

Priestorové informácie na efektívne znižovanie difúzneho znečisťovania podzemných vôd dusíkom z poľnohospodárskej pôdy

Bujnovský, R., Švasta, J., Malík, P., Bezák, P.: Spatial Information for Effective Reduction of Diffuse Groundwater Pollution by Nitrogen from Agricultural Land. *Životné prostredie*, 2017, 51, 1, p. 41 – 44.

Improving water status is enshrined in the Water Framework Directive and it envisages the design and implementation of environmentally effective and economically efficient measures. The regulation on nutrient inputs, especially nitrogen, is an immediate area of focus. A considerable decrease in nitrogen fertilizer use has been noted in Slovak agriculture since the 1990's. This was accompanied by a significant decline in livestock numbers, and this created ideal conditions for reduction of the diffuse nitrogen groundwater pollution. Excessive soil nutrient loading has both local and regional implications. Mapping these nutrients especially by nitrogen includes indication of nitrogen balance surplus which is essential in nitrogen's spatial distribution in agricultural land. The areas which significantly reduce nitrogen can be identified by risk assessment; a combination of the agricultural land nitrogen load and the conditions for its transport to local waters. In evaluating the effectiveness of adopted agricultural measures and prospective introduction of additional or more stringent measures, it is essential to consider also the time of groundwater body response to the implemented measures, which comprises also the residence of rainwater in the soil.

Key words: diffuse water pollution, agricultural land, nitrogen, environmental load, vulnerability, critical areas

Difúzne znečisťovanie vôd z využívania poľnohospodárskej krajiny ostáva naďalej významným environmentálnym problémom. Ako vyplýva z druhého plánu manažmentu vôd v medzinárodnom povodí Dunaja (ICPDR, 2015), sektor poľnohospodárstva má v podmienkach Slovenska 52 % podiel na celkových emisiách dusíka a 40 % na celkových emisiách fosforu do povrchových vôd s tým, že v porovnaní s predchádzajúcim obdobím (referenčný rok 2005/2006) je v absolútnych množstvách emisií týchto živín (najmä dusíka) zaznamenaný mierny pokles, asi 3 200 t dusíka. Zlepšovanie stavu vôd, zakotvené v rámcovej smernici o vode č. 2000/60/ES (RSV), predpokladá návrh a realizáciu environmentálne účinných a ekonomicky efektívnych opatrení. V zmysle článku 11 RSV ide o základné a doplnkové opatrenia.

Podľa oficiálnych vyjadrení Európskej komisie v dokumente *Rámcová smernica o vode a smernica o povodniach: opatrenia na dosiahnutie dobrého stavu vôd v EÚ a zníženie povodňových rizík* napriek určitému pokroku pri znižovaní spotreby minerálnych hnojív stále pretrvávajú mnohé nedostatky v základných opatreniach, ktoré zaviedli členské štáty s cieľom znižovať tlak poľnohospodárstva na vodné zdroje.

Hoci požiadavky formulované v legislatíve EÚ na ochranu vôd (najmä RSV) majú svoje opodstatnenie, ukazuje sa, že definovaný časový rámec plnenia, týkajúci sa dosiahnutia dobrého stavu vôd, nie je v mnohých

