladý porost smrku/young spruce stand	1997-2000	35,92	0,579		
mladý porost buku/young beech stand	1998-2000	30,64	0,494		
seč/cut	2005-2007	19,15	0,309		
porost smrku/spruce stand	2005-2006	40,34	0,651		
mladý porost smrku/young spruce stand	2005-2007	29,78	0,480		
mladý porost buku/young beech stand	2005-2007	22,30	0,360		
<b>Zdíkov</b>					
porost smrku/spruce stand	1997-2000	17,02	0,275	9,96	0,161
porost buku/beech stand	1997-2000	17,20	0,277		
porost smrku/spruce stand	2005-2007	16,63	0,268	7,83	0,126
porost buku/beech stand	2005-2007	26,37	0,425		
<b>Strouha</b>					
porost smrkuspruce stand	1997-2000	27,55	0,444	6,12	0,099
	2005-2007	26,02	0,429	9,93	0,163
<b>Vojířov</b>					
porost smrku/spruce stand	1997-2000	27,00	0,425	4,72	0,076
smíšený porost (bk)/mixed stand (with beech)	1997-2000	19,02	0,307		
porost smrku/spruce stand	2004	30,12	0,486	3,40	0,055
smíšený porost (bk)/mixed stand (with beech)	2004	24,91	0,402		
<b>Moldava</b>					
seč/cut	1978-1979	31,43	0,506	93,16	1,502
porost smrku/spruce stand	1978-1979	63,89	1,030		
seč/cut	1997-2000	26,44	0,426	44,60	0,719
porost jeřábu/rowan stand	1997-2000	33,2	0,525		
<b>Červík</b>					
volná plocha/open space	1997-2000	20,87	0,337	22,05	0,356
volná plocha/open space	2005-2007	20,07	0,323	12,35	0,199
dospělý porost smrku/mature spruce stand	2006-2007	27,15	0,438		
mladý porost smrku/young spruce stand	2005-2006	19,20	0,310		
<b>Malá Ráztoka</b>					
volná plocha/open space	1997-2000	34,05	0,549	41,61	0,671
volná plocha/open space	2005-2007	31,68	0,511	45,79	0,739
<b>U Vodárny</b>					
volná plocha/open space	1997-2000	31,45	0,507	45,94	0,741
volná plocha/open space	2005-2007	39,33	0,634	37,96	0,612
<b>Šerlich</b>					
seč/cut	1987-1991	42,1	0,679	97,68	1,575
dospělý porost smrku/mature spruce stand	1988-1991	94,86	1,530		
mladý porost smrku/young spruce stand	1988-1991	57,10	0,921		
dospělý porost buku/mature beech stand	1988-1991	43,40	0,700		
seč/cut	1992-1997	27,90	0,450	62,00	1,000
dospělý porost smrku/mature spruce stand	1992-1997	52,08	0,840		
mladý porost smrku/young spruce stand	1992-1997	24,80	0,400		
dospělý porost buku/mature beech stand	1992-1997	31,00	0,500		

