národní
úložiště
šedé
literatury

Kvalita odtékajících vod z lesního a zemědělského povodí na základě porovnání vyplavování dusíku

Černohous, Vladimír; Švihla, Vladimír

2013

Dostupný z http://www.nusl.cz/ntk/nusl-174414

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 25.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Kvalita odtékajících vod z lesního a zemědělského povodí na základě porovnání vyplavování dusíku

Comparison of nitrogen leaching impact on water quality from forested and agricultural catchment

VLADIMÍR ČERNOHOUS – VLADIMÍR ŠVIHLA

Abstract

It is known that nitrogen output may be significantly lower from a forested land compared to arable land. Nitrogen is usually leached from soil as nitrate; 90% of nitrogen output is nitrate. The intensity of leaching and output of nitrogen is not related to periods of the highest contents. There is a hypothesis that the leaching intensity depends on water exchange between non-capillary and capillary pores since nitrate prevails in capillary and semi-capillary pores. To evaluate the nitrate leaching, a dependence of output on runoff was used. The method is based on certain amounts of substances being dissolved in certain amounts of runoff water that are carried away from a watershed. As for arable land, dependence of nitrogen output on runoff increased six times faster compared to forest. Mean daily nitrogen output from arable land amounted to seven times higher value compared to the output from forest.

Keywords: *catchment, forest, agriculture, water quality, nitrogen output*

Abstrakt

Obecně je známo, že odnos dusíku z lesa může být v téže lokalitě až o celý řád nižší než je tomu z orné půdy. Převážná většina (90 %) dusíku se z půd vyplavuje jako dusičnany. Vyplavování a odnos dusíku probíhá nerovnoměrně a jeho největší intenzita se zpravidla nekryje s obdobími nejvyšších obsahů. Nabízí se pracovní hypotéza, že intenzita vyplavovacího procesu je závislá na výměně vody mezi nekapilárními a kapilárními póry, protože dusičnanový dusík se v procesu nitrifikace tvoří především v kapilárních, popřípadě semikapilárních pórech. Jako nástroj hodnocení vyplavovacího procesu bylo využito závislosti odtok – odnos. Metoda spočívá v tom, že určité množství odtékající vody odnáší z odtokové plochy (resp. z povodí) určité množství rozpuštěných látek, tedy i minerálního dusíku. Na orné půdě závislost odnosu dusíku na odtoku rostla šestkrát rychleji ve srovnání s lesem. Průměrný denní odnos dusíku z orné půdy činil více jak sedminásobek odnosu z lesa.

Klíčová slova: *povodí, les, zemědělství, kvalita vody, odnos dusíku*

ÚVOD

Dosavadní výzkum koloběhu dusíku v krajině a v jejích jednotlivých komponentách byl z větší části zaměřen vedle vlivu bodových či difúzních znečišťovatelů (obce, živočišná výroba, průmysl, doprava, skládky a zpracování odpadů apod.) především na plošnou kontaminaci podzemních a povrchových vod ze zemědělských půd. V tomto směru existuje

v tuzemsku i v zahraničí velké množství dílčích i komplexnějších poznatků, které jsou pak různým způsobem interpretovány.

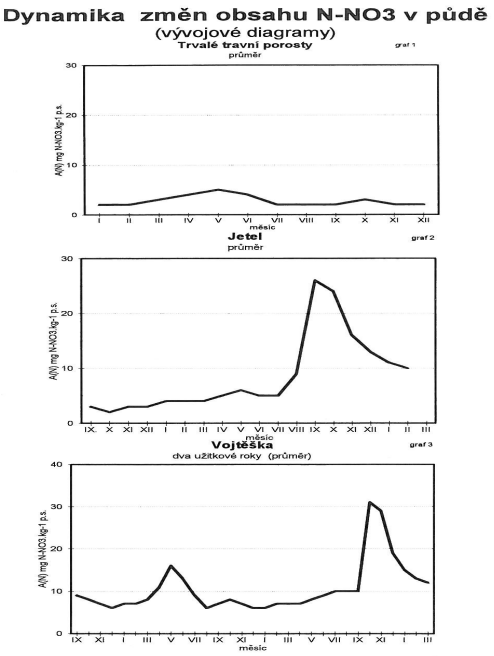
Otázka vlivu lesů, respektive z nich vytékajících vod, na výsledný stav vodní komponenty v krajině byla zatím řešena ponejvíce na úrovni pozorování a jednoduchých hodnocení, takže konečným efektem těchto prací je především konstatování zjištěných skutečností pro rozmanité lokality a různá období sledování. Obecně je známo, že odnos dusíku ze zdravého a dobře pěstovaného lesa může být v téže lokalitě až o celý řád nižší než je tomu z orné půdy.

Poněkud jiná situace může nastat u lesů poškozených či zcela zničených vnějšími činiteli či škůdci. V 80. letech minulého století bylo například zjištěno, že zátěže vodních toků a nádrží v Podkrušnohoří z tamních lesů odpovídají zátěži z orné půdy. Hlavní příčinou tohoto jevu byla rychlá mineralizace organických látek ve svrchním humusovém horizontu po odlesnění, respektive po úhynu lesních dřevin.

