

TREND ZÁTĚŽE DUSÍKEM POSTIHUJÍCÍ ZÁJMOVOU OBLAST ORLICKÝCH HOR

TREND OF NITROGEN LOAD AFFECTING THE SPECIAL-INTEREST REGION OF THE ORLICKÉ HORY MTS. (CZECH REPUBLIC)

FRANTIŠEK ŠACH ✉ - VLADIMÍR ČERNOHOUS - EVELÍNA ERBANOVA - DUŠAN KACÁLEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

✉ e-mail: sach@vulhmop.cz

ABSTRACT

High nitrogen load threatens both forest stability and functioning over long time. The objective of the study was to monitor changes in NO_x load trend. Secondary objectives were investigations of N deposition balance, N consumption by forest and N export from the U Dvou louček (UDL) watershed. Additional surface water sampling concerned with nitrate concentration in the streams and springs of the Orlické hory Mts. (Czech Republic). Atmospheric NO_x concentrations were the highest in winter and the lowest in summer amounting $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Linear trends of N- NH_4 , N- NO_3 and N-total were slightly falling over time. The higher precipitation, the greater N-compound deposition was found. Atmospheric N- NO_3 deposition exceeded the N- NH_4 one. Both components' throughfall depositions under mature spruce exceeded their open-area depositions. Total throughfall N under mature spruce was greater than that of mature beech. Stemflow of the mature beech contained more N compared to mature spruce. More N deposited in 2014–2016 compared to 2011–2013. The 90% of the UDL watershed was young spruce stand in 2013–2016; the difference between deposited and exported N represented N consumption ($14.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) by the young small-pole spruces. Surface waters sampling did not reveal any excessive concentrations of nitrate. UDL runoff water exported substantially more nitrate in winter compared to summer peak. This is attributable to ceased nitrate consumption by the dormant forest ecosystem.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: horské lesy; lesopěstební kombinace; atmosférická koncentrace; mokrá depozice; odtok z povodí; amoniakální N; nitrátový N; trendy zátěže N

Key words: mountain forest; silvicultural combinations; atmospheric concentration; wet deposition; catchment streamwater runoff; ammonium N; nitrate N; nitrogen-load trends

ÚVOD

Vysoká zátěž sloučeninami dusíku dlouhodobě vede k ohrožování stability porostů a následného plnění funkcí lesa ve vyšších a horských polohách. Jednou z nejzátěženějších lesních oblastí v České republice jsou Orlické hory (HRUŠKA et al. 2003; ГОТТОВА 2003). Zde je zátěž depozicí dusíku vysoká, akumuluje se dusík v lesním ekosystému a čásem negativně ovlivňuje prostředí (LUNDBORG 1997; FENN et al. 1998; PETERJOHN et al. 1999). Významnou složkou antropogenní depozice dusíku označované jako NO_x jsou oxid dusnatý – NO a oxid dusičitý – NO_2 (viz např. MŽP 2006).

Přírodní lesní oblast Orlické hory (PLO 25) je depozicí sloučenin dusíku ohrožována zejména v 6. a 7. lesním vegetačním stupni (lvs), eventuálně i v stupni 5. V Orlických horách se jedná také o ochranu vody a půdy, protože celá přírodní oblast Orlické hory byla již před 39 lety vyhlášena nařízením vlády ČR č. 40/1978 Sb. chráněnou oblastí přirozené akumulace vod (CHOPAV). Vysoká zátěž dusíku byla

prokazována již od devadesátých let 20. století. Její vliv v krajině byl řešen v projektu NAZV QI112A174 „Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině“. Řešení problematiky pokračuje v projektu NAZV QJ1520291 „Pěstební opatření na podporu odolnosti lesních porostů vůči vlivům zvýšených depozic dusíku“.

V současné literatuře se vyskytují značně rozdílné názory, jak využít potenciál pěstebních zásahů na snížení dopadu zátěže dusíkem na produkční i mimoprodukční funkce lesa v závislosti na stanovištních a porostních podmínkách (DE VRIES et al. 2012; KREUTZER et al. 2009). Současné návrhy předpokládají zejména rozdílné formy vývozu biomasy, volbu dřevinné skladby a pěstební zásahy (LUNDBORG 1997; MUND et al. 2002). Tyto otázky budou předmětem dalších publikací vzniklých řešením výše zmíněného projektu.

K problematice koncentrací nitrátů a amoniakálních iontů ve vodě povrchových toků byl zpracován přehled poznatků, potřebný k praktickým šetřením v zájmové oblasti. Od devadesátých let 20. století dochází

k trvalému snižování atmosférické depozice látek antropogenního původu. V České republice mezi nejvíce zasažené oblasti patří území kolem průmyslových komplexů, sídelní aglomerace a vrcholové části hor. NOVOTNÝ et al. (2016) konstatovali pro podmínky v České republice zvýšenou koncentraci celkového dusíku v nadložním humusu a svrchních 20 cm minerální půdy. V důsledku této depozice bylo na čtvrtině sledovaných ploch konstatováno zvýšené zastoupení nitrofilních druhů rostlin (NOVOTNÝ et al. 2016). I přes nepopiratelné snížení depozice sloučenin síry (ZAPLETAL 2014) zůstává depozice sloučenin dusíku v horských oblastech značným problémem (LOCHMAN et al. 2008; ŠRÁMEK et al. 2013). HOŠEK et al. (2007) a VACEK et al. (2013) poukazují na přetrvávající depozice dusíku v Krkonoších a NOVOTNÝ et al. (2008) uvádějí nepříznivou situaci ve Slezských Beskydách. Nejnověji podali komplexní informaci o depozici sloučenin dusíku v rámci celé České republiky OULEHLE et al. (2016).

Orlické hory patří stále k oblastem s nejvyšší celkovou mokrou depozicí dusíku (součet mokrých depozic $N-NH_4$ a $N-NO_3$) na našem území (ČHMÚ 2013; HŮNOVÁ et al. 2016). Přestože se akutní dopady imisní zátěže na lesní ekosystémy Orlických hor téměř neobjevují, zvýšené depozice dusíku představují nadále rizika pokračující acidifikace lesních půd a nadměrného vstupu dusíku do lesního ekosystému, který vytváří podmínky pro působení biotických i abiotických škodlivých činitelů, např. houbových chorob, škod mrazem, sněhem a větrem, a to v důsledku nepřiměřeného růstu a horšího vyžrávání zejména smrku (SONNLEITNER et al. 2001).

VEJPUŠTKOVÁ et al. (2004) např. již dříve poukázali na náznak negativní korelace růstu smrku a depozic dusíku. Na zvýšení depozice dusíku se podílejí lesní porosty vyčesáváním usazených srážek, což může představovat např. 123 % NH_4 a 81 % NO_3 depozice vertikálními srážkami (TESAŘ et al. 2004). Dlouhodobá zátěž dusíkem může být příčinou destabilizace ekosystému, provázené zvýšeným výstupem dusíku ve formě dusičnanů do podzemní (ZÁHORA et al. 2011) či povrchové (SCHELKER et al. 2016) vody. LOCHMAN et al. (2008) doložili, že jednoznačné trendy poklesu depozice imisních látek nesouhlasí se změnou koncentrací těchto látek ve vodě. Doložili vzrůst koncentrace nitrátů na třech povodích s dospělými smrkovými porosty, ačkoliv na stejných povodích docházelo k poklesu depozice sloučenin dusíku. Množství nitrátů vyplavených z půdy je ovlivněno mírou nitrifikace amonných iontů; deponované amonné ionty jsou v půdě více zadržovány (NOVÁK 1999). Proces nitrifikace navíc přispívá k acidifikaci půdy (SINGER, MUNNS 1996). Koncentrace nitrátů v tekoucí povrchové vodě závisí také na období vegetace a vegetačního klidu. Koncentrace nitrátu ve vodě může být ovlivněna rovněž koncentrací rozpuštěného organického dusíku (WYMORE et al. 2015).

Prvotním cílem práce, na který navazují další etapy řešení projektu, je tedy zjistit, zda se mění či nemění trend zátěže dusíkem v dlouhodobé časové řadě (koncentrace, depozice sloučenin N). Dílčími cíli jsou bilance depozice, spotřeby a odnosu dusíku z povodí U Dvou louček (UDL) a hodnocení obsahu nitrátů v povrchových vodách zájmového území Orlických hor a jejich podhůří.

MATERIÁL A METODIKA

Komparace stavu a trendů koncentrace NO_x a depozice $N-NO_3$, $N-NH_4$ a celkového N v dlouhodobé časové řadě

Z cíle práce vyplynula potřeba zpracovat stav koncentrace NO_x a depozice $N-NO_3$, $N-NH_4$ a celkového N. Jsou hodnoceny jejich trendy v dlouhodobé časové řadě od roku 1995 (koncentrace), resp. 1993 (depozice) do roku 2013 před započtím projektu a porovnán jejich vývoj s lety průběhu řešení projektu 2014–2016. Data jsou přebírána ze stanice automatizovaného monitoringu ČHMÚ na Šerlichu

(1 010 m n. m.) a Polomu (747 m n. m.), metoda měření CHLM (chemiluminiscence), depozice z šetření na experimentálním povodí U Dvou louček (UDL), (900 m n. m.), provozovaném dlouhodobě VŮLHM – Výzkumnou stanicí v Opočně (volná plocha, plochy pod mladým i dospělým porostem smrku a pod dospělým porostem buku) ve spolupráci s Českou geologickou službou (sít malých lesních povodí GEOMON; FOTTOVÁ 2003). Na zmíněných plochách byla rovněž sledována saturace půdy (půdní voda) a hodnocena saturace povodí (voda ve vodoteči ze závěrového profilu povodí).