ICP Forests (úroveň II) spadlo v letech 2006–2007 (tab. 3) průměrně za rok 6,14 kg N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a 5,52 kg N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na ha, což jsou hodnoty, které nás řadí do třetiny ploch s nejvyššími hodnotami jak ve spadu N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, tak i u N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v Evropě. U spadu zjišťovaném s podkorunovými srážkami dosahovaly roční průměrné hodnoty u N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 8,41 kg·ha<sup>-1</sup> a zapadaly do třetiny ploch s nejvyššími hodnotami a u N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 8,06 kg·ha<sup>-1</sup> spadaly do čtvrtiny ploch s nejvyššími hodnotami. Výši spadu na plochách v ČR ovlivňuje i dominance porostů smrku. LORENZ et al. (2008) uvádí příjem prvků, především sloučenin N, ze srážkové vody listy dřevin, což vede ke snížení jejich depozice. Týká se to především NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iontů tak, že se v podkorunových srážkách oproti srážkám z volné plochy snižuje poměr N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Koncentrace nitrátů (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ve vodě odtékající z listnatých porostů, s výjimkou olší, je většinou nižší než ve vodě tekoucí ze smrkových porostů. Borové porosty, rostoucí nejčastěji na chudých stanovištích, uvolňují do odtékající vody také podstatně méně nitrátů než smrkové porosty (ROTHER et al. 1998). Příkladem rozdílného působení jehličnanů a listnáčů jsou zjišťované nižší koncentrace v půdní vodě v hloubce 100 cm pod porosty buku než ve smrku na objektech Höglwald a Schongau (ROTHER 1997). V porostech buku je oproti porostům smrku nižší spad sloučenin N. Nitrifikace deponovaných iontů NH<sub>4</sub><sup>+</sup> probíhá v listnatých porostech většinou v povrchových horizontech (do 20 cm), ale i odběr NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kořeny smrku je soustředěn hlavně na tuto zónu, kdežto intenzivní odběr nitrátů kořeny buku probíhal do hloubky 40 cm.

Podstatně vyšší koncentrace NO<sub>3</sub><sup>-</sup> byly také zjišťovány v půdní vodě v hloubce 100 cm v porostu smrku, oproti vodě ze sousedního porostu dubu na ploše Sulice (LOCHMAN 2000).

AUGUSTIN et al. (2005) uvádí, že po vyhodnocení údajů z ploch ICP Forests v SRN byly zjištěny vysoce průkazné pozitivní korelace mezi spadem N a aciditou půd i defoliací smrkových porostů. Negativní korelace byly vypočteny k poměru C/N v pokryvném humusu. Výsledky podporují názor, že překročení kritického zatížení N může snižovat retenční funkci ekosystémů pro dusík.

Rovněž věkové třídy lesních porostů působí na míru depozice a retenční sloučenin dusíku. Nižší vstup N a větší spotřeba živin na tvorbu biomasy korun vede k nižšímu uvolňování nitrátů z ekosystémů mladých porostů. Se stářím porostů se snižují nároky na potřebu N, protože i při vysokém přírůstu dřevní hmoty je ve stromech ukládáno méně dusíku (ROTHER et al. 1998). Na povodí Červíku A s převahou mladších porostů působí nižší spad a vyšší spotřeba dusíku nižší vymývání NO<sub>3</sub><sup>-</sup> s odtékající vodou než v dospělých porostech na povodí Červíku B.

Kritickou fází ve vývoji lesních ekosystémů je obnova porostů. Do nárůstu pasečné vegetace probíhá mobilizace nitrátů uvolněných při rozkladu humusu a rostlinných zbytků, protože je přerušen odběr N vegetací. Z hlediska mobility nitrátů vzniká kritická situace při vzniku velkoplošných kalamitních holin, ze kterých je vymýváno velké množství nitrátů a s nimi i bazických kationtů a nastává tak i okyseleční půdy (MELLERT et al. 1996). Negativní působení na retenci dusíku mají i poškozované nebo odumírající či rozpadlé porosty s minimální spotřebou N, případně jeho uvolňováním z ekosystémů (MELLERT et al. 2005).

LORENZ et al. (2007) udává, že ve střední Evropě je největší podíl N ze spadu spotřebováván k výživě vegetace, až 70 % roční spotřeby dusíku pro výživu. Méně se tento dusík podílí na výživě porostů v chladných oblastech severní Evropy a v aridních oblastech. V severní Evropě probíhá ve větší míře dlouhodobá imobilizace dusíku v organické hmotě, protože chladné klima brzdí jeho mineralizaci. Větší část N z depozice je tedy v lesích střední Evropy přijímána do biomasy porostů a posléze odebírána v různé míře z porostů těžbou. Menší část přicházejícího N je imobilizována v půdní organické hmotě a ještě menší část ovlivňuje

koncentrace N ve vodě a půdě pod kořenovou zónou a nejmenší část podléhá denitrifikaci.