Při hodnocení stavu podzemních a povrchových vod, plánování v oblasti vod a jejich ochraně (viz ustanovení § 21 až 36 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách v platném znění – "vodní zákon") se až dosud s vlivem lesních porostů obvykle počítá jako s víceméně zlepšující konstantou.

ROZBOR A METODIKA

Pro zemědělské půdy byla již v 80. a 90. letech minulého století popsána dynamika pohybu a přeměny půdního dusíku v závislosti na pěstovaných plodinách, hnojení, technologických operacích, konzervativních a progresivních přírodních činitelích. Ukázalo se, že hlavním faktorem, který tuto dynamiku formuje, je kultura a plodina (resp. skupina plodin), ostatní činitelé však jsou výrazně modifikující. Z dlouhodobých měření VÚMOP Praha-Zbraslav, VÚV Praha-Ruzyně a ÚKZÚZ Praha byly zpracovány hlavní ideotypy dynamiky dusičnanového dusíku v ornici pro ozimy, jařiny, okopaniny, víceleté pícniny, kukuřice a trvalé travní porosty (ilustrace v Obr. 1). Nutno podotknout, že účelem hodnocení výsledků v ideotypech bylo řešení ochrany vodních zdrojů před plošným zemědělským znečištěním dusičnany, nikoliv výzkum výživy a hnojení polních plodin. V zemědělských (zejména v orných) půdách bylo za více let měření vypozorováno, že amonný dusík se zde povětšinou poměrně snadno a rychle nitrifikuje a přeměňuje v dusičnanový. Například v Ovesné Lhotě u Světlé nad Sázavou bylo po aplikaci síranu amonného před výsevem hořčice na zelené hnojení v měsíci srpnu změřeno, že za pouhý jeden týden mikroorganismy v ornici znitrifikovaly více jak 80 $kg.ha^{-1}$ $N\text{-}NH_4$ na $N\text{-}NO_3$. Za jeden rok zde dokázaly nitrifikační bakterie v průměru přeměnit až 300 kg dusíku, který pak byl zčásti odebrán pěstovanými plodinami, zčásti imobilizován do organických vazeb, jeho menší podíl byl jednak vyplaven do podzemních či podpovrchových vod a následně do sledovaného vodního toku, jednak unikl do ovzduší ve formě N_2 či N_2O v důsledku bakteriální denitrifikace. Nejinak tomu bylo i na jiných lokalitách, kde byla podobná měření prováděna. Lze tedy konstatovat, že nitrifikační proces v zemědělských půdách probíhá z různých důvodů velmi intenzivně, čehož důsledkem je zmíněný úzký poměr $N\text{-}NH_4 : N\text{-}NO_3 = 0{,}3$ až $1{,}5 : 1$.



Obr. 1: Dynamika změn obsahu N-NO_3 v půdě (vývojové diagramy) pod trvalými travními porosty, jetelem a vojtěškou.

Fig. 1: *N-NO_3 changes of dynamics in soil covered with perennial grass, clover and lucerne; X axis – months.*

Obdobná dynamika dusíku v půdách lesních porostů není dosud v plném rozsahu prozkoumána. V minulosti byla sice pořízena řada dat i souvislejších měření, které však čekají na podrobnější vyhodnocení. Pro ilustraci uvádíme v Tab. 1 údaje porovnávající kvalitu vody v lese, orné půdě a travním porostu (HLADNÝ 1998; ŠVIHLA 2000).

Měření atmosférické depozice dusíku na pokusné ploše U Dvou louček probíhalo v minulých letech a probíhá dále. Obdobné podklady lze získat z řady dalších lokalit. Problémem, na který je nezbytné v daném případě upozornit, je riziko systémové chyby, která vzniká v důsledku změn složení vodních vzorků za období jejich akumulace (obvykle za dva týdny) v záchytné nádobě mezi jednotlivými odběry. Změna koncentrace amonného i dusičnanového dusíku ve vzorku závisí na výši a časovém rozložení srážek, na teplotě, na přítomnosti některých látek (mezi nimi též pryskyřic či terpenů ze smrkového jehličí) a podobně. Korekce této systémové chyby je možná matematicko-statistickým postupem, který byl vyvinut před pěti lety v podmínkách Českého krasu. K provedení korekce je nezbytné mít k dispozici dostatečně dlouhou řadu měření a přesné rozdělení srážek podle jednotlivých dní. Metoda umožňuje odseparovat vlivy výše srážky (obecně platí, že čím je srážka vyšší, tím nižší bývají koncentrace rozpuštěných látek) a teplot (čím je vzorek více tepelně exponován, tím rychleji mění své složení). Je až překvapivé, jak velké množství vázaného dusíku se ze vzorků ztrácí; na volném prostranství za dva týdny až 50 %, v podkorunových srážkách v jehličnatém lese „jen“ 25 %. Důležitým podkladem pro další úvahy a výpočty se v budoucím období řešení stanou výsledky analýz odebíraných půdních

vzorků a data ze systému Geomon (FOTTOVÁ 1995). Další problematikou, která dosud nebyla blíže řešena, je mechanizmus vyplavovacího procesu přímo v půdním profilu. Na konstatování, že převážná většina dusíku z půd se vyplavuje jako dusičnany, není nic nového. Vyplavování a odnos dusíku probíhá nerovnoměrně a jeho největší intenzita se zpravidla nekryje s obdobími nejvyšších obsahů. Toto bylo prokázáno zvláště na orné půdě, kde nejvyšší hodnoty zejména N-NO3 (v závislosti na plodině) jsou dosaženy ponejvíce od května do července, zatímco nejvyšší odnosy připadají na prosinec až březen. Nabízí se zajímavá pracovní hypotéza, že intenzita vyplavovacího procesu je závislá na výměně vody mezi nekapilárními a kapilárními póry.