Z práce LOCHMAN, KANTOR (1985) jsme nově odvodili vztahy pro podkorunové srážky (throughfall) a stok dusíku po kmeni (stemflow) smrku a buku. Tyto vztahy jsme vyjádřili následujícími rovnicemi:

pro smrk:

throughfall $N-NH_4$ 97 % + stemflow $N-NH_4$ 3 % = porostní srážky $N-NH_4$ 100%

throughfall $N-NO_3$ 96 % + stemflow $N-NO_3$ 4 % = porostní srážky $N-NO_3$ 100%

pro buk:

throughfall $N-NH_4$ 85 % + stemflow $N-NH_4$ 15 % = porostní srážky $N-NH_4$ 100%

throughfall $N-NO_3$ 57 % + stemflow $N-NO_3$ 43 % = porostní srážky $N-NO_3$ 100%

Uvedené vztahy musely být odvozeny z důvodu neměření stoku sloučeninového dusíku po kmeni na experimentálním povodí UDL, kde se N měří pouze v podkorunových srážkách.

Koncentrace nitrátů a amonných iontů ve vodě povrchových toků zájmového území

K problematice koncentrací nitrátového a amonného dusíku ve vodě povrchových toků zájmového území byly odebrány vzorky povrchových vod. Všechny koncentrace jsou v řádu miligramů N v litru vody. Vzorky povrchových tekoucích vod v zájmovém území Orlických hor byly odebrány 1. 10. 2015, 11. 5. 2016 a 20. 10. 2016. Odběry v roce 2015 předcházelo dlouhé období s malými srážkami a vysokými teplotami. To znamená, že vodní toky byly v době odběru v roce 2015 v režimu blízkém úrovni základního odtoku. Celkově bylo vzorkováno 23 profilů vodních toků, dva prameny ve vrcholové části hor (Valinův pramen a Pěticestí) a jeden pramen nedaleko Orlického Záhoří (tab. 1). Vzorky v plastových lahvích byly po transportu na VS Opočno zmrazeny a poté odvezeny k analýzám do laboratoře VŮLHM, v. v. i., ve Strnadlech. V roce 2015 byly hodnoceny následující charakteristiky: pH, koncentrace fosforečnanů ($P-PO_4$), koncentrace amoniakálního ($N-NH_4$), dusitanového ($N-NO_2$) a dusičnanového ($N-NO_3$) dusíku a koncentrace vybraných prvků (K, Ca, Mg, Al). Odběry v roce 2016 byly provedeny s cílem dokumentovat období na začátku vegetační doby a období s bohatšími srážkami. V roce 2016 byl analyzován pouze dusík.

VÝSLEDKY

Výsledkem bylo zpracování a komparace stavu a trendů za předchozí dobu sledování do započtí projektu do roku 2013 a během let 2014 až 2016 v době řešení projektu.

Komparace stavu a trendů koncentrace NO_x a depozice $N-NO_3$, $N-NH_4$ a celkového N v dlouhodobé časové řadě

Atmosférické koncentrace NO_x , v nichž převažuje NO_2 , oscilovaly především podle ročního období (obr. 1). Nejvyšších hodnot dosaho-

Tab. 1.

Seznam odběrných míst vzorků povrchové vody podle vzrůstající nadmořské výšky

The list of sampled surface water streams following the rising altitude

Lokalita (zkratka) ¹	GPS	Nadmořská výška ² (m)	Datum odběru ³		
			1. 10. 2015	11. 5. 2016	20. 10. 2016
Valské údolí (VÚ)	50.3078331N, 16.2026803E	377		x	x
Liberk (LIB)	50.2062142N, 16.3432281E	450	x		
Česká Čermná (Č.Č.)	50.3830400N, 16.2252122E	490	x	x	x
Janovský potok (JP)	50.3289683N, 16.2497003E	495	x		x
Tisovec (TIS)	50.2596453N, 16.3403742E	585		x	
Tulešov (KOUT 2)	50.2929594N, 16.3222594E	627			x
Liberský potok, Kačerov (KČ)	50.2320742N, 16.3823239E	630		x	x
Kněžná nad Polankou (KN)	50.2462375N, 16.3764875E	645		x	x
Olešenka, nad Olešnicí (OL)	50.3675881N, 16.3251242E	650	x		
Zvonkové údolí (ZVK)	50.2337292N, 16.5252536E	650	x		
Skautský tábor (SKAUT)	50.2600478N, 16.4932389E	670	x		
pod Bedřichovkou (ORLICE)	50.3045758N, 16.4491861E	690	x		
Koutský potok (KOUT)	50.3035308N, 16.3224633E	725		x	
Trčkov, potok (TRČ 1)	50.3104394N, 16.4238769E	765	x		
Nad Sklárnou (NSK)	50.2406744N, 16.4817803E	820	x	x	x
Deštné, Kantor (KAN)	50.3184458N, 16.3591606E	825		x	x
Pod Malou Deštnou (PMD)	50.3115742N, 16.3837939E	840	x	x	x
Olešenka (PVR)	50.3519367N, 16.3515858E	880	x	x	x
U Dvou louček (UDL)	50.2200108N, 16.4966181E	880	x	x	x
Trčkov, prameniště (TRČ 2)	50.3117639N, 16.4116139E	880	x		
Luisino údolí (LÚ)	50.2911669N, 16.3912136E	900	x		
Locenská cesta (LC)	50.2944253N, 16.4069681E	970	x	x	x
Pěticestí (5cest)	50.2410125N, 16.4560417E	990	x	x	
údolí Bělé (ÚB)	50.3445481N, 16.3584683E	1010	x	x	x
pod Orlem (OREL)	50.2860692N, 16.4214306E	1010	x	x	x
Valinův pramen (VP)	50.2843039N, 16.4302819E	1045		x	x

Captions: 1 – sampling site (abbreviation); 2 – altitude; 3 – date of sampling

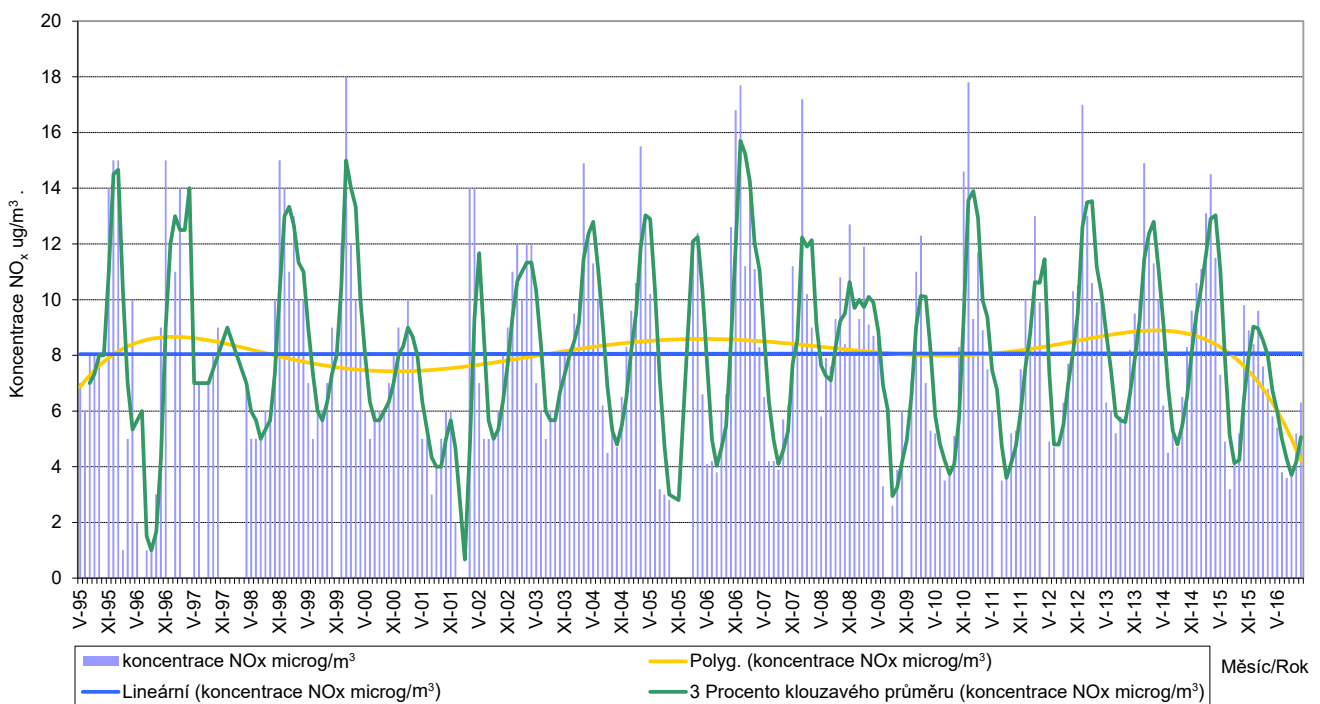
vály v zimě (v zimních hydrologických půlrocích listopad – duben), v průměru $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejnižších v létě (v letních hydrologických půlrocích květen – říjen), $6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Tyto oscilace byly dobře vystiženy trendem klouzavých průměrů ze tří po sobě jdoucích hodnot. Trend lineární a polynomický trend 6. stupně naznačují v dlouhodobé řadě nevýznamný vzestup. V letech řešení projektu 2014 až 2016 (obr. 1) byl zaznamenán náznak poklesu polynomického trendu v posledních třech hydrologických letech (2014 až 2016) oproti letům předchozím (2011 až 2013).