Jak uvádí ULRICH (1993), i při vysokém spadu dusíku je pro porost z depozice využitelných a potřebných 10 kg N·ha<sup>-1</sup>·rok.

Podle MELLERTA et al. (2005a, b) a HORVÁTHA et al. (2009) odpovídají průměrné koncentrace NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v odtékající vodě < 2,5 mg·l<sup>-1</sup> lesním ekosystémům nenasyčeným dusíkem s roční ztrátou N < 5 kg·ha<sup>-1</sup>. Průměrné koncentrace nitrátů v odtékající půdní vodě v rozmezí 2,5–10 mg·l<sup>-1</sup> a roční ztráty N z lesních ekosystémů v rozmezí 5–15 kg·ha<sup>-1</sup> odpovídají mírnému nasycení N. Od druhé poloviny devadesátých let minulého století nebyly tyto limitní (prahové) hodnoty v ročních průměrech ve vodě povrchových zdrojů na výzkumných objektech VÚLHM prakticky překračovány (tab. 2). Je si však nutno uvědomit, že rozdílná odtoková míra (Ho) v jednotlivých povodích vyvolává disporce ve velikosti ztrát N kg·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, ve vazbě na roční průměrné koncentrace NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mg·l<sup>-1</sup>.

Z hlediska vodohospodářského působení lesů byly nejpříznivější koncentrace nitrátů ve vodě na povodích Červíku v Beskydech, U Lizu na Zdíkově (v CHKO Šumava), v prameni na Vojířově v jižních Čechách (nedaleko hranic s Rakouskem) a v Pekelském potoce ve výzkumném objektu Želivka. Lesní ekosystémy ukazují velké retenční schopnosti pro sloučeniny dusíku, s výjimkou nezapojených náhradních porostů na povodí Moldava. Na povodích Červíku jsou příznivější poměry v koncentraci NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na Červíku A s obnovenými mladými porosty s převahou smrku, než na povodí Červíku B s převážně dospělými smrkovými porosty.

Podle DE VRIESE et al. (2000), HEINSDORFA, KRAUSSE (1991) a MELLERTA et al. (2007) klesá rychle a signifikantně spad dusíku (především NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se vzdáleností od okraje lesa, tedy od hranice se znečištěným bezlesem. Proto, zejména v rovinatém terénu, odtéká méně nitráty znečištěná voda z porostů uvnitř velkých lesních komplexů, kde se imisní látky zachycují v korunách stromů porostních okrajů.

## ZÁVĚR

Od počátku devadesátých let minulého století se spady N (zejména NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) snižovaly, a to především v oblastech s dřívější vysokou imisní zátěží. V oblastech s mírným zatížením se v posledních letech spad celkového N poněkud zvýšil (Jižní Čechy). Povodí exponovaná proudícím vzduchu (v severovýchodní části republiky) mají stále vysoký spad N a v odtékající vodě i zvýšené koncentrace NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (< 5 mg·l<sup>-1</sup>). Většinu lesních ekosystémů je možno hodnotit podle koncentrací NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve vodách jejich zdrojů jako nenasyčené s koncentracemi NO<sub>3</sub><sup>-</sup> < 5 mg·l<sup>-1</sup>, nebo mírně nasycené s koncentracemi NO<sub>3</sub><sup>-</sup> < 5 mg·l<sup>-1</sup>. Koncentrace nitrátů ve vodách drobných vodních zdrojů zalesněných povodí jsou v naprosté většině nižší než je limitní hodnota pro užívání vody k výživě kojcenců (15 mg·l<sup>-1</sup>). Velikost ztrát dusíku (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) v povodích a koncentrace nitrátů jsou podstatně ovlivňovány intenzitou promývání lesních půd.