Tab. 1: Porovnání ukazatelů kvality vody – les, orná půda a travní porosty.

Tab. 1: *Comparison of water quality – forest, arable land and grass land.*

Lokalita Locality	**Období sledování** *Investigation period*	**Les** *Forest*		**Orná půda** *Arable land*		**Travní porost** *Grass*	
		K_{NO3}	ON	K_{NO3}	ON	K_{NO3}	ON
VN Znojmo-levý břeh (Podyjí)	1992–98	4	1	66	9	8	1
VN Bojkovice (Bílé Karpaty)	1992–97	15	6	31	17	16	7
VN Štítná (Bílé Karpaty – Podvláří)	1997–99	3	1	36	28	14	13
VN Koryčany (Chřiby)	1993–97	8	3	31	17	11	3
VN Vír (Českomoravská vysočina)	1992–97	6	4	83	59	35	29
VN Hubenov (Českomoravská vysočina)	1989–94	10	5	62	39	24	13
VN Nová Říše (Českomoravská vysočina)	1993–97	9	3	82	29	27	8
Bubovický potok (Český kras)	1993–97	14	3	82	18	14	4
Švarcava (Český kras)	1993–98	5	1	54	13	14	3
Cerhovický potok (Podbrdsko)	1986–91	14	3	123	35	43	7
Průměr / *Mean*		9	3	65	26	21	9

VN – vodní nádrž / *water reservoir*

K_{NO3} – průměrná roční koncentrace dusičnanů ($mg.l^{-1}.NO_3$) / *mean annual concentration of nitrate*

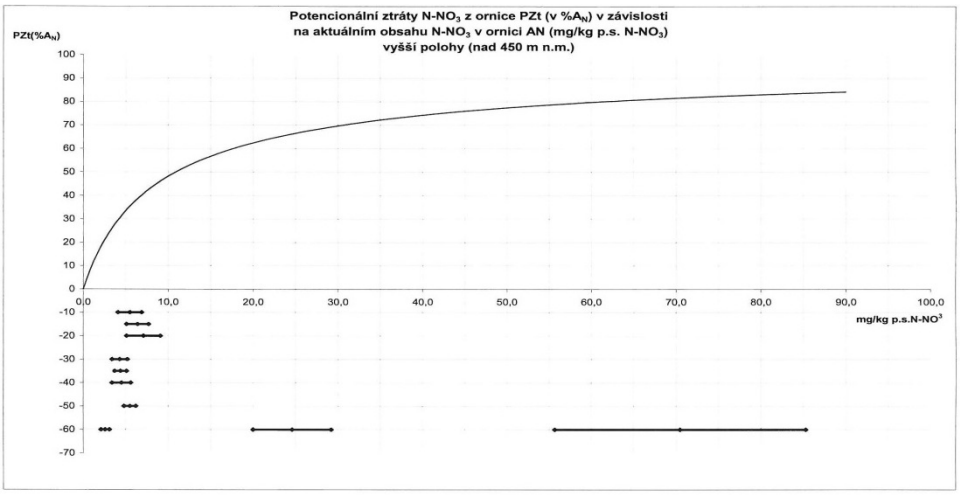
ON – roční odnos dusíku ($kg.ha^{-1}.rok^{-1}.N$) /*annual loss of nitrogen*

Dusičnanový dusík se v procesu nitrifikace tvoří především v kapilárních, popřípadě semikapilárních pórech. Je to logický důsledek jednak jejich rozhodujícího podílu na celkové pórovitosti půdy a v důsledku toho na vnitřním povrchu půdního tělesa, jednak mnohem větší stability teplotních, vodních a vzdušných poměrech v kapilárách ve srovnání s nekapilárami. Z hlediska oživení půdy představují prostory uvnitř kapilár a na vnitřním povrchu půdních částic cosi jako „prales“, v případě semikapilár „savanu“. Nekapilární póry,

které z hlediska oživení půdy přirovnejme k „poušti“, se naopak rozhodující mírou podílejí na odtoku vody.

Pokud je půda suchá, kapilární síly pevně vážou vodu v pórech, zatímco v nekapilárách se voda takřka nevyskytuje. K vyplavování látky z půdy proto nedochází. Za toto období zaznamenaný odnos je důsledkem setrvačnosti, nahromadění $N\text{-}NO_3$ ve zvodních či v podpovrchových vrstvách půdy z minulého období. Pokud je naopak půda vodou nasycena, dojde-li ke kontaktu mezi kapilární a nekapilární vodou, rozpuštěné látky difundují nebo ve formě vodního roztoku přímo odtékají do nekapilár a posléze z půdního profilu.