Depozice sloučeninového dusíku oscilují (viz obr. 2). Oscilace depozic mohou souviset s klimatickými výkyvy (obr. 3), ale zřejmě i s antropogenními aktivitami. Z teorie klimatických výkyvů je známo, že nejsou náhodnou veličinou (SVOBODA 2009). Objevují se v mnoha periodických složkách o nesterjné délce. Periodičnost klimatických oscilací a zlomové body lze jen obtížně odhadnout. Z grafu na obr. 2 je zřetelné, že periodický vliv výkyvů depozic dusíku se děje v cyklech nesterjné délky a nesterjné intenzity. Také zde lze zlomové body jen obtížně odhadovat. Je možné indukovat, že periodičnost oscilací depozic dusíku sleduje oscilace klimatické (obr. 3). Nebo jinak, periodičnost klimatických oscilací je následována periodičností oscilací depozic. Čím vyšší teplota vzduchu, tím nižší srážky a odtoky a naopak. Sloučeninový dusík amoniakální (čpavkový), nitrátový (dusičnanový) a celkový osciluje podle polynomického trendu 6. stupně, lineární trendy jsou převážně mírně sestupné. Čím vyšší srážky, tím vyšší depozice dusíku. Atmosférické depozice nitrátového dusíku převyšovaly depozice dusíku amoniakálního.

Atmosférické depozice obou forem dusíku pod dospělým smrkovým porostem přesahovaly depozice na volné ploše. Depozice na volné ploše a v porostních srážkách (podkorunové srážky neboli through-fall a stok po kmeni neboli stemflow) jsou prezentovány na obr. 4–8. Oscilace depozic zde souvisí s klimatickými výkyvy (obr. 3), ale i s porostními poměry (obr. 4–8).

Atmosférická depozice celkového dusíku v podkorunových srážkách na obr. 4 prezentuje množství sloučeninového dusíku jednak pod korunami dospělého porostu smrkového, jednak pod korunami dospělého porostu bukového. Tato podkorunová depozice celkového dusíku byla evidentně vyšší pod korunami dospělého smrku než dospělého buku. To je dáno vyšším množstvím biomasy jehličí než biomasy listů. V prvních třech hydrologických letech (dále jen hydroletech) řešení projektu 2014 a 2016 stoupla podkorunová depozice celkového dusíku oproti předchozím letům méně v bukovém a více ve smrkovém porostu. Stok po kmeni buku obsahoval vyšší množství celkového dusíku než stok po kmeni dospělého smrku (obr. 5). To je dáno výrazně větším množstvím stoku látek po kmeni buku než smrku (LOCHMAN, KANTOR 1985).

Atmosférická depozice celkového dusíku (N-NH_4 a N-NO_3) na volné ploše a v porostních srážkách (podkorunové srážky a stok po kmeni) pod oběma porosty je ukázána na obr. 6. Započítání depozice dusíku ze stoku po kmeni může mít v některých hydrologických letech za následek vyšší atmosférickou depozici celkového dusíku pod bukovým porostem než pod porostem smrkovým, např. v roce 2008 a 2011. V grafu na obr. 6 je patrný vzestup depozice N_{celk} v prvních třech hyd-



Obr. 1. Atmosférické koncentrace NO_x na lokalitě Šerlich a Polom

Fig. 1. Concentration of NO_x at the Šerlich and Polom sites in the Orlické hory Mts. during 1995–2016 water years

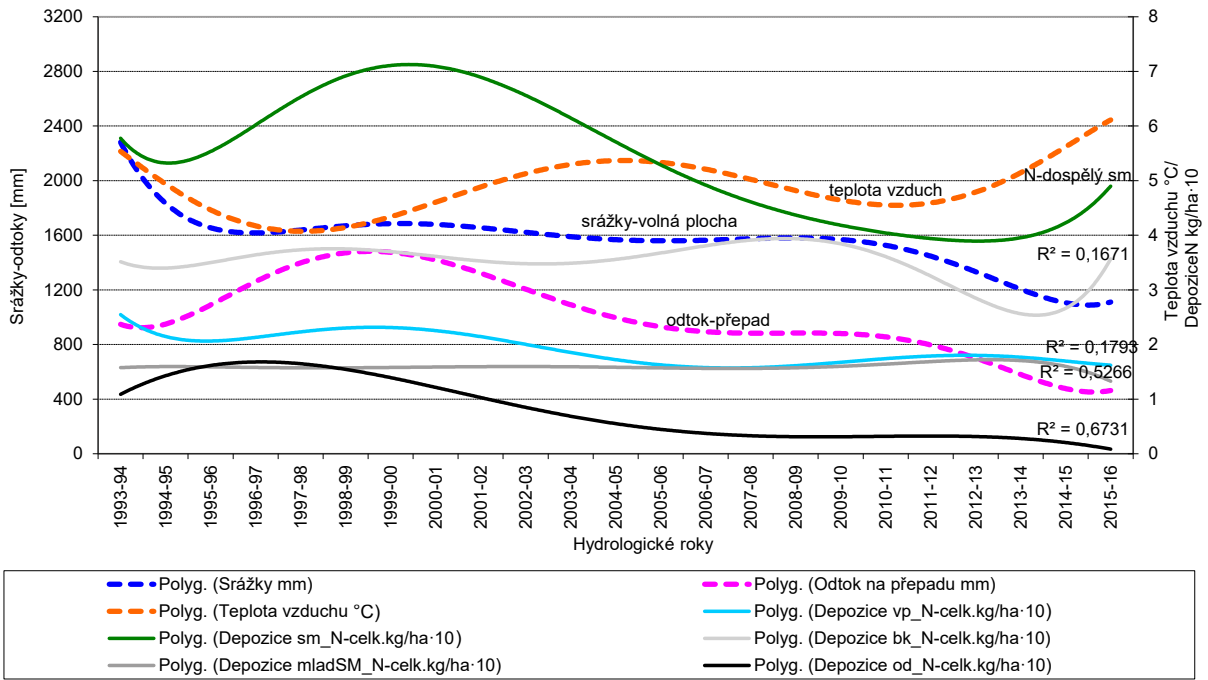
Captions: koncentrace NO_x – NO_x concentration; polynomický trend – polynomial trend in powers of 6; lineární trend – linear trend; klouzavý průměr 3 – the 3-term moving average

rologických letech řešení projektu 2014 až 2016 oproti letům předchozím 2011 až 2013.

Dusík v porostních srážkách jednotlivě dle obou sloučenin, tedy N-NH₄ a N-NO₃, v atmosférické depozici na volné ploše a pod dospělým smrkovým a bukovým porostem a v odtoku na přepadu ukazuje

obr. 7. Zřejmá je větší depozice N-NO₃ v pořadí střídavě nejvyšší v odtoku z povodí a na volné ploše, vyšší pod dospělým porostem buku a nejvyšší pod dospělým porostem smrku.

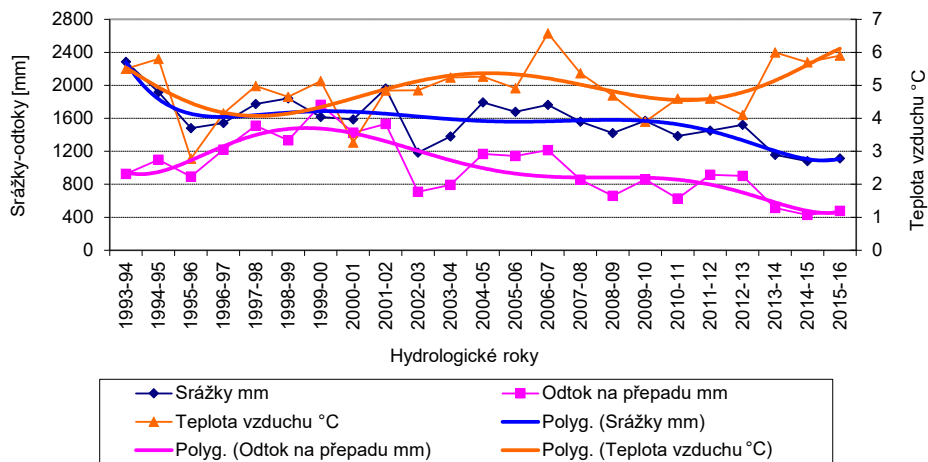
Vzhledem ke skutečnosti, že ca 90 % plochy experimentálního povodí je pokryto smrkovou tyčkovinou, bylo započato s měřením a hod-



Obr. 2. Oscilace depozic sloučenin dusíku sledující klimatické oscilace

Fig. 2. Oscillations of nitrogen-compound deposition following the climatic oscillations

Captions: srážky – precipitation; od – odtoky na přepadu – runoff at the catchment outlet; teplota vzduchu – air temperature °C; depozice N – N-deposition; vp – volná plocha – open area; sm – mature spruce stand; bk – mature beech stand; mladSM – young spruce stand; polynomický trend – polynomial trend in powers of 6