Do budoucna je zapotřebí nadále snižovat emise dusíku, a tím i jeho spady. V zájmu stability lesních porostů je žádoucí nadále usilovat o posilování zastoupení listnáčů. V porostech, kde se projevuje kritický nedostatek dalších živin (především Mg a Ca), je zapotřebí aplikovat dolomitické vápence v míře, která nenaruší plnění jejich dalších mimoprodukčních funkcí. Je nutné zabránit rozpadu porostů a vzniku velkoplošných holin. Při úmyslné obnově lesů by neměla být smýcena podstatnější část porostů v povodí v krátkém časovém rozmezí. Pro snížení spadu N a zvýšení jeho spotřeby v ekosystémech je žádoucí provádět plynule obnovu porostů. Z tohoto pohledu není také optimální ponechávat příliš vysoké zastoupení přestárých porostů bez zajištění jejich obnovy.

**Poděkování:**

Príspevek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru MZE0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“.

**LITERATURA**

- ABER J.D., NADELHOFER P., STEUDLER P., MELLILO J.M. 1989. Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bioscience*, 39: 378-386.
- AUGUSTIN S., BOLTE A., HOLZHAUSEN M., WOLFF B. 2005. Exceedance of critical loads of nitrogen and sulphur and its relation to forest conditions. *European Journal of Forest Research*, 124: 289-300.
- BÍBA M., JARABÁČ M., LOCHMAN V., OCEÁNSKÁ Z., ŠRÁMEK V., VÍCHA Z. 2007. Vývoj hydrického působení lesů malých horských povodí. Závěrečná zpráva projektu QF 3013. Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 64 s.
- BÍBA M., HELLEBRANDOVÁ K., UHLÍŘOVÁ H. 2009. Monitoring lesních ekosystémů s vazbou na potravní řetězec. Zpráva o řešení úkolu v roce 2008. Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 30 s.
- BÜTNER G. 1990. Bodenchemische Veränderungen infolge hoher Stickstoffbelastung. In: Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung; gemeinsames Symposium, 10. bis 12. Oktober 1990. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag: 4. 1-4. 17.
- CALLESEN J., RAULUND-RASMUSSEN K., GUNDERSEN P., STRYHN H. 1999. Nitrate concentration in soil solutions below Danish forests. *Forest Ecology and Management*, 114: 71-81.
- ČHMÚ. 2000. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1999. Praha, ČHMÚ: 198 s.
- ČHMÚ. 2003. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2002. Praha, ČHMÚ: 158 s.
- DE VRIES W., JANSEN P.C. 1994. Effects of acid deposition on 150 forest stands in the Netherlands. 3. Input output budgets for sulphur, nitrogen, base cations and aluminium. Report 69.3. Wageningen, DLO Winand Staring Centre: 58 s.
- DE VRIES W. et al. 2000. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe. Technical report 2000. Geneva, Brussels, EC-UN/ECE: 191 s.
- EICHHORN J. et al. 1991. Fallstudie Zierenberg: Stress in einem Buchenwaldökosystem in der Phase einer Stickstoffübersättigung. Hann. Münden, Hessische Forstliche Versuchsanstalt: 117 s.
- FERRIER R. C., JENKINS A., WRIGHT R.F., SCHÖPP W., BARTH H. 2001. Assessment of recovery of European surface waters from acidification 1970–2000. An introduction to the special issue. *Hydrology & Earth System Science*, 5: 274-292.
- HEINSDORF D., KRAUSS H.H. 1991. Massentierhaltung und Waldschäden auf dem Gebiet der ehemaligen DDR. *Forst und Holz*, 46 (13): 356-361.