Ze známých podkladů byly v roce 1995 sestrojeny A-G diagramy potenciální vyplavitelnosti $N\text{-}NO_3$ (ilustrace Obr. 2). Z A-G diagramu lze odvodit, že o výši odnosu dusíku (a tím i o zátěži vod z plošných zdrojů) rozhodují dva činitelé – obsah vyplavitelného dusíku v půdě ke kritickému datu (zvolen konec listopadu, označeno písmenem A) a následné srážkově odtokové poměry zimního období až do dalšího kritického data (zvolena polovina března, označeno písmenem G). Na vodorovné ose diagramu jsou uvedeny obsahy $N\text{-}NO_3$ k datu A, na svislé pak procentický podíl z těchto obsahů, který se může vyplavit za příznivých srážkově odtokových poměrů (tj. za velmi vlhké a mírně teplé zimy) za období mezi daty A G. Pod vodorovnou osou diagramu pak nalezneme rozpětí běžná pro různé skupiny plodin na orné půdě a pro travní porosty. Tyto úsečky názorně vyjadřují míru rizikovosti plodin. Nezodpovězenou otázkou zůstává, kam v A-G diagramu zařadit jehličnaté, listnaté či smíšené lesní porosty různého věku a na různých stanovištích.



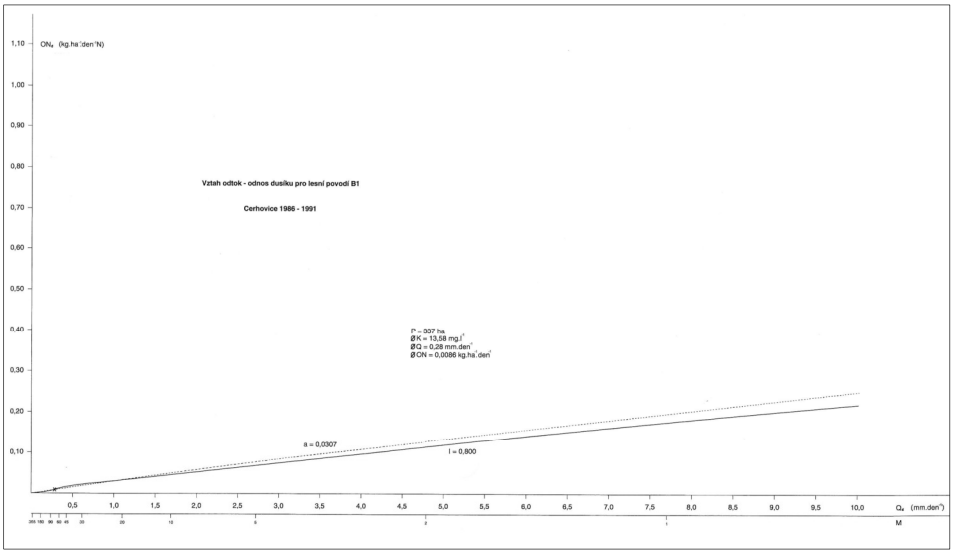
Obr. 2: A-G diagram potenciální vyplavitelnosti pro vyšší polohy nad 450 m n. m. za velmi vlhké a mírně teplé zimy.

Fig. 2: *Potential $N\text{-}NO_3$ output at higher altitudes (> 450 m) under conditions of very wet and moderatly warm winter.*

Jako nástroje pro bližší hodnocení vyplavovacího procesu jsme využili závislosti odtok – odnos. Pro další úvahy je důležité, že 90 % a více dusíku je z půdy vyplavována právě ve formě dusičnanů. Stanovení vztahu mezi odtokem vody z povodí a odnosem dusičnanového dusíku ($N\text{-}NO_3$) je jedním z více způsobů popisu procesu vyplavování dusíku z půdy, který