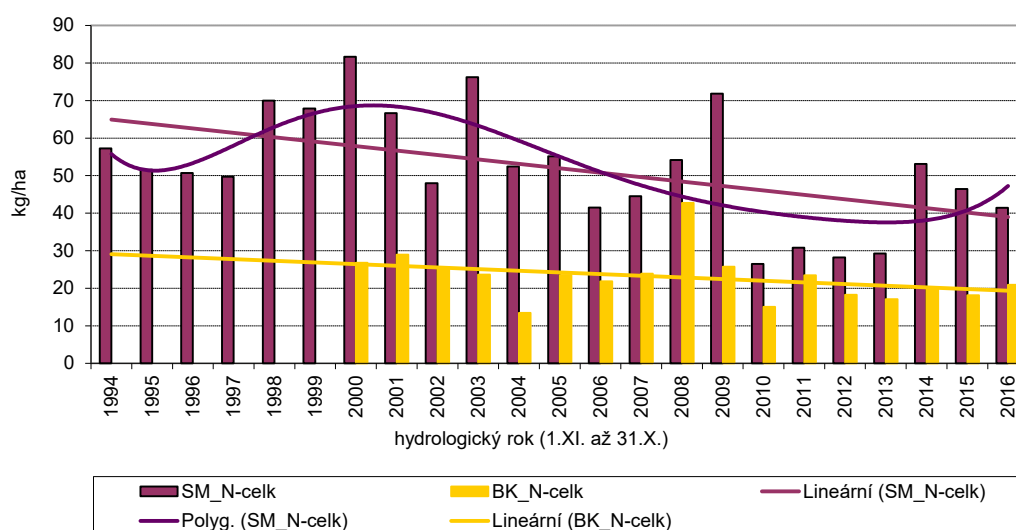
Obr. 3. Trendy klimatických a hydrologických oscilací na povodí U Dvou louček

Fig. 3. Trends of climatic and hydrological oscillations in the U Dvou louček catchment (for captions see Fig. 2.)

nocením depozice dusíku také pod těmito mladými porosty. Balance dusíku v povodí za poslední 4 hydrologické roky (2013 až 2016) je znázorněna v grafu na obr. 8. Od množství dusíku v podkorunových srážkách byl odečten odtok dusíku z povodí na přepadu, výsledek pak byl pokládán za spotřebu dusíku porostem, která se zde pohybovala okolo 14,5 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Odtud lze odvodit, že povodí je dusíkem v podstatě saturováno a spotřeba dusíku je odpovídající dosaženému růstovému stupni porostů. Zbytek depozice dusíku se pak půdou dostává do vodoteče.

Koncentrace nitrátů a amonných iontů ve vodě povrchových toků zájmového území

V říjnu 2015 se koncentrace N-NO₃ na zájmovém území pohybovaly od 0,07 do 3,70 mg.l⁻¹. Koncentrace N-NO₂ byly ve všech případech na hranici detekce 0,018 mg.l⁻¹. Koncentrace N-NH₄ činila 0,012–0,080 mg.l⁻¹. U žádného vzorku nebylo překročeno maximum 50 mg.l⁻¹ NO₃⁻ (tj. 11,30 mg.l⁻¹ N-NO₃) a 0,50 mg.l⁻¹ NH₄⁺ (0,39 mg.l⁻¹ N-NH₄) stanovené pro pitnou vodu vyhláškou č. 252/2004 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

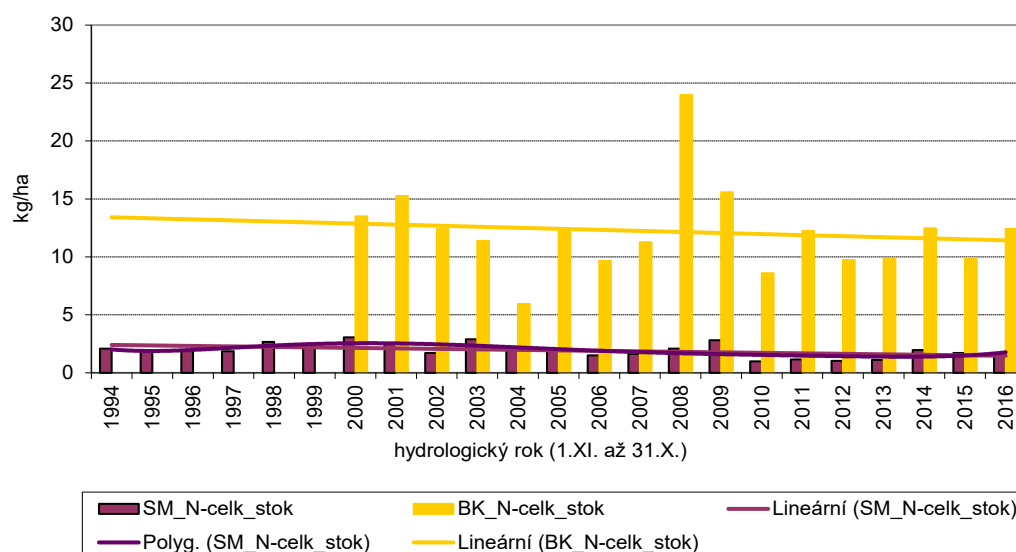


Obr. 4.

Celková depozice dusíku v podkorunových srážkách v dospělém smrkovém a bukovém porostu

Fig. 4.

Total nitrogen deposition in throughfall precipitation in mature spruce and beech stands (for captions see Fig 2).



Obr. 5.

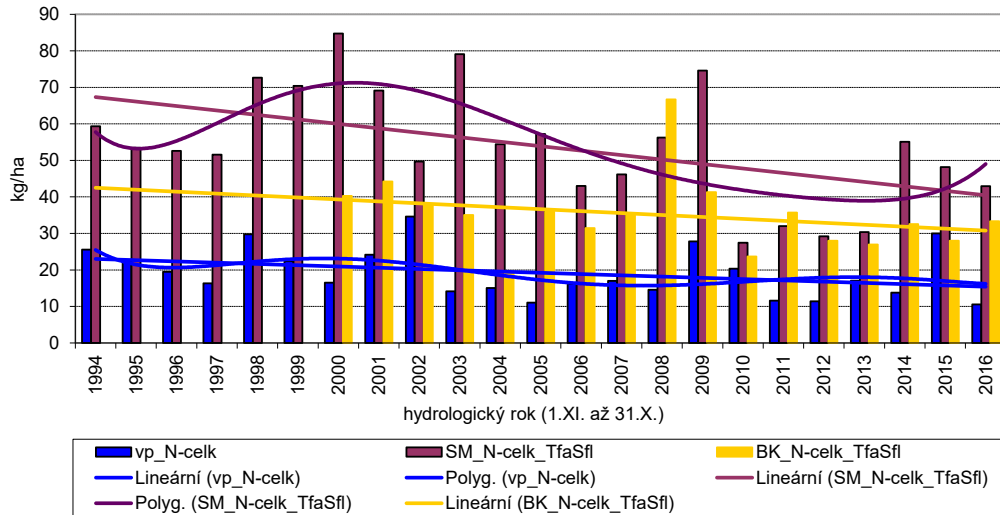
Celková depozice dusíku ve stoku po kmenech dospělého smrkového a bukového porostu

Fig. 5.

Total nitrogen deposition in stemflow precipitation of mature spruce and beech stands (for captions see Fig. 2).

V květnu 2016 se koncentrace N-NO₃ na zájmovém území pohybovaly v rozmezí od 0,02 do 6,07 mg.l⁻¹. Pro koncentrace N-NO₂ a N-NH₄ platily hodnoty pod hranici detekce analytické metody.

V říjnu 2016 se koncentrace N-NO₃ na zájmovém území pohybovaly v rozmezí od 0,07 mg.l⁻¹ do 2,85 mg.l⁻¹. Pro koncentrace N-NO₂ a N-NH₄ opět platily hodnoty pod hranici detekce analytické metody.

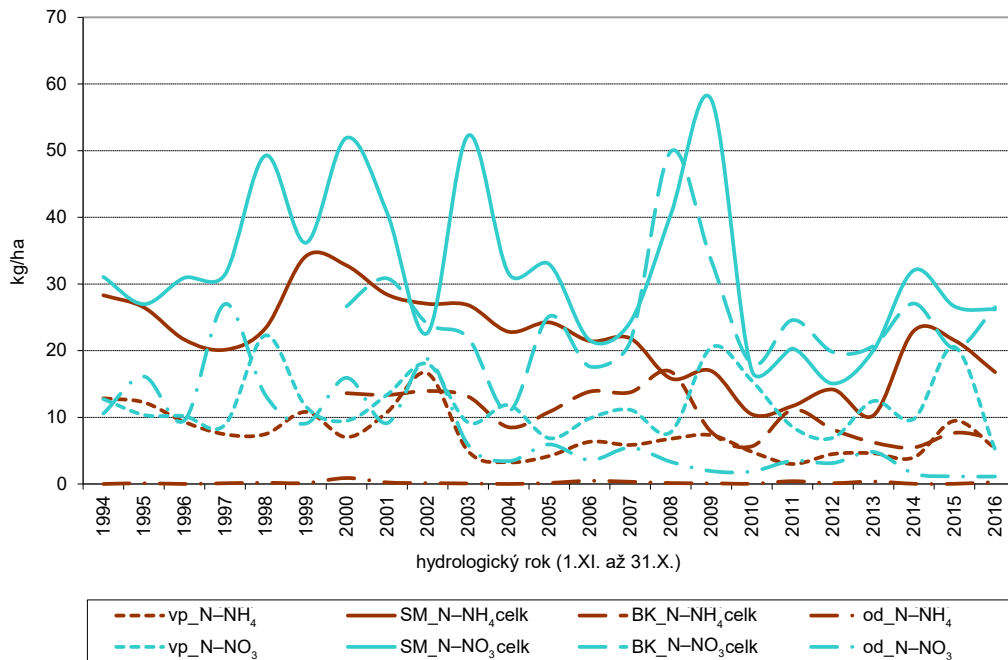


Obr. 6.