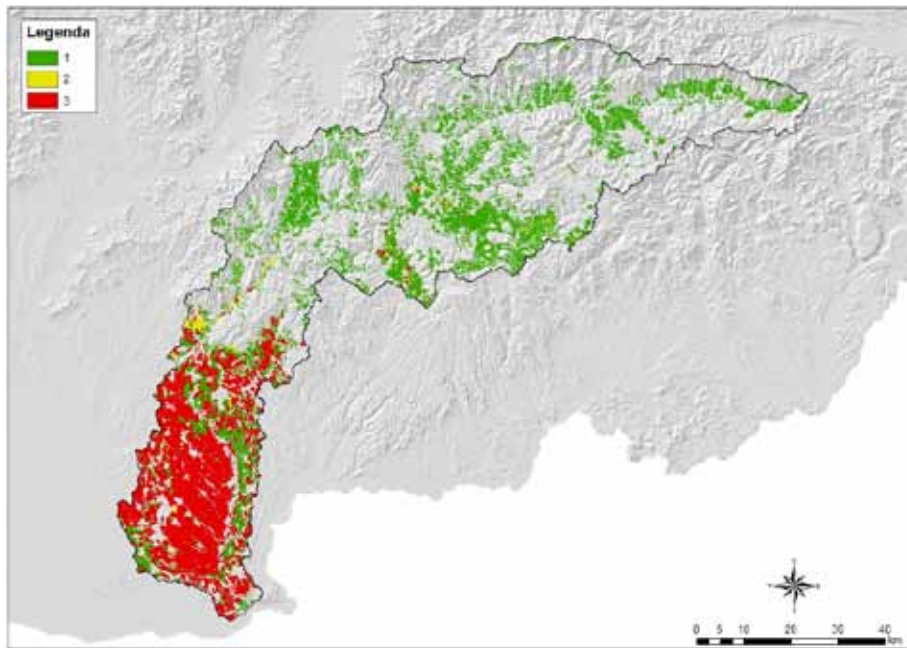
prípadoch splniteľný. Uvedená skutočnosť rezonuje v diskusiách o prehodnotení RSV v zmysle článku 19.

Hodnotenie záťaže poľnohospodárskej pôdy dusíkom

Regulácia vstupov živín a ich nadbytku predstavuje štandardnú zdrojovo orientovanú prax. Ako uvádza Bujnovský (2016), z environmentálneho hľadiska je na celonárodnej úrovni spotreba dusíka v priemyselných hnojivách, ako aj bilancia tejto živiny na celoštátnej úrovni pomerne priaznivá:

- priemerná spotreba dusíka za obdobie 2012 – 2014 bola výrazne pod úrovňou spotreby tejto živiny v roku 1990 (50 % z úrovne spotreby dusíka v roku 1990);
- stavy hospodárskych zvierat zaznamenali od roku 1990 výrazný, ba až nežiaduci pokles, pri porovnaní stavov hospodárskych zvierat v období 2012 – 2014 s rokom 1990 možno konštatovať trvalý pokles stavov všetkých druhov hospodárskych zvierat, predovšetkým hovädzieho dobytku (–70 %) a ošípaných (–75 %);
- v období 2012 – 2014 bilancia dusíka na celoštátnej úrovni nepresiahla 50 kg·ha⁻¹.

Napriek relatívne pozitívnemu stavu spotreby dusíka v priemyselných hnojivách na celoštátnej úrovni vrátane bilancie tejto živiny treba pripomenúť, že nadmerná záťaž poľnohospodárskej pôdy dusíkom má aj



Obr. 1. Bilančný prebytok dusíka po odpočte plynných strát dusíka na príklade povodia rieky Hron

Vysvetlivky: (1) 0 – 20,0 kg N.ha⁻¹; (2) 20,1 – 30,0 kg N.ha⁻¹; (3) nad 30 kg N.ha⁻¹

v podmienkach Slovenska regionálny, prípadne lokálny charakter.

Východiskovým indikátorom záťaže prostredia dusíkom vo vzťahu k potenciálnemu riziku vyplavenia tejto živiny je bilancia, resp. bilančný prebytok dusíka. Výpočet bilancie dusíka vychádza z metodiky OECD (Organizácie pre hospodársku spoluprácu a rozvoj), zahŕňa potenciálne straty dusíka do ovzdušia aj vôd. Odpočet plynných strát amoniaku a oxidov dusíka umožňuje spresniť informácie o množstve dusíka, ktoré môže byť vyplavené do podzemných vôd. Priestorová distribúcia bilančného prebytku dusíka v rámci poľnohospodárskej pôdy na príklade povodia rieky Hron po odpočte plynných strát dusíka ukazuje, že vysoká záťaž pôdneho prostredia dusíkom sa nachádza v dolnej časti povodia (obr. 1).