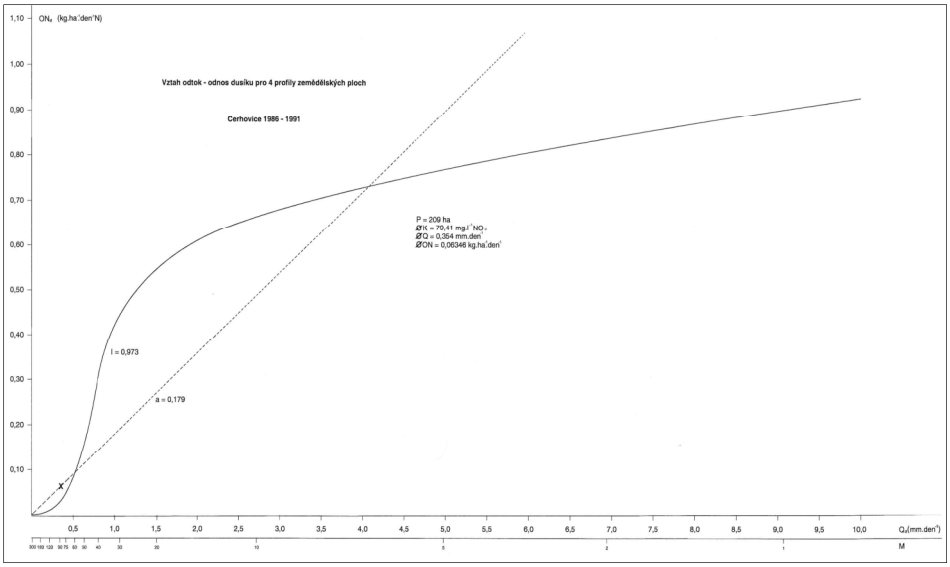
je příčinou plošného znečištění. V principu lze tento vztah stanovit pro kterýkoliv vodní tok, odvodňovací systém nebo pramenný vývěr. Hlavní myšlenka metody spočívá v tom, že určité množství odtékající vody odnáší z odtokové plochy (resp. z povodí) určité množství rozpuštěných látek, tedy i minerálního dusíku. Koncentrace $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$, případně dalších forem různě vázaného celkového dusíku, fungují v tomto vztahu jako derivace funkce. Závislost odtok – odnos není kontinuální, skládá se z více částí oddělených od sebe inflexními body. Tyto části odpovídají odlišným srážkově – odtokovým situacím a je možné je vymezit též na ose M-denních vod. Závislost odtok – odnos lze obecně vypočítat a sestrojit pro malé i velké povodí stejně tak jako pro povodí monokulturní či smíšené. Z diagramu lze stanovit kritický interval odtoků, kdy je vyplavovací proces nejintenzivnější, což by bylo možné využít pro řízení manipulace ve vodárenských nádržích.

Provedeno bylo vyhodnocení vztahu „odtok – odnos“ z výsledků měření prováděných Výzkumným ústavem meliorací v letech 1986 a 1991 v okolí městečka Cerhovice na západě okresu Beroun. Vztahy „odtok – odnos“ byly sestrojeny samostatně pro lesní profil (Obr. 3), pro souhrn 4 profilů charakterizujících zemědělskou (převážně ornou) půdu (Obr. 4) a pro závěrečný profil celého zájmového povodí.



Obr. 3: Vztah odtok – odnos pro lesní povodí (Cerhovice).

Fig. 3: *Runoff-output relationship in forested catchment, Cerhovice; X axis – runoff (mm.day^{-1}), Y axis – N output (kg.ha^{-1}.day^{-1}).*



Obr. 4: Vztah odtok – odnos pro čtyři závěrné profily zemědělských ploch (Cerhovice).

Fig. 4: *Runoff-output relationship in four agricultural sites, Cerhovice; X axis – runoff (mm.day^{-1}), Y axis – N output (kg.ha^{-1}.day^{-1}).*

Na Obr. 3 a 4 jsou na vodorovných osách vyneseny hodnoty denních odtoků Q_d (mm.den^{-1}), na svislých osách pak hodnoty denních odnosů dusičnanového dusíku ON_d (kg.ha^{-1}.den^{-1}). Vlastní vztah je vyjádřen plnou křivkou, zatímco přerušovaná čára znázorňuje referenční polopřímku. Pod vodorovnou osou jsou znázorněny polohy bodů odpovídajících hodnotám M-denních vod.

Pro konstrukci referenční polopřímky je podstatná skutečnost, že její počátek je totožný s počátkem souřadné soustavy, protože při nulovém odtoku není odnášena žádná látka. Druhý pro sestrojení referenční polopřímky nezbytný bod je dán souřadnicemi průměrného denního odtoku a průměrného denního odnosu za sledované období. Tento bod je v grafu zvlášť vynesen jako X. Platí, že pokud by odnos dusičnanového dusíku závisel na odtoku lineárně, vyjadřovala by tuto závislost referenční polopřímka, koncentrace dusičnanů by se pak v závislosti na odtoku neměnila. Body nacházející se nad referenční polopřímkou charakterizují nadprůměrné koncentrace dusičnanů, pod polopřímkou pak koncentrace podprůměrné.

Vlastní závislost byla vypočtena na principu nelineární regrese. Uspořádané dvojice (Q_{d-i}; ON_{d-i}) jsou tvořeny hodnotami denních odtoků Q_d (mm.den^{-1}) přepočtených z průměrných denních průtoků a denních odnosů dusičnanového dusíku ON_d stanovených na podkladě naměřených koncentrací dusičnanů ve vzorcích vody a k nim přiřazených průměrných denních průtoků. Křivka závislosti „odtok – odnos“ se skládá ze tří zvlášť stanovených úseků pro nízké, střední a vysoké průtoky, které jsou spojeny ve dvou inflexních bodech.

Směrnice tečen sestrojené k regresní křivce charakterizují trendy změn koncentrace dusičnanů v závislosti na průtoku v odpovídajících bodech. Vztah lze obecně vyjádřit jako $K_{N\text{-}NO3} \sim dON/dQ$. Platí-li, že směrnice tečny a_t křivky závislosti (tj. hodnota derivace této závislosti) je větší než směrnice referenční polopřímky a ($a_t > a$), je odvozená závislost

koncentrace dusičnanů na odtoku v bodě dotyku rostoucí, v opačném případě (a_t < a) je uvedená závislost klesající.