- HEINSDORF D., BECK W. 2003. Langjährige Untersuchungen zur Wirkung hoher N – Zufuhren auf Ernährung und Wachstum eines Kiefernbestandes. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, 37: 28-35.
- HORVÁTH B., MEIWEES K. J., MEESENBERG H. 2009. Die Bedeutung von Baumarten und Bestandsalter für die Nitratversickerung unter Wald in der Region Weser – Ems. *Forstarchiv*, 80 (2): 33-41.
- ISERMANN K. 1990. Ammoniakemissionen der Landwirtschaft als Bestandteil ihrer Stickstoffbilanz und hinreichende Lösungsansätze zur Minderung. In: Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung; gemeinsames Symposium, 10. bis 12. Oktober 1990. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag: 1.1-1.76.
- KANTOR P. et al. 1994. Vodní bilance porostů různých dřevin a jejich vliv na genezi odtoku. Závěrečná zpráva. Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 4-9.
- KHANNA P. K., ULRICH B. 1985. Processes associated with acidification of soil and their influence on the stability of spruce stands in Solling area. In: Air pollution and stability of coniferous forest ecosystems. Proceedings of the international symposium. Ostravice, October 1–5, 1984. Brno, University of Agriculture: 23-26.
- LOCHMAN V. 2000. Vliv depozice látek v porostech dubu a smrku (plochy Sulice) na chemické složení vody odtékající do zdrojů a na vývoj chemismu jejich půd. *Práce VÚLHM*, 82: 125-141.
- LORENZ M. et al. 2007. Forest condition in Europe. 2007 technical report of ICP Forests. Hamburg, Bundesforschungsanst. für Forst- und Holzwirtschaft: 98 s.
- LORENZ M. et al. 2008. Forest condition in Europe. 2008 technical report of ICP Forests. Hamburg, Johann Heinrich von Thünen-Institut: 107 s.
- MELLERT K. H., KÖLLING C., REHFUESS K. E., 1996. Stoffauswaschung aus Fichtenwaldökosystemen Bayerns nach Sturmwurf. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 115: 363-377.
- MELLERT K.H., GENSOR A., KÖLLING C. 2005a. Stickstoffsättigung in den Wäldern Bayerns – Ergebnisse der Nitratinventur. *Forstarchiv*, 76 (2): 35-43.
- MELLERT K.H., GENSOR A., KÖLLING C. 2005b. Verbreitete Nitratbelastung des Waldsickerwassers. *AFZ/Der Wald*, 4: 168-171.
- MELLERT K.H., GENSOR A., GÖTTLEIN A., KÖLLING C. 2007. Prediktor des Nitrataustrags aus Wäldern – Ergebnisse der bayerischen Nitratinventur in mitteleuropäischen Vergleich. *Forstarchiv*, 78: 139-149.
- MÖLLER D., SCHIEFERDECKER H. 1990. Ammoniakbilanz für das Gebiet der DDR. In: Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung; gemeinsames Symposium, 10. bis 12. Oktober 1990. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag: 5.1-5.11.
- ROTHER A. 1997. Einfluß des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald. München, Frank: 195 s. *Forstliche Forschungsberichte München*, 163.
- ROTHER A., KÖLLING C., MORITZ K. 1998. Waldbewirtschaftung und Grundwasserschutz. *AFZ/Der Wald*, 6: 291-295.
- SMIDT S., OBERSTEINER E. 2007. 10 Jahre Depositionsmessungen in Rahmen des europäischen Waldschadensmonitorings. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 124 (2): 83-104.
- ULRICH B. 1993. 25 Jahre Ökosystem- und Waldschadensforschung im Solling. *Forstarchiv*, 64: 147-152.
- WRIGHT R. F., ALEWELL C., CULLEN J. M., EVANS C. D., MARCETTO A., MOLDAN F., PRECHTEL A., ROGORA M. 2001. Trends in nitrogen deposition and leaching in acid-sensitive streams in Europe. *Hydrology & Earth System Science*, 5: 299-310.



