

## VPLYV SÚČASNÉHO HOSPODÁRENIA NA POĽNOHOSPODÁRSKEJ PÔDE NA ZNEČISTENIE PODZEMNÝCH VÔD DUSÍKOM V PODMIENKACH ČERNOZEME NA PODUNAJSKEJ NÍŽINE

## THE IMPACT OF CURRENT AGRICULTURAL LAND MANAGEMENT ON GROUNDWATER POLLUTION BY NITROGEN IN THE CONDITIONS OF CHERNOZEM ON PODUNAJSKÁ LOWLAND

Vladimír Píš, Milan Kališ, Jozef Takáč, Zuzana Bezáková

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy  
National Agricultural and Food Centre – Soil Science and Conservation Research Institute Bratislava,  
Slovak Republic*

**Corresponding author:** *Mgr. Milan Kališ, PhD., Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum  
– Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, Slovakia, e-mail:  
milan.kalis@nppc.sk*

**Citation:** Píš, V., Kališ, M., Takáč, J., Bezáková, Z. (2023). The impact of current agricultural land management on groundwater pollution by nitrogen in the conditions of Chernozem on Podunajská lowland. *Pedosphere Research*, vol. 3, 2023, no. 1, pp. 17–29. NPPC – VÚPOP 2023. ISSN 2729-8728.

### Abstrakt

V lokalite Maslovce (okr. Dunajská Streda) na Podunajskej nížine boli testované podmienky aplikácie dusičnanových hnojív v pôdnom prostredí. V dvojročnom poľnom experimente v rokoch 2020 a 2021 bola uskutočnená aplikácia viacerých druhov hnojív na viaceré poľnohospodárske plodiny. Testovaná pôda bola kvalitná černoziem čiericová na fluviálnych sedimentoch. Vzorky boli odoberané z pôdneho profilu, a to z troch pôdnych vrstiev: 0–0,30 m; 0,30–0,60 m; a 0,60–0,90 m v dvojtýždňových intervaloch. Problematika bola riešená vo vzťahu ohrozenia hladiny podzemnej vody dusičnanmi v rôznych meteorologických obdobiach ako aj pri akceptovaní prebiehajúcej klimatickej zmeny. Model DAISY na základe informácie o spôsobe hospodárenia na pôde a údajov o počasí dokáže simulovať rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciu organickej hmoty a dynamiku dusíka v rôznych poľnohospodárskych pôdach. Na základe údajov získaných z prieskumu v teréne a laboratórnych meraní (lokalita Maslovce) sa zistoval pohyb dusíka cez pôdny profil niekoľkých pôdnych horizontov vzťahovaný na dané klimatické podmienky. Vo výsledku možno skonštatovať, že ani v najrizikovejšom období roka, kedy sa predpokladá najvyšší prienik dusíka cez pôdny profil, neprenikali dusičnany hlbšie do profilu viac ako 40–50 cm, čo vzhľadom na hĺbku hladiny podzemnej vody a hĺbku koreňového systému pri bežnej agrotechnike pestovaných plodín neohrozuje podzemnú vodu dusičnanmi. Problém teda nie je v rovine pôdneho prostredia, ale externých prejavov vplyvov týkajúcich sa kanalizácie obcí, prípadne s možným reziduálnym vplyvom používania hnojív s obsahom dusíka v predchádzajúcich obdobiach.

**Kľúčové slová:** dusičnany, dusičnanová smernica, Podunajská nížina, poľnohospodárske rastliny

### Abstract

In the locality of Maslovce (Dunajská Streda county) on the Podunajská nížina (lowland), the conditions of nitrate fertilizers application in the soil environment were tested. In a two-year field experiment in 2020 and 2021, several types of fertilizers were applied to several agricultural crops. The tested soil was high-quality Mollic Chernozem on fluvial sediments. The samples were taken from the soil profile, from three soil layers: 0–0.30 m; 0.30–0.60 m; and 0.60–0.90 m at two-week intervals. The problem was solved in relation to the threat to the underground water level by nitrates in different meteorological periods as well as in the acceptance of ongoing climate change. The DAISY model can simulate crop growth, water regime, heat regime, organic matter balance and nitrogen dynamics in various agricultural soils based on information about the method of land management and weather data. Based on the

Short communication

data obtained from the field survey and laboratory measurements (Maslovce location), the movement of nitrogen through the soil profile of several soil horizons related to the given climatic conditions was determined. As a result, it can be concluded that even in the most risky period of the year, when the highest penetration of nitrogen through the soil profile is assumed, nitrates did not penetrate deeper into the profile by more than 40–50 cm, which, given the depth of the groundwater level and the depth of the root system in the case of conventional agricultural techniques of cultivated crops does not endanger groundwater with nitrates. The problem is therefore not in the level of the soil environment, but in the external manifestations of influences related to municipal sewerage, or with the possible residual influence of the use of fertilizers containing nitrogen in previous periods.