VÝSLEDKY

Již více jak sto let je všeobecně známo, že amonný dusík v nehnojené půdě je převážně produktem mineralizačního procesu, zatímco dusičnanový dusík vzniká přeměnou dusíku amonného v procesu nitrifikace. Amonné kationty se dobře váží na půdní sorpční komplex a jsou proto ve vodě méně rozpustné a pohyblivé. Dusičnanové anionty se na sorpční komplex neváží a snadno se pohybují spolu s půdní vodou, ve které se rozpouštějí. Výsledky půdních rozborů U Dvou louček naznačují, že převážná část minerálního dusíku pod smrkovým porostem zůstává v amonné formě. Z humusového horizontu se posouvá do horizontu A a posléze B. Dusičnanový dusík, kterého se zde sice vytváří ve srovnání se zemědělskými půdami jen omezené množství, se přesouvá snadněji. Poměr obou forem minerálního dusíku $N\text{-}NH_4$: $N\text{-}NO_3$ se proto s rostoucí hloubkou zužuje a současně i stabilizuje (Tab. 2).

Všechny vyšší rostliny přijímají dusík jak ve formě amonné tak i dusičnanové. V případě smrkového porostu U dvou louček bude pravděpodobně hlavní živinou dusík amonný. Odebraný dusík využijí stromy ke svému růstu (jedná se o mladý dvacetiletý porost), zčásti jej však vrací zpět ve formě opadu jehličí do humusového horizontu. Zde pak probíhá jeho pozvolná mineralizace s omezenou nitrifikací, což je doloženo širokým poměrem obou forem minerálního dusíku (Tab. 2).

Amonný iont při svém přebytku, zejména v povrchové vrstvě humusového horizontu, uniká ve formě plynného čpavku (NH_3). Odhadnout, v jakém se tak děje množství, by bylo možné jen na podkladě kvalitně provedené dlouhodobé kvantitativní bilance dusíku.

V případě podkladů z lokality U Dvou louček zatím krátké období 3 měsíců sledování v roce 2011 (experiment pokračuje) ještě neumožňuje plně popsat dynamiku pohybu a přeměn půdního dusíku pod smrkovým porostem. Tím méně provést jeho charakteristiku obdobně jako je tomu u zemědělských kultur či skupin plodin.

Pod smrkovým porostem se v období od 27. 4. do 26. 7. 2011 minerální dusík v půdě choval zcela jinak než je tomu v zemědělských půdách. Dále uvedené výsledky hodnocení jsou uvedeny v Tab. 2. Zcela patrný je zatím vysoký obsah $N\text{-}NH_4$ v humusovém horizontu smrkového porostu o hloubce 15 cm a nízké objemové hmotnosti redukované 0,5 $t.m^{-3}$. Průměrná hodnota obsahu amonného dusíku v hrabance ze šesti měření dosahuje 19 $mg.kg^{-1}.N\text{-}NH_4$ v sušině, což v přepočtu na plochu představuje 14,4 $kg.ha^{-1}$ $N\text{-}NH_4$. Naproti tomu obsah dusičnanového dusíku v humusovém horizontu dosahuje jen 2,5 $mg.kg^{-1}.N\text{-}NO_3$ v sušině, čili 1,9 $kg.ha^{-1}$ $N\text{-}NO_3$. Poměr obsahu $N\text{-}NH_4$: $N\text{-}NO_3$ ve smrkové hrabance ve sledovaném období činil 7,6 : 1. Pokračujeme-li dále do hloubky, pak v horizontu A (hloubka pouze 10 cm, objemová hmotnost redukovaná 1,33 $t.m^{-3}$) bylo za výše uvedené období zjištěno v průměru 6,7 $mg.kg^{-1}.N\text{-}NH_4$ a 1,6 $mg.kg^{-1}.N\text{-}NO$ v sušině, tj. 8,9 $kg.ha^{-1}$ $N\text{-}NH_4$ a 2,2 $kg.ha^{-1}$ $N\text{-}NO_3^-$ (poměr $N\text{-}NH_4$: $N\text{-}NO_3$ = 4,0 : 1). V horizontu B, ve kterém byly odebírány vzorky z 25 cm mocné vrstvy o objemové hmotnosti, pak činily průměrné obsahy 3,9 $mg.kg^{-1}.N\text{-}NH_4$ a 1,4 $mg.kg^{-1}.N\text{-}NO_3$ v sušině, v přepočtu 14,7 $kg.ha^{-1}$ $N\text{-}NH_4$ a 5,2 $kg.ha^{-1}$ $N\text{-}NO_3^-$ (poměr $N\text{-}NH_4$: $N\text{-}NO_3$ = 2,8 : 1).

Sečtemeli v předchozím odstavci uvedené hodnoty, zjistíme, že v půdě pod smrkovým porostem se nacházelo v průměru 52,5 $kg.ha^{-1}$ minerálního dusíku. Jde překvapivě

o množství srovnatelné s hnojenou a obdělávanou méně úrodnou zemědělskou půdou, ale při zcela odlišném poměru $N\text{-}NH_4 : N\text{-}NO_3 = 4{,}1 : 1$, než tomu bývá u orných půd ($N\text{-}NH_4 : N\text{-}NO_3 =$ 0,3 až 1,5 : 1). Srovnání obou poměrů svědčí o zcela jiných charakteristikách biochemických a mikrobiálních procesů na obou typech stanovišť.