Celková depozice dusíku na volné ploše, v porostních srážkách (podkorunové srážky plus stok po kmeni) pod dospělým smrkovým a bukovým porostem

Fig. 6.

Total nitrogen deposition in precipitation of open area and in net precipitation (throughfall – Tfa plus stemflow – Sfl) under mature spruce and beech stands (for captions see Fig 2.)



Obr. 7.

Celková depozice dusíku na volné ploše a v porostních srážkách pod dospělým porostem smrku a buku a odtok dusíku na přepadu diferencovaný podle sloučenin N

Fig. 7.

Nitrogen wet deposition in precipitation of open area, in net precipitation (throughfall plus stemflow) under mature spruce and beech stands and in runoff water from the catchment outlet, differentiated by nitrogen compounds (NH₄ and NO₃) (for captions see Fig 2.)

Ani třikrát opakované vzorkování povrchových vod zájmového území (obr. 9) nezaznamenalo zvýšený export nitrátů vodními toky. Zřejmý je trend vyšších koncentrací nitrátů ve vodních tocích podhůří ve srovnání s vrcholovými polohami Orlických hor.

V závěrečném profilu dlouhodobě sledovaného povodí UDL se ukazují zřetelné rozdíly v ročním chodu odnosu nitrátů. V období vegetačního klidu, kdy je příjem nitrátů mikro i makro rostlinnou složkou lesního ekosystému povodí snížen, je vodním tokem odnášeno řádově více NO_3^- ve srovnání s vrcholem léta (obr. 10, 11). V zimním hydrologickém půlroce je patrný dvojrcholový zvýšený odnos nitrátů v lednu a před začátkem vegetační doby v březnu při tání sněhu (obr. 11).

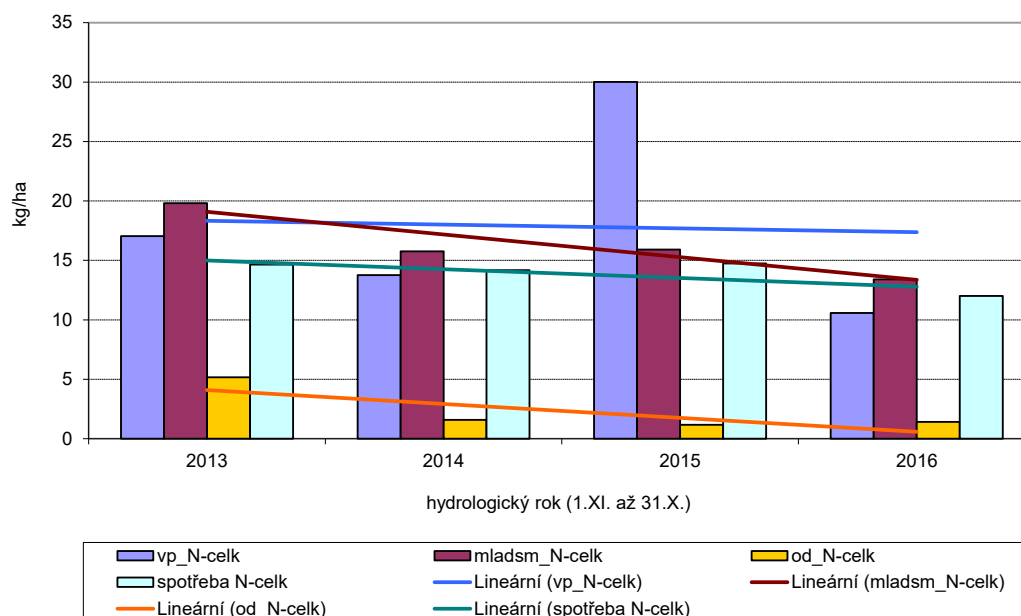
DISKUSE

Depozice N sloučenin a bilance N v biomase

V letech řešení projektu 2014 až 2016 zaznamenaný náznak poklesu polynomického trendu koncentrací NO_3^- v posledních třech hydrologických letech (2014 až 2016) oproti letům předchozím (2011 až 2013) dokládá také trend snižující se atmosférické depozice dusíku zjištěný OULEHLEM et al. (2016). Atmosférická depozice celkového dusíku byla na povodí UDL pozoruhodná nápadně velkým rozdílem mezi dospělým porostem smrku, ale i buku na jedné straně a volnou plochou na straně druhé. Tato vysoká porostní depozice dusíku by se měla projevit v odtoku dusíku ve vodoteči, nebo ve zvýšeném obsahu v půdě. Ani jedno jsme však nezaznamenali. Uvažujeme-li roční spotřebu dusíku dospělým smrkovým porostem okolo $13,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, či porostem bukovým okolo $16,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (LOCHMAN, KANTOR 1985), můžeme předpokládat významné uvolňování dusíku denitrifikací, tzn.

mikrobiální redukcí NO_3^- přes N_2O na N_2 . Při denitrifikaci NO_3^- se v oxidu N_2O nachází ca 80 % N a oxid N_2O je považován za účinnější skleníkový plyn než CO_2 . Pro proces denitrifikace jsou na experimentálním povodí UDL příznivé podmínky (NUTTER, MORRIS 2004), jako částečně zamokřená a odvodněná stanoviště, bohatá uhlíkem v povrchové vrstvě půdy, „přihnojovaná“ vysokou depozicí dusíku N-NH_4^+ a zejména N-NO_3^- . Ačkoliv na UDL atmosférické depozice nitrátového dusíku převyšovaly depozice dusíku amoniakálního, TETEMA et al. (1998) již dříve upozornili na zajímavou preferenci smrkového lesa zadržovat více amonný než nitrátový iont. Výrazně je tento nepoměr patrný v kyselých půdách. Zajímavé srovnání sousedícího smrkového a bukového porostu na kambizemi ve středním Německu poskytli nově WEN et al. (2017), kde doložili vyšší emise N_2O z bukového než smrkového porostu.

Z pohledu bilance dusíku lesnatých území jsou atmosférická depozice a fixace v biomase a půdě procesy, kterými dusík vstupuje, zatímco odvoz vytěženého dřeva a denitrifikace představují výstupy dusíku z ekosystému (VAN BREEMEN 2002). LUNDBORG (1997) kalkuluje, že důsledným odstraňováním těžebních zbytků z boreálních smrčin lze na stanovištích přetížených dusíkatou depozicí snížit zátěž N za 80–100letou obmýtní dobu ca o $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. LUNDBORG (1997) dále předpokládá eventuální zkrácení obmýtní a energetické využití těžebního odpadu při jeho nízkoemisním spalování. Odstraňování nadzemní biomasy by nemělo v žádném případě mít charakter stromové metody s odvozem ochvojeného kletu bohatšího živinami (KUNEŠ et al. 2013) a poškozením nadložního humusu; tato praxe by způsobila desítky let přetrvávající ochuzení stanoviště, a tím i nižší produkci následných porostů (MUSHINSKI et al. 2017). Naopak ve dřevě ponechaném v lese dochází s postupujícím rozkladem a snižováním hustoty k významné fixaci dusíku; ta je dávana do souvislosti s působením dřevokazných a později i mykorrhizních hub (RINNE et al. 2017). Nárůst množství

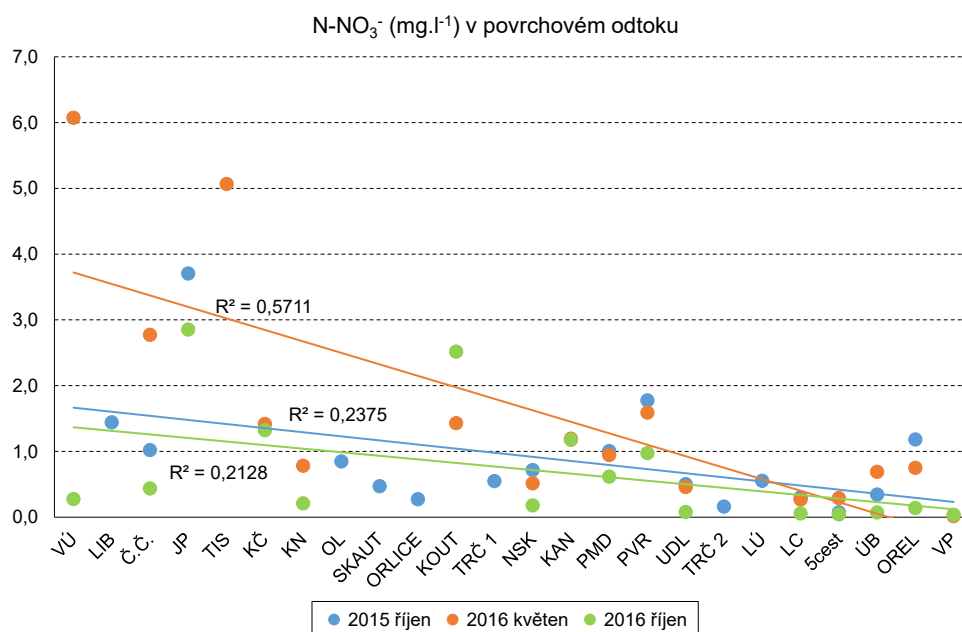


Obr. 8.