Dosahovanie environmentálne prijateľných hodnôt bilancie dusíka je základným východiskom na zlepšenie stavu vôd (z pohľadu dusičnanov). V krajinách EÚ s intenzívnym poľnohospodárstvom sa veľký význam prikladá znižovaniu bilančného prebytku dusíka. V Nemecku (Heidecke et al., 2014) sa uvažuje s cieľovou hodnotou celkového bilančného prebytku dusíka (zodpovedajúceho hrubej bilancii dusíka) do 60 kg N.ha⁻¹. V Poľsku, vzhľadom na vyššie zastúpenie zrnitostne ľahkých pôd, je to 50 kg N.ha⁻¹ (Igras, Pecio, 2004), čo zodpovedá orientačnému limitu OECD. Na Slovensku oblasti s hodnotami hrubej bilancie dusíka presahujúcej 50 kg N.ha⁻¹ do istej miery korešpondujú s doteraz vymedzenými zraniteľnými oblasťami (ZO). Pri hodnotení stavu implementácie dusičnovej smernice č. 91/676/

EHS na Slovensku do roku 2006 (ALTERRA, 2008) bolo konštatované, že priemerný tlak/záťaž poľnohospodárstva na životné prostredie je pod priemerom členských štátov EÚ, čo korešponduje aj s porovnaním bilančného prebytku dusíka na úrovni krajín EÚ.

V súčasnosti zatiaľ nie sú známe kritériá na hodnotenie bilancie dusíka po odpočte jeho plynných strát. V zahraničí sa pozornosť viac sústreďuje na koncentráciu dusíka (dusičnanov) vo vode, prechádzajúcej vrstvou nadoložného prostredia (pôdy), ktorá by mala byť menšia než 50 mg NO₃-l⁻¹ (Brandjes et al., 1996; Kunkel et al., 2008). Uplatnením tohto prístupu v oblastiach s premyvným režimom (pri relatívne krátkej

dobe zdržania zrážkovej vody v pôde) sa obchádza problém množstva dusíka prenikajúceho do podzemných vôd, čo vyplýva aj z informácií publikovaných Medzinárodným ústavom na výživu rastlín (*International Plant Nutrition Institute*, Norcross, USA).

Regulácia vstupov živín a ich nadbytku – štandardná zdrojovo orientovaná prax

Dosahovanie bilančne vyrovnaného hnojenia predpokladá zosúladovanie aplikácie dusíkatých hnojív s príjmovou kapacitou porastu pestovaných plodín a zohľadňovanie všetkých dostupných zdrojov živín pre danú plodinu. Opatrenia na znižovanie strát živín z poľnohospodárskej pôdy do vôd zvyčajne presahujú rámec regulácie intenzity hnojenia dusíkom (Interwies et al., 2004; HELCOM, 2013). Efektívnosť hnojenia dusíkom je zabezpečovaná tak reguláciou jeho vstupov (na základe určenia celkovej efektívnej dávky dusíka zohľadňujúcej úrodový potenciál plodiny v daných pôdnoekologických podmienkach), ako aj reguláciou strát tejto živiny, čo zahŕňa voľbu optimálneho času a spôsobu aplikácie príslušných hnojív, dostatočné skladovacie kapacity na hospodárske hnojivá, ako aj výber pestovaných plodín, resp. medziplodín. Ako už bolo uvedené (Kunkel et al., 2008), v krajinách alebo regiónoch s vysokou intenzitou pestovania a hnojenia plodín je regulácia vstupov dusíka, resp. jeho bilančného nadbytku prvoradou záležitosťou.