Z Tab. 2 je patrné, že nitrifikační proces v půdě pod smrkovým porostem probíhal jen velmi omezeně. V zemědělské půdě, obzvláště v půdách typu hnědá půda či hnědá půda kyselá, by se takovéto poměry $N\text{-}NH_4 : N\text{-}NO_3$ v žádném případě delší dobu neudržely. Příčin může být hned několik a pravděpodobně působí vzájemně synergicky. Jedná se o silně kyselou reakci půdy, nepříznivé prostředí v lesní půdě způsobené baktericidními látkami pocházejícími z jehličí, menší vstupy dusíku do půdy (menší intenzita hnojení) a méně výkonné nitrifikační bakterie.

Tab. 2: Obsahy amonného a dusičnanového dusíku v půdě pod smrkovým porostem U Dvou louček za období od 27. 4. do 26. 7.2011.

Tab. 2: *Contents of NH_4-N and NO_3-N in soil under Norway spruce stand (UDL catchment) over April 27th – July 26th 2011.*

Horizont *Layer*	**Charakteristika**	**Obsah minerálního dusíku v půdě [kg.ha^{-1}]**			**Poměr** / *Ratio* **$N\text{-}NH_4 : N\text{-}NO_3$**
		$N\text{-}NH_4$	**$N\text{-}NO_3$**	**$\sum N_{min}$**	
Humusový mocnost 15 cm 0,5 t.m^{-3}	průměr	14,4	1,9	16,3	7,6 : 1
	minimum 26.7.	3,60	1,2	4,80	3,0 : 1
	maximum 11.5.	25,30	3,0	28,3	8,4 : 1
A mocnost 10 cm 1,33 t.m^{-3}	průměr	8,90	2,2	11,1	4,0 : 1
	minimum 27.4.	5,10	2,0	7,10	2,6 : 1
	maximum 26.7.	16,4	3,5	19,9	4,7 : 1
B mocnost 25 cm 1,5 t.m^{-3}	průměr	14,7	5,2	19,9	2,8 : 1
	minimum 14.6.	11,7	4,8	16,5	2,4 : 1
	maximum 26.7.	18,2	5,7	23,9	3,2 : 1
$\sum$ půdní profil mocnost 50 cm	průměr	38,0	9,3	47,3	4,1 : 1
	minimum 30.6.	32,2	8,1	40,3	4,0 : 1
	maximum 11.5.	49,2	10,3	59,4	4,8 : 1

Vzhledem ke skutečnosti, že les se na rozdíl od zemědělské půdy hnojí pouze omezeně, existují zde jen dva zdroje, atmosférická depozice a biologická fixace vzdušného dusíku. Proto bude nezbytné co možná nejpřesněji stanovit hodnoty dusíku vstupující do lesního prostředí.

Následující část je věnována výsledkům závislosti odnosu dusíku na odtoku. Obr. 3 dokumentuje odnos dusičnanového dusíku z čistě lesního povodí na horním toku Cerhovického potoka za období 1986–1991. Průměrný denní odtok z povodí činil v letech sledování 0,28 mm.den^{-1}, průměrný denní odnos dusičnanového dusíku pak 0,0086 kg.ha^{-1}.rok^{-1}, což odpovídá průměrné koncentraci 13,56 mg.l^{-1} NO_3. Závislost je charakterizována nízkou hodnotou směrnice referenční polopřímky (a = 0,0307), od které se ani příliš neliší hodnoty

směrnic tečen ke křivce závislosti. Slabě nadprůměrné koncentrace se nejčastěji vyskytovaly při odtocích v intervalu 0,25–0,8 mm.den^{-1}, což odpovídá přibližně 90 až 25denním průtokům, při vyšších odtocích byly koncentrace dusičnanů převážně podprůměrné. Křivka závislosti „odtok – odnos“ pro lesní povodí je plochá a jen málo se liší od referenční polopřímky.

Na Obr. 4 je sestrojena závislost „odtok – odnos“ pro 4 profily zemědělsky využívaných ploch. Celkem 572 uspořádaných dvojic bylo spojeno do jednoho souboru, který charakterizuje území o výměře 209 ha se 4 odtokovými místy. Průměrný denní odtok z orné půdy činil v letech sledování 0,354 mm.den^{-1}, průměrný denní odnos dusičnanového dusíku pak 0,06346 kg.ha^{-1}.rok^{-1} (více jak sedminásobek odnosu z lesa), což odpovídá průměrné koncentraci 79,41 mg.l^{-1} NO_3. Směrnice referenční přímky a = 0,179 znamená, že závislost odnosu dusíku na odtoku rostla na orné půdě téměř šestkrát rychleji ve srovnání s lesem. V úseku od počátku po inflexní bod (cca 0,3 mm.den^{-1} – odpovídá 90denní vodě, to znamená, že tento stav trvá přibližně 275 dní v roce) roste odnos dusíku v závislosti na odtoku jen pomalu a nevýrazně. Za inflexním bodem nastala prudká změna průběhu závislosti; směrnice tečen zde dosahují výrazně vyšších hodnot než směrnice referenční polopřímky, což znamená nárůst koncentrací dusičnanů v odvozené závislosti na odtoku. Tento stav odpovídá období mezi cca 90 až 40denními průtoky, trval tudíž přibližně 50 dní v roce. Od druhého inflexního bodu pak koncentrace dusičnanů v odvozené závislosti na odtocích po cca 40 dnů v roce klesaly. Koncentrace dusičnanů převážně (připomeňme, že jde o závislost statistickou) nabývaly nadprůměrných hodnot při odtocích odpovídajících 60 až cca 8denním průtoků, tj. 52 dní v roce, po zbylých 317 dní pak byly převážně podprůměrné.