Depozice celkového dusíku na volné ploše a v podkorunových srážkách, odtok z povodí a výsledná spotřeba mladým smrkovým porostem v letech 2013–2016

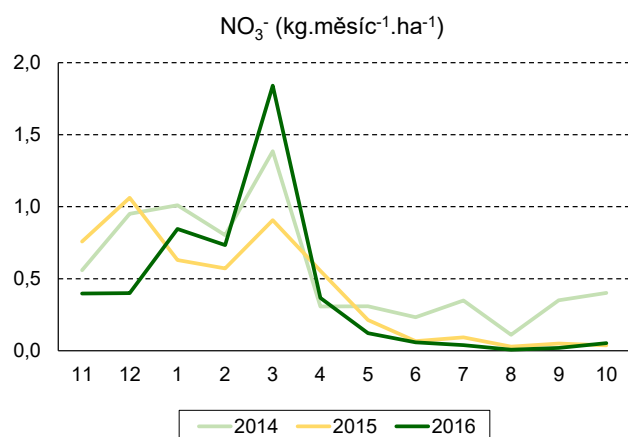
Fig. 8.

Fluxes of total nitrogen in open area precipitation, in throughfall precipitation, and in water runoff from the catchment outlet, and resultant consumption of nitrogen by young spruce stand during 2013–2016 water years (for captions see Fig. 2; spotřeba N celk – consumption of total nitrogen)



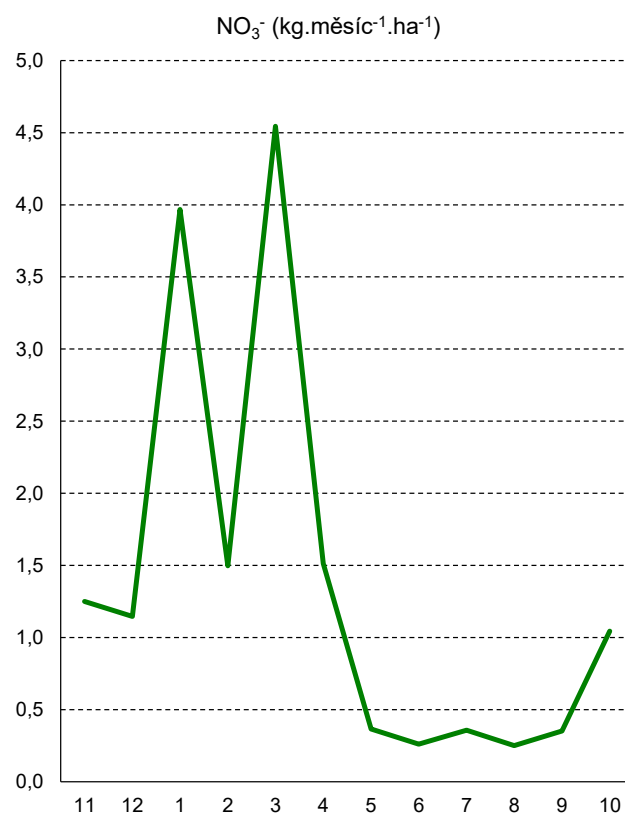
Obr. 9: Koncentrace dusičnanového dusíku ($N-NO_3$) v povrchové vodě zájmového území ze tří odběrů v letech 2015–2016. Lokality jsou zleva doprava řazeny podle vzrůstající nadmořské výšky vzorkovaného toku či pramene (vysvětlivky zkratk viz tab. 1)

Fig. 9: Concentrations of nitrates' nitrogen in surface water from three sampling events in 2015–2016; (note: x axis – localities are in order from left to right according to rising altitude of the sampled streams profile and springs)



Obr. 10. Průměrný měsíční odtok nitrátů z povodí UDL v hydrologických letech 2014–2016

Fig. 10. Mean monthly export of nitrate ($kg \cdot ha^{-1}$) from UDL watershed in hydrological years 2014–2016



Obr. 11. Průměrný měsíční odtok nitrátů z povodí UDL v hydrologických letech 2002–2016

Fig. 11. Mean monthly export of nitrate ($kg \cdot ha^{-1}$) from UDL watershed in hydrological years 2002–2016

dusíku (PALVIAINEN et al. 2010a), fosforu a hořčíku (PALVIAINEN et al. 2010b) byl již dříve dokladován v rozkládajících se smrkových pařezech ve srovnání s březovými.

Nitrát ve vodě

Nízké koncentrace sloučenin dusíku v povrchových vodách jsou připisovány obnovené schopnosti příjmu dusíku lesními ekosystémy po jejich zotavení z období zvýšených imisí (KOLÁŘ et al. 2015). Stejní autoři uvádí, že vysoké ztráty nitrátů do povrchových vod byly v souvislosti s imisemi podmíněny sníženým přírůstem lesa, což dokládají také GODEK et al. (2015). Je zřejmé, že poškození funkce kořenů imisemi vedlo ke snížené schopnosti přijímat nitráty. Stejně tak je jejich přijímání omezeno v době vegetačního klidu (ALEXANDER et al. 2007; ZÁHORA et al. 2011; BETTEZ et al. 2015). Toto potvrzují i naše zjištění týkající se exportu nitrátu z povodí UDL. ŠANTRŮČKOVÁ et al. (2009) doložili zvyšující se míru mikrobiální imobilizace dusíku v opadu a humusu půd dvou šumavských povodí se stoupající teplotou. Dočasné zvýšení maximálních koncentrací nitrátů v odtékající vodě konstatovali BEUDERT et al. (2015) v jehličnatém lese zasaženém velkoplošně gradací *Ips typographus*; koncentrace stoupaly s kumulativním nárůstem plochy s mrtvými smrků. V našich podmínkách podobný proces nárůstu koncentrace nitrátů ve vodě během gradace kůrovce pozorovali KOPÁČEK et al. (2017). Výpadek funkce kořenů odumřením smrků vedl až k trojnásobné koncentraci NO_3^- jak vstupních, tak i výstupních složek vody v systému povodí Plešného jezera; od roku 2011 dochází ke snížení koncentrací směrem k původním poměrům před uschnutím lesa (KOPÁČEK et al. 2017). ŠANTRŮČKOVÁ et al. (2009) uvedli, že rozhodujícím rizikovým faktorem pro zvýšené vyplavení dusíku, spíše než vstup N z atmosféry, je nerovnováha mezi nitrifikací a imobilizací N ve svrchní části půdy. Pokud jde o produkci a konzumaci nitrátů mladým (10 let) a starým (více než 100 let) jehličnatým porostem v Sierra Nevada v Kalifornii, DAVIDSON et al. (1992) ukázali, že na rozdíl od dřívějších názorů může být starý porost srovnatelným producentem i konzumentem nitrátů.

Povrchové vody s obsahem dusičnanů do 1 mg.l^{-1} jsou považovány za čisté; pH by měly mít v rozmezí od 4,5 až do 9,5 (PITTER 1999). V průběhu tří vzorkovacích kampaní byla překročena tato mez pro čistou vodu prakticky u všech vzorků kromě dvou pramenů (5cest, VP), i tak jsou všechny vzorkované toky poměrně čisté, protože limit pro koncentraci dusičnanů v pitné vodě dosahuje $50 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NO}_3^-$ (vyhláška č. 252/2004 Sb.), což po přepočtu na čistý N činí $11,3 \text{ mg N-NO}_3.\text{l}^{-1}$. Rozmezí pH vod odebraných v celém zájmovém území v roce 2015 činilo 4,3–8,4.

ZÁVĚR

Koncentrace NO_x v atmosféře byly nejvyšší v zimě a nejnižší v létě; roky 2014 až 2016 vykázaly oproti rokům 2011 až 2013 mírný pokles. Lineární trendy depozic amoniakálního, nitrátového a celkového dusíku během období hodnocení mírně klesaly. Vyšší srážky měly vazbu na vyšší depozici dusíku. N-NO_3 měl vyšší depozici než N-NH_4 . Obě tyto složky podkorunové depozice byly vyšší pod dospělým smrkem než na volné ploše. Celkový podkorunový N pod dospělým smrkem převyšoval podkorunový N pod dospělým bukem. Stok po kmeni buku obsahoval více N než stok po kmeni smrku. V letech 2013–2016 již bylo více než 90 % plochy povodí UDL pokryto mladým smrkovým porostem. Rozdíl deponovaného a exportovaného dusíku z povodí reprezentuje odhad spotřeby N mladými smrků, ostatní vegetací a mikrobiální složkou ekosystému představující $14,5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$. Vzorkování a analýza povrchových vod zájmového území neodhalilo nadměrné koncentrace nitrátů. Voda v závěrečném profilu povodí UDL odnášela podstatně více nitrátů v zimě ve srovnání s vrcholem

léta, což lze připisovat pozastavenému příjmu nitrátů lesním ekosystémem v době vegetačního klidu.

Poděkování:

Výzkum byl financován z podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků MZe projektu NAZV QJ1520291 „Pěstební opatření na podporu odolnosti lesních porostů vůči vlivům zvýšených depozic dusíku“ a z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0117 (č. j. 6779/2017-MZE-14151). Pro vyhodnocení dlouhodobých trendů depozice dusíku byla využita data ČHMÚ. Dlouhodobé sledování koncentrací nitrátů v odtoku z povodí UDL pochází ze spolupráce s Českou geologickou službou (síť GEOMON).