Primárnym nástrojom na realizáciu potrebných opatrení je akčný program (program poľnohospodár-

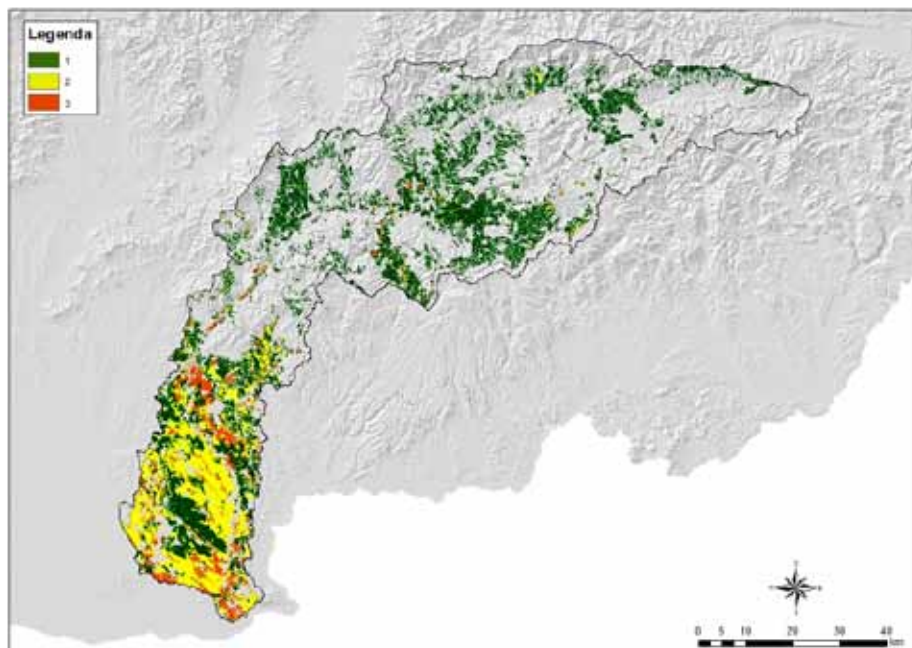
ských činností) vo vymedzených ZO, ktorý predstavuje rozhodujúcu časť základných opatrení podľa RSV. Revidovaný program poľnohospodárskych činností je uvedený v novele zákona č. 394/2015 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 136/2000 Z. z. o hnojivách v znení neskorších predpisov, ktorá zahŕňa aj opatrenia na znižovanie difúzneho znečisťovania živinami mimo ZO. Doplnkové opatrenia podľa RSV sú spravidla zakomponované v rámci Programu rozvoja vidieka SR na obdobie 2014 – 2020.

Štandardná prax v oblasti regulácie záťaže prostredia dusíkom nemusí byť vždy postačujúca na efektívne znižovanie strát dusíka a znečisťovania vôd, čo môže korešpondovať tak s výberom opatrení, ako aj ich alokáciou vzhľadom na podmienky transportu tejto živiny v pôdnom a horninovom prostredí.

Priestorová alokácia opatrení zvyšuje ich efektívnosť

Ako vyplýva z niektorých prác (Rode et al., 2009; Laurent, Ruelland, 2011), efektívnosť opatrení na znižovanie difúzneho znečisťovania vôd dusíkom je podmienená ich alokáciou do oblastí, ktoré najviac prispievajú k emisiám týchto živín. Jedná sa o rizikové, resp. kritické oblasti, ktoré predstavujú prienik dvoch druhov priestorových informácií, a to záťaže poľnohospodárskej pôdy dusíkom (bilančného prebytku dusíka) a podmienok jeho transportu do vôd (zraniteľnosti). Zraniteľnosť podzemných vôd je vyjadrená indexom zraniteľnosti podzemnej vody (Bujnovský et al., 2016), ktorý zohľadňuje množstvo efektívnych zrážok v období október až marec, kapacitu pôdy akumulovať vodu, priemernú hĺbku hladiny podzemnej vody a priepustnosť horninového prostredia vyjadrenú koeficientom filtrácie. Na príklade čiastkového povodia Hron možno konštatovať, že vysoké riziko znečisťovania podzemných vôd dusičnanmi sa v menších lokalitách vyskytuje v dolnej časti povodia (obr. 2).