## NITROGEN DEPOSITION IN THE FOREST STANDS AND THE EFFECT ON NITRATE AMOUNT IN RUNOFF WATER AND ON SOIL ACIDIFICATION

### SUMMARY

This contribution deals with the evaluation of fallout development and losses of the nitrogen compounds within the research plots of the Forestry and Game Management Research Institute, Prague in the period from the mid-1990s to 2007 (Tab. 1). In the Czech Republic, as well as in the whole Central Europe, the emission of  $\text{NO}_x$  and  $\text{NH}_3$  has been reduced since the late 1980s. That also resulted in significantly lower imission of a decrease of the fallout of nitrogen compounds, particularly of  $\text{NH}_4^+$ , mainly in the regions that suffered from exceptionally high levels of air pollution in the past. It resulted also in significantly lower emissions of the nitrogen deposition on most investigated plots. After 2001, the decrease of the nitrogen fallout has remained questionable.

Deposition of Nt ( $\text{N}/\text{NO}_3^- + \text{N}/\text{NH}_4^+$ ) and NT, lower than  $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ , was recorded in the forest ecosystems of southern Bohemia and in the near surroundings of Prague. In surface water supplies of the mountain watersheds exposed to air flow, such as Malá Ráztoka, U Vodárny, Šerlich, Moldava, the average  $\text{NO}_3^-$  concentrations of  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  were prevailing, which together with higher water outflow (Ho) caused the annual total nitrogen loss (Nt and NT) of  $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  within the watershed. The young, mostly spruce stands in the watershed Červík A caused lower  $\text{NO}_3^-$  concentrations in water runoff, compared to the mature, mostly spruce stands in the watershed Červík B (Tab. 2).

In 2006 and 2007, the total nitrogen fallout exceeded  $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$  within the 11 plots of intensive ICP Forests monitoring (level II), with only one exception (Tab. 3).

In the process of water quality monitoring focused on small forest streams (674 in total), concentrations  $< 15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  were found in the majority of cases which proved water safe even for infants. The average values of all samples reached  $5.12 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

In the watersheds situated at lower elevations, and also in Zdíkov (U Lizu) and Červík, lower amount of  $\text{NO}_3^-$  was eluted in comparison with precipitation input, and these ions were probably absorbed by forest ecosystems. In the Moldava and Šerlich watersheds, amounts of nitrates were flowed out, higher than the precipitation amounts, therefore  $\text{NO}_3^-$  ions formed in the process of nitrification of  $\text{NH}_4^+$  ions of deposition were eluted. The process of nitrification and elution of the nitrate ions causes acidification of the soil environment (up to  $1 \text{ kmol}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ) (Tab. 4).

Within the research plots, both on forest-free and afforested areas, the lowest total nitrogen fallouts were recorded in the plot Třebotov situated in the Bohemian Karst (Český kras) and in the ICP Forests plot Březka near Prague. Both plots lie in the region of relatively low precipitations (year average around 550 mm). In the 1990s, the highest nitrate fallout was measured in the plot Šerlich, Orlické hory Mts. ( $41.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ), and, in 2006 and 2007, in the ICP Forests plot Luisino údolí, Orlické hory Mts. ( $42.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ).

In comparison with ICP Forests Report 2008 (LORENZ et al. 2008), the annual average fallout of nitrate nitrogen in throughfall precipitations ( $\text{N}/\text{NO}_3^- = 8.41 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ) belonged to the one third of the plots with the highest deposition in 2003–2005 in the Czech Republic, and the average  $\text{N}/\text{NH}_4^+$  fallout ( $8.06 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ) was among those listed in the first quarter of plots with the highest values in Europe.

With respect to stability of the forest ecosystems and water supplies quality, it is necessary to increase the proportion of the broadleaved tree species. In the stands of critical insufficiency of other nutrients in assimilation organs and in soil, appropriate measures should be also applied in order to support forest stand stability, taking into consideration all non-wood-producing forest functions.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Zdeněk Vícha, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.  
Na Půstkách 39 Frýdek-Místek Česká republika  
tel.: 724 222 242; e-mail: vicha@vulhm.cz