LITERATURA

- ALEXANDER R.B., BOYER E.W., SMITH R.A., SCHWARZ G.E., MOORE R.B. 2007. The role of headwater streams in downstream water quality. *Journal of the American Water Resources Association*, 43 (1): s. 41–59.
- BETTEZ N.D., DUNCAN J.M., GROFFMAN P.M., BAND L.E., O'NEIL-DUNNE J., KAUSHAL S.S., BELT K.T., LAW N. 2015. Climate variation overwhelms efforts to reduce nitrogen delivery to coastal waters. *Ecosystems*, 18: 1319–1331.
- BEUDERT B., BÄSSLER C., THORN S., NOSS R., SCHRÖDER B., DIEFFENBACH-FRIES H., FOULLOIS N., MÜLLER J. 2015. Bark beetles increase biodiversity while maintaining drinking water quality. *Conservation Letters*, 8 (4): 272–281.
- ČHMÚ. 2013. Grafická ročenka. 2013 [online]. Praha [cit. 2016-04-27]. Dostupné na/Available on: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/IX_depozice_CZ.html
- DAVIDSON E.A., HART S.C., FIRESTONE M.K. 1992. Internal cycling of nitrate in soils of a mature coniferous forest. *Ecology*, 73, 4: 1148–1156.
- DE VRIES W., SOLBERG S., DOBBERTIN M., STERBA H., LAUBHANN D., VAN OIJEN M., EVANS C., GUNDERSEN P., KROS J., WAMELINK G.W.W., REINDS G.J., SUTTON M.A. 2012. The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and heathlands. *Forest Ecology and Management*, 258 (8): 1814–1823.
- FENN M.E., POTH M.A., ABER J.D., BARON J.S., BORMANN B.T., JOHNSON D.W., LEMLY A.D., MAC NULTY S.G., RYAN D.F., STOTTLEMYER R. 1998. Nitrogen excess in North American ecosystems: predisposing factors, ecosystems responses, and management strategies. *Ecological Applications*, 8 (3): 706–733.
- FOTTOVÁ D. 2003. Trends in sulphur and nitrogen deposition fluxes in the GEOMON network, Czech Republic, between 1994 and 2000. *Water, Air, and Soil Pollution*, 150 (1/4): 73–87.
- GODEK M., SOBIK M., BŁAŚ M., POLKOWSKA Ż., OWCZAREK P., BOKWAD A. 2015. Tree rings as an indicator of atmospheric pollutant deposition to subalpine spruce forests in the Sudetes (Southern Poland). *Atmospheric Research*, 151: 259–268.
- HOŠEK J., SCHWARZ O., SVOBODA T. 2007. Výsledky desetiletého měření atmosférické depozice v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 44 (1): 179–191.
- HRUŠKA J., HOFMEISTER J., KREJČÍ R. 2003. Odhad rychlosti regenerace acidifikovaných půd a povrchových vod v Orlických horách jako východisko pro strategická rozhodnutí v oblasti péče o lesy (VaV/620/3/01). Praha, Česká geologická služba: 99 s.

- HŮNOVÁ I., KURFÜRST P., VLČEK O., STRÁNÍK V., STOKLASOVÁ P., SCHOVÁNKOVÁ J., SRBOVÁ D. 2016. Towards a better spatial quantification of nitrogen deposition: A case study for Czech forests. *Environmental Pollution*, 213: 1028–1041. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.01.061
- KOLÁŘ T., ČERMÁK P., OULEHLE F., TRNKA M., ŠTĚPÁNEK P., CUDLÍN P., HRUŠKA J., BÜNTGEN U., RYBNÍČEK M. 2015. Pollution control enhanced spruce growth in the “Black Triangle” near the Czech–Polish border. *Science of the Total Environment*, 538: 703–711.
- KOPÁČEK J., FLUKSOVÁ H., HEJZLAR J., KAŇA J., PORCAL P., TUREK J. 2017. Changes in surface water chemistry caused by natural forest dieback in an unmanaged mountain catchment. *Science of the Total Environment*: 971–981. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.148
- KREUTZER K., BUTTERBACH-BAHL K., RENNENBERG H., PAPAN H. 2009. The complete nitrogen cycle of an N-saturated spruce forest ecosystem. *Plant Biology*, 11 (5): 643–649.
- KUNEŠ I., BALÁŠ M., BALCAR V., KACÁLEK D., MILLEROVÁ K., JANČOVÁ A., NOVÁKOVÁ O., ŠPULÁK O., ZAHRADNÍK D., VÍTÁMVÁS J., KOŇASOVÁ T. 2013. Effects of fertilization on growth and nutrition of Norway spruce on a harsh mountain site. *Journal of Forest Science*, 59, 8: 306–318.
- LOCHMAN V., KANTOR P. 1985. Působení smrkových a bukových porostů v Orlických horách na chemismus vody při odtoku do vodních zdrojů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 30 (4): 5–9.
- LOCHMAN V., BÍBA M., FADRHOŇSOVÁ V. 2008. Chemistry of water in forests in relation to changes of air pollution load. *Communications Instituti Forestalis Bohemicae*, Vol. 24: 131–151.
- LUNDBORG A. 1997. Reducing the nitrogen load: whole-tree harvesting. *Ambio*, 26 (6): 387–393.
- MUND M., KUMMETZ E., HEIN M., BAUER G.A., SCHULZE E.-D. 2002. Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 171 (3): 275–296. DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00788-5
- MUSHINSKI R.M., BOUTTON T.W., SCOTT D.A. 2017. Decadal-scale changes in forest soil carbon and nitrogen storage are influenced by organic matter removal during timber harvest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122: 846–862. DOI: 10.1002/2016JG003738
- MŽP. 2006. Oxidy dusíku (NO_x/NO₂). Integrovaný registr znečišťování (MŽp) [online]. Praha, Ministerstvo životního prostředí ČR: 5 s. [cit. 2017-07-14]. Dostupné na/Available on: https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf
- NOVÁK F. 1999. Transformace dusíku v půdě přirozeného horského smrkového lesa na Trojmezí hoře (Šumava). *Silva Gabreta*, 3: 183–194.
- NOVOTNÝ R., LACHMANOVÁ Z., ŠRÁMEK V., VORTELOVÁ L. 2008. Air pollution load and stand nutrition in the Forest District Jablunkov, part Nýdek. *Journal of Forest Science*, 54 (2): 49–54.
- NOVOTNÝ R., BURIÁNEK V., ŠRÁMEK V., HŮNOVÁ I., SKOŘEPOVÁ I., ZAPLETAL M., LOMSKÝ B. 2016. Nitrogen deposition and its impact on forest ecosystems in the Czech Republic – change in soil chemistry and ground vegetation. *iForest*, 10: 48–54. DOI: 10.3832/ifer1847-009
- NUTTER W.L., MORRIS L.A. 2004. Soil development and properties. Waste treatment and recycling. In: Burley, J., Evans, J., Youngquist, J. A.: *Encyclopedia of forest sciences*. Amsterdam, Elsevier: 1248–1253.
- OULEHLE F., KOPÁČEK J., CHUMAN T., ČERNOHOUS V., HŮNOVÁ I., HRUŠKA J., KRÁM P., LACHMANOVÁ Z., NAVRÁTIL T., ŠTĚPÁNEK P., TESAŘ M. 2016. Predicting sulphur and nitrogen deposition using a simple statistical method. *Atmospheric Environment*, 140: 456–468. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.06.028
- PALVIAINEN M., FINÉR L., LAIHO R., SHOROHOVA E., KAPITSA E., VANHA-MAJAMAA I. 2010a. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest Ecology and Management*, 259 (3): 390–398. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.10.034
- PALVIAINEN M., FINÉR L., LAIHO R., SHOROHOVA E., KAPITSA E., VANHA-MAJAMAA I. 2010b. Phosphorus and base cation accumulation and release patterns in decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest Ecology and Management*, 260, 9: 1478–1489. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.07.046
- PETERJOHN W.T., FOSTER C.J., CHRIST M.J., ADAMS M.B. 1999. Patterns of nitrogen availability within a forested watershed exhibiting symptoms of nitrogen saturation. *Forest Ecology and Management*, 119: 247–257. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00526-X
- PITTER P. 1999. *Hydrochemie*. Praha, Vydavatelství VŠCHT: 568 s.
- RINNE K.T., RAJALA T., PELTONIEMI K., CHEN J., SMOLANDER A., MÄKIPÄÄ R. 2017. Accumulation rates and sources of external nitrogen in decaying wood in a Norway spruce dominated forest. *Functional Ecology*, 31: 530–541. DOI: 10.1111/1365-2435.12734
- SCHELKER J., SPONSELLER R., RING E., HÖGBOM L., LÖFGREN S., LAUDON H. 2016. Nitrogen export from a boreal stream network following forest harvesting: seasonal nitrate removal and conservative export of organic forms. *Biogeosciences*, 13: 1–12.
- SINGER J.S., MUNNS D.N. 1996. *Soils, an introduction*. New Jersey, Prentice Hall: 480 s.
- SONNLEITNER M.A., GÜNTHARD-GOERG M.S., BUCHER-WALLIN I.K., ATTINGER W., REIS S., SCHULIN R. 2001. Influence of soil type on the effects of elevated atmospheric CO₂ and N deposition on the water balance and growth of a young spruce and beech forest. *Water, Air, and Soil Pollution*, 126: 271–290.
- SVOBODA J. 2009. *Utajené dějiny podnebí*. Praha, Levné knihy: 263 s.
- ŠANTRŮČKOVÁ H., TAHOVSKÁ K., KOPÁČEK J. 2009. Nitrogen transformations and pools in N-saturated spruce forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 45: 395–404.
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R. 2013. Vývoj zdravotního stavu a minerální výživy smrkových mlazin v Jizerských horách v období snižování imisní zátěže. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58 (1): 66–77.
- TESAŘ M., ŠÍR M., FOTTOVÁ D. 2004. Usazené srážky na Šumavě. In: Dvořák, L., Šustr, P.: *Aktuality šumavského výzkumu II. Sborník z konference. Srní, 4. – 7. října 2004. Vimperk, Správa NP Šumava: 79–83.*
- TIETEMA A., EMMETT B.A., GUNDERSEN P., KJØNAAS O.J., KOOPMANS CH.J. 1998. The fate of ¹⁵N-labelled nitrogen deposition in coniferous forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 101: 19–27. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00123-0
- VAN BREEMEN N., BOYER E.W., GOODALE C.L., JAWORSKI N.A., PAUSTIAN K., SEITZINGER S.P., LAJTHA K., MAYER B., VANDAM D., HOWARTH R.W., NADELHOFFER K.J., EVE M., BILLEN G. 2002. Where did all the nitrogen go? Fate of nitrogen inputs to large watersheds in the northeastern U.S.A. *Biogeochemistry*, 57/58: 267–293. DOI: 10.1023/A:1015775225913