Zvrátenie nepriaznivého stavu vôd (v tomto prípade nadlimitnej koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách) a dosiahnutie cieľového stavu (do 50 mg.l⁻¹), ako aj všeobecné znižovanie koncentrácie dusičnanov predstavuje proces, ktorý nie je plne kontrolovaný zme-



Obr. 2. Priestorová distribúcia združených kategórií rizika znečistenia podzemných vôd zlúčeninami dusíka na príklade povodia rieky Hron

Vysvetlivky: 1 – nízke až veľmi nízke riziko znečistenia podzemných vôd; 2 – stredné riziko znečistenia podzemných vôd; 3 – vysoké až veľmi vysoké riziko znečistenia podzemných vôd

nou poľnohospodárskych aktivít v krátkom časovom období. Treba poznamenať, že charakter opatrení má skôr preventívny než remediačný charakter. Uplatňovanie preventívnych opatrení v oblastiach s nízkym úhrnom efektívnych zrážok zvyčajne nevytvára dostatočné predpoklady na zníženie koncentrácie dusičnanov v útvaroch podzemných vôd v krátkom časovom horizonte.

Opatrenia na zníženie difúzneho znečisťovania vôd sú zvyčajne viac orientované na znižovanie emisií látok do vôd než na znižovanie koncentrácie príslušných látok vo vode, resp. dosahovanie želaného environmentálneho stavu, čo je podmienené aj pôsobením času reakcie vodného útvaru na účinky opatrení, ktorý sa pohybuje od niekoľkých rokov až po desiatky rokov (Mels et al., 2010; Windolf et al., 2012). Ako vyplýva z výsledkov hodnotenia podľa modelu MONERIS (Vernohr, 2012), doba zdržania dusičnanov v podzemných vodách v rámci správneho územia povodia Dunaja v Slovenskej republike sa približne pohybuje v rozpätí 5 – 50 rokov. V prípade podzemných vôd toto obdobie pozostáva z času potrebného:

- na vytvorenie nevyhnutného efektu v praxi;
- na prejavenie efektu na úrovni hladiny podzemnej vody;
- pre vodný útvar/hydrogeologický rajón na odozvu na efekt opatrenia, ktorý býva spomedzi uvedených zvyčajne najdlhší.

Uvedená doba zdržania je jednou z hlavných príčin,

prečo viaceré útvary podzemných vôd nedosahujú dobrý stav, hoci potrebné opatrenia sú implementované. V nížinných oblastiach Slovenska doba zdržania zrážkovej vody v pôde, ovplyvňujúca vstup dusíka do podzemnej vody vyplavením z pôdy, môže presahovať obdobie piatich rokov, čo ovplyvňuje reakčný čas prijatých opatrení. Naopak, v oblastiach s krátkou dobou zdržania zrážkovej vody v pôde možno v závislosti od východiskovej úrovne znečistenia podzemných vôd dusíkom a množstva zrážkovej vody vstupujúcej do podzemných vôd očakávať zmeny (pokles) koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách v priebehu niekoľkých rokov, čo na príklade povodia rieky Hron zodpovedá jeho hornej časti.

* * *

Dosahovanie environmentálnych cieľov rámcovej smernice o vode predpokladá implementáciu environmentálne účinných a ekonomicky efektívnych opatrení. Významnú skupinu opatrení predstavujú opatrenia na znižovanie difúzneho znečisťovania vôd dusíkatými látkami z využívania poľnohospodárskej pôdy. Efektívnosť opatrení na znižovanie difúzneho znečistenia vôd dusíkom je podmienená ich alokáciou do oblastí, ktoré najviac prispievajú k emisiám tejto živiny, a to na základe hodnotenia rizika znečistenia. Zlepšenie kvality podzemných vôd (ako dôsledok vplyvu prijatých opatrení) je postupný proces, čo znamená, že malá alebo žiadna zmena koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách nemusí vždy indikovať potrebu prijatia prísnejších opatrení.