Rozdílnost v průběhu závislostí „odtok – odnos“ pro lesní a zemědělské povodí je z přiložených grafů a výše uvedeného hodnocení více než patrná. Ukazuje se, že proces vyplavování dusičnanů z půdního profilu není kontinuální, závisí zejména na charakteru pohybu půdní vody a na stupni nasycenosti kapilárních i nekapilárních půdních pórů. U zemědělských půd se ukazuje jako nejrizikovější období středně velkých odtoků charakterizovaných v daném případě 90 až 40denní vodou. Při nižších odtocích nejsou dusičnany buď vůbec vyplavovány, nebo jsou vyplavovány v mnohem menší míře. Jejich odnos je tvořen látkou vyplavenou již dříve a akumulovanou v zadržené podzemní či podpovrchové vodě. Při odtocích vyšších, než odpovídá cca 40denním průtokům, pak již voda nestačí rozpouštět a odnášet více látky, koncentrace proto klesají v důsledku ředění.

Vztah „odtok – odnos“ popisuje jen jednu stránku vyplavovacího procesu. Druhou stránkou je množství vyplavitelných dusičnanů v půdním profilu, zejména v době rizikových odtoků. Z tohoto důvodu je při výzkumu problematiky plošného znečištění dusičnany nezbytné věnovat se nejen měření kvality a odtoku vody, ale též procesu vzniku, přeměny a odběru dusičnanů v půdě jak na zemědělských plochách, tak i v lesích. Pro zemědělské půdy byly již dříve odvozeny charakteristiky dynamiky půdního dusíku v závislosti na čase. Dále na druzích a růstu pěstovaných plodin, prováděných agrotechnických operacích, statkovém a průmyslovém hnojení, průběhu povětrnosti a dalších činitelích. Známa je rovněž závislost vyplavitelnosti dusičnanů na jejich obsahu v ornici za zimní a předjarní období, kdy ztráty této živiny dosahují rozhodujících hodnot (A-G diagram). Pro lesní půdy však takovéto charakteristiky zatím k dispozici nejsou.

ZÁVĚR

Otázkám koloběhu dusíku a plošného znečištění podzemních, podpovrchových a povrchových vod i jejich samočištění na zemědělských půdách byla v minulosti věnována velká pozornost. Výsledkem je řada vědeckých prací, výzkumných zpráv, metodických postupů a rovnic popisujících uvedené procesy. Problematice bilance a látkové přeměny v lesích se však věnovala menší pozornost, respektive zatím získané podklady nebyly dosud v plné míře využity. Navazující řešení této problematiky by tak mělo přispět k objasnění úlohy lesů jakožto zlepšujícího faktoru jakosti vod, což je jejich cenná mimoprodukční funkce.

Poděkování

Výsledky prezentované v příspěvku vznikly v rámci institucionální podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků MZe ČR výzkumného záměru č. 0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“ a projektu NAZV QI 112A174 „Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině“.

LITERATURA

FOTTOVÁ, D. (1995): Regional Evaluation of Mass Element Fluxes: GEOMON Network of Small Catchments. Enviromental Monitoring and Assessment, 34: 215–221.

HLADNÝ, J. et al. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Souhrnná zpráva projektu. MŽP ČR, ČHMÚ Praha, 163 s., 51 tab.

ŠVIHLA, V. et al. (2000): Hodnocení dosavadních výsledků monitoringu VN Vír, vlastní návrh monitoringu. In: Studie řešení plošného zemědělského znečištění vodárenské nádrže Vír. VÚMOP Praha, oddělení pozemkových úprav Brno, s. 21–55.

ŠVIHLA, V. et al. (2000): Řešení zemědělského hospodaření a otázek koloběhu a bilance živin. In: Podklady pro revizi ochranných pásem části „Pravý břeh“ povodí nádrže Vír. VÚMOP Praha, oddělení pozemkových úprav Brno, 72 s., 9 příloh.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění.

Adresy autorů

Ing. VLADIMÍR ČERNOHOUS, Ph.D.
Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady
Výzkumná stanice Opočno
Na Olivě 550
517 73 Opočno

doc. Ing. VLADIMÍR ŠVIHLA, DrSc.
privat
Fügnerova 809
266 01 Beroun