- VACEK S., BÍLEK L., SCHWARZ O., HEJCMANOVÁ P., MIKESKA M. 2013. Effect of air pollution on the health status of spruce stands. *Mountain Research and Development*, 33 (1): 40–50.
- VEJPUSTKOVÁ M., ZAHRADNÍK D., ŠRÁMEK V., FADRHOŇSOVÁ V. 2004. Growth trends of spruce in the Orlické hory Mts. *Journal of Forest Science*, 50 (2): 67–77.
- VYHLÁŠKA č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. 33 s.
- WEN Y., CORRE M.D., SCHRELL W., VELDKAMP E. 2017. Gross N₂O emission and gross N₂O uptake in soils under temperate spruce and beech forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 112: 228–236. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.05.011
- WYMORE A.S., RODRÍGUEZ-CARDONA B., MCDOWELL W.H. 2015. Direct response of dissolved organic nitrogen to nitrate availability in headwater streams. *Biogeochemistry*, 126: 1–10.
- ZÁHORA J., NOHEL P., KINTL A. 2011. Vyplavování minerálního dusíku z orných, lučních a lesních půd v OPVZ II. st. Březová nad Svitavou. In: *Voda Zlín 2011*. Zlín, Moravská vodárenská: 49–54.
- ZAPLETAL M. 2014. Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice. Opava, Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta: 135 s.

TREND OF NITROGEN LOAD AFFECTING THE SPECIAL-INTEREST REGION OF THE ORLICKÉ HORY MTS. (CZECH REPUBLIC)

SUMMARY

High nitrogen load threatens forest stand stability and affects subsequent function of the mountain forest over long time. The Orlické hory Mts. are one of the most heavily nitrogen-polluted areas in the Czech Republic (HRUŠKA et al. 2003; FORTTOVÁ 2003). The high deposition of nitrogen contributes to its accumulation in the forest ecosystems, which influences environment negatively (LUNDBORG 1997; FENN et al. 1998; PETERJOHN et al. 1999). The area of interest is threatened by nitrogen load particularly in the 5th, 6th and 7th forest vegetation zones (fir-beech, spruce-beech and beech-spruce). Nitrogen load poses also a risk for water and soil since the Orlické hory Mts. have been declared a Protected Area of Natural Accumulation of Water (Czech acronym CHOPAV) for 39 years (see Czech Government Decree No. 40/1978 Coll.). Increased nitrogen load has been detected since 1990s. Assessing previously published studies, both national and from abroad ones, we hypothesized a way to reduce nitrogen load impact in the area of interest.

One can summarize that substantially different views of mitigation of nitrogen load impact on the forest have been published (DE VRIES et al. 2012; KREUTZER et al. 2009). Despite missing signs of acute impacts on the Orlické hory Mts. forests, increased nitrogen load poses a risk of further soil acidification and development of conditions supporting fungi infestation, and abiotic agents (frost, snow and wind) damage due to excessive growth and postponed maturing of new tissues. The primary objective of our study is to learn whether trend of nitrogen load (concentration, deposition) has been or has not been changed over long time. The secondary objectives are (1) nitrogen balance study within the UDL watershed and (2) nitrate content in surface waters of the area of interest.

Air concentrations of NO_x and atmospheric depositions of N-NO₃, N-NH₄ and total N were evaluated over long term. Time series began in 1995 (air concentrations) and 1993 (depositions). Data are from automated monitoring stations operated by Czech Hydrometeorological Institute. Atmospheric NO_x concentrations were the highest in winter and the lowest in summer, amounting 10 µg·m⁻³ and 6 µg·m⁻³, respectively, at moderate decrease during the 2014–2016 period against the previous 2011–2013. This trend has been recently confirmed also by OULEHLE et al. (2016) via moderate declining N deposition. The UDL watershed was investigated by the Forestry and Game Management Research Institute – Opočno Research Station in cooperation with the Czech Geological Survey (GEOMON network). UDL deposition data were taken in open area, throughfall under young spruce, mature spruce and mature beech stands. UDL treatments were also used to monitor soil water saturation and nitrate saturation in water leaving the UDL watershed.

To investigate nitrate concentrations in surface waters of the area of interest, samples were collected in October 1st 2015, May 11th 2016 and October 20th 2016. In total 23 streams and three springs were sampled (Table 1).

Nitrogen (kg/ha) was shown separately according to compound origin, i. e. N-NH₄ and N-NO₃ deposited in open area, under forest stands and its export from the watershed (Fig. 7). N-NO₃ deposition was greater compared to N-NH₄. Nitrate N was the lowest alternately in the open area and in the watershed outlet water, higher under mature beech and the highest under mature spruce. 90% of the UDL watershed is a young spruce small-pole stand; this part of the forest cover, therefore substantially affects the N balance (Fig. 8) in the watershed. Exported stream runoff N was subtracted from throughfall N. The result could be considered the N consumed by the young spruces amounting 14.5 kg·ha⁻¹·year⁻¹. One can infer that the UDL is N-saturated and N consumption is in accordance with the development of the stand. Remaining N is exported to the stream water. Three times repeated sampling of surface waters did not reveal increased N concentrations (Fig. 9). More N-NO₃ was in water from foothills compared to higher altitudes. The UDL watershed outlet water samples showed distinct differences in annual patterns of nitrate export. In dormant season, nitrate consumption by micro- and macro-vegetation component is low, stream water contains much more nitrate compared to summer (Fig. 10, 11). In winter hydrological half-year, a biforked (January, March) increased nitrate export is obvious (Fig. 11).

Atmospheric N deposition differed obviously between both spruce-beech and spruce-open area treatments within UDL watershed. The high throughfall N deposition should be reflected in stream export and/or N soil pool. However, we found neither the former nor the latter. As the mature spruce and beech N consumption totals 13 kg·ha⁻¹ and 17 kg·ha⁻¹ respectively (see LOCHMAN, KANTOR 1985), we can suppose a great release of N due to denitrification, i. e. microbial reduction of NO₃ into N₂O and N₂. This raises another issue since N₂O (80% is N) is considered a much more efficient greenhouse gas compared to CO₂. UDL conditions seem to be supporting this process (see NUTTER, MORRIS 2004) because the watershed is a partly water-logged, drained site being high in carbon and “fertilized” with high N deposition. WEN et al. (2017) reported greater N₂O emission from beech compared to spruce forest stand.

From N balance point of view, atmospheric deposition and fixation in biomass and soil are the input processes, while extraction of wood and denitrification represent the export processes from forest ecosystems (VAN BREEMEN et al. 2002). LUNDBORG (1997) calculated that extraction of logging residues from N-polluted boreal spruce forests would decrease the N-load amounting 1,000 kg·ha⁻¹ over 80–100 years of the rotation. Based on this, LUNDBORG (1997) proposed also a shorter rotation and low-emission combustion of the logging residues. Above-ground biomass should not be, however, extracted as whole tree biomass including removal of both slash higher in nutrients (KUNEŠ et al. 2013) and forest floor. This practice would lead to depletion of the site over decades with subsequent low production of the forest (MUSHINSKI et al. 2017). The wood left on site becomes an environment where more N is fixed as wood-destroying and mycorrhizal fungi colonize it (RINNE et al. 2017). More N (PALVIAINEN et al. 2010a), P and Mg (PALVIAINEN et al. 2010b) were reported in rotting spruce stumps compared to birch ones.

Low N concentrations in surface waters are attributable to restored consumption of N by forest ecosystems recovering from former air-pollution load (KOLÁŘ et al. 2015). Higher export of nitrate in surface water were also related to loss of wood increment (KOLÁŘ et al. 2015; GODEK et al. 2015). It is attributable to former malfunction of the roots. Similarly the intake of nitrate by roots changes in dormant season (ALEXANDER et al. 2007; ZÁHORA et al. 2011; BETTEZ et al. 2015); our findings support that as well. Contemporary increased export of nitrate in water due to bark beetle outbreaks reported BEUDERT et al. (2015) and KOPÁČEK et al. (2017). The loss of roots' function led to three times higher nitrate concentrations in the Plešné catchment-lake system; since 2011 the concentrations of nitrate decreased towards the level prior to forest death (KOPÁČEK et al. 2017). If nitrate concentration does not exceed 1 mg.l^{-1} , surface water can be considered clean (PITTER 1999). This was exceeded in all samples excepting the two spring water sites (5cest, VP). Despite some pollution, the all samples were relatively clean since the WHO limit for drinking water is 50 mg NO_3 (i.e. 11.3 mg N-NO_3 per liter).

Zasláno/Received: 19. 07. 2017

Přijato do tisku/Accepted: 01. 11. 2017