Literatúra

- ALTERRA: Assessment of the Designation on Nitrate Vulnerable Zones in Slovakia. Implementation of the Nitrates Directive (91/676/EEC). Wageningen: ALTERRA, 2008, 62 p.
- Brandjes, P. J., de Wit, J., van der Meer, H. G., Van Keulen, H.: Livestock and the Environment. Finding Balance. Environmental Impact of Animal Manure Management. Wageningen: International Agriculture Centre, 1996, 53 p.
- Bujnovský, R.: Efektívne znižovanie difúzneho znečisťovania vôd živinami z využívania poľnohospodárskej pôdy v podmienkach Slovenska. Vodohospodársky spravodajca, 2016, 59, č. 3 – 4, s. 10 – 13.
- Bujnovský, R., Malík, P., Švasta, P.: Evaluation of the Risk of Diffuse Pollution of Groundwater by Nitrogen Substances from Agricultural Land Use as Background for Allocation of Effective Measures. Ekológia (Bratislava), 2016, 35, 1, p. 66 – 77.
- Heidecke, C., Wagner, A., Kreins, P., Vernohr, M., Wendland, F.: Options for Meeting WFD Targets beyond 2015 in a Highly Polluted River Basin in Germany. Poster Paper Presented at the EAAE 2014 Congress Agri-Food and Rural Innovations for Healthier Societies. August 26 – 29, 2014, Ljubljana, Slovenia, 6 p. (<http://purl.umn.edu/182931>)
- HELCOM: Revised Palette of Measures for Reducing Phosphorus and Nitrogen Losses from Agriculture. Helsinki: HELCOM, 2013, 16 p.
- ICPDR: The Danube River Basin District Management Plan. Part A – Basin-Wide Overview. Update 2015. Vienna: International Co-

- mmission for the Protection of the Danube River, 2015, 164 p.
- Igras, J., Pecio, A.: Elimination of Agricultural Risk to Health and Environment. In: Myczko, A. (ed.): Elimination of Agricultural Risks to Health and Environment 2004. Poznań: Institute for Building, Mechanization and Electrification of Agriculture, 2004. (<http://www.itep.poznan.pl/monografia/dzial-16.html>)
- Interwies, E., Borchardt, D., Kraemer, A., Kranz, N., Görlach, B., Richter, S., Willecke, J., Dworak, T.: Basic Principles for Selecting the Most Cost-Effective Combinations of Measures for Inclusion in the Programme of Measures as Described in Article 11 of the Water Framework Directive. Handbook. Berlin: Federal Environmental Agency, 2004, 257 p.
- Kunkel, R., Eisele, M., Schäfer, W., Tetzlaff, B., Wendland, F.: Planning and Implementation of Nitrogen Reduction Measures in Catchment Areas Based on a Determination and Ranking of Target Areas. Desalination, 2008, 226, p. 1 – 12.
- Laurent, F., Ruelland, D.: Assessing Impacts of Alternative Land Use and Agricultural Practices on Nitrate Pollution at the Catchment Scale. Journal of Hydrology, 2011, 409, p. 440 – 450.
- Meals, D. W., Dressing, S. A., Davenport, T. E.: Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices: A Review. Journal of Environmental Quality, 2010, 39, p. 85 – 96.
- Rode, M., Thiel, E., Franco, U., Wenk, G., Hesser, F.: Impact of Selected Agricultural Management Options on the Reduction of Nitrogen Loads in Three Representative Meso Scale Catchments in Central Germany. Science of the Total Environment, 2009, 407, p. 3459 – 3472.
- Vernohr, M.: Background Paper on Recent Methods, Input Data and Modelled Nutrient Emissions and Potential of Measures to Reduce these in the Danube Catchment. Paper presented on the ICPDR workshop November 5 – 6th 2012, Bucharest, 18 p., nepublikované.
- Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G., Carstensen, J., Kronvang, B.: Changes in Nitrogen Loads to Estuaries Following Implementation of Governmental Action Plans in Denmark: A Paired Catchment and Estuary Approach for Analysing Regional Responses. Environmental Science and Policy, 2012, 24, p. 24 – 33.

Ing. Radoslav Bujnovský, CSc.,

radoslav.bujnovsky@vuvh.sk

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava

Mgr. Jaromír Švasta, PhD., *jaromir.svasta@geology.sk*

RNDr. Peter Malík, CSc., *peter.malik@geology.sk*

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Ing. Pavol Bezák, *p.bezak@vupop.sk*

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gaгарinova 10, 827 13 Bratislava