**Keywords:** nitrates, Nitrate Directive, Danube lowland, agricultural plants

## ÚVOD

Kontaminácia podzemných vôd živinami v dôsledku použitia dusíkatých hnojív predstavuje problém na mnohých miestach v Európe. Napriek tomu, že ochrana kvality vody je už viac ako 20 rokov zaručená rámcovou Smernicou o vode (EC 2000), v najnovšej správe EÚ došla k záveru, že väčšina európskych vodných útvarov nespĺňa minimálny cieľ Európskej únie, znížiť hrozbu znečisťujúcich látok. Ako hlavný problém bol zdôraznený práve nadbytok dusičnanov z poľnohospodárskych oblastí.

Dusík je životne dôležitou živinou, ktorá umožňuje rast rastlín a plodín, jeho vysoké koncentrácie vo vode však škodia ľuďom aj prírode. Dusičnany z maštalného hnoja a minerálne hnojivá sú už desaťročia hlavným zdrojom znečistenia vôd v Európe. Približne polovica dusíka obsiahnutého v použitých hnojivách a hnoji sa v Európe stráca v okolitom prostredí. Chemické formy dusíka v pôde počas vegetácie sa významne menia. Obsah celkového dusíka v pôdach SR je v rozsahu 0,11–0,23 %, z toho na anorganický dusík pripadá iba okolo 1–3 % a podiel organického dusíka z celkového N predstavuje 97–99 % (Michalík 2023). Preto organické formy dusíka sú dominantným potenciálnym zdrojom prístupných foriem dusíka počas vegetácie. Organický dusík je mobilizovaný vo forme humusu, pozberových rastlinných zvyškov a mikrobiálnej biomasy. Reálna denná produkcia anorganického dusíka dosahuje okolo 0,25–0,6 kg/ha.

Smernica o dusičnanoch z roku 1991 (EC 1991) má za cieľ chrániť kvalitu vôd tým, že zabráňuje znečisťovaniu podzemných a povrchových vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov, pričom podporuje uplatňovanie dobrej poľnohospodárskej praxe (Ministerstvo poľnohospodárstva SR 2001). Táto Smernica tiež hovorí o zraniteľných územiach ohrozených dusičnanmi, ktoré si vyžadujú rýchle opatrenia zlepšiť manažment týchto látok v pôde. Zraniteľné oblasti sú poľnohospodársky využívané územia, z ktorých odtekajú vody zo zrážok do povrchových vôd, alebo vsakujú do podzemných vôd. V nich je koncentrácia dusičnanov vyššia ako 50 miligramov na liter, alebo v blízkej budúcnosti môže byť táto hranica prekročená. Celkový počet zraniteľných oblastí sa v porovnaní s rokom 2017 zvýšil z 1344 na 1395 (MŽP, IEP 2020). Zo zoznamu sa vyradilo 121 zraniteľných oblastí, naopak, 172 území obcí sa zaradí do zoznamu vrátane 15 katastrálnych území obcí v Chránenej vodohospodárskej oblasti Žitný ostrov.

V rámci EÚ pri porovnaní so situáciou pred prijatím Smernice o dusičnanoch skutočne došlo k poklesu koncentrácie dusičnanov v povrchových aj podzemných vodách. V období 2016–2019 iba 14,1 % podzemných vôd štátov EÚ koncentraciou dusičnanov prekračovalo limit stanovený pre pitnú vodu. Komisia sa bude usilovať zlepšiť dodržiavanie Smernice o dusičnanoch, čo je predpokladom splnenia cieľa Európskej zelenej dohody (EC 2021), kde chce znížiť úniky živín a hnojív do roku 2030 aspoň o 50 %. To si vo väčšine členských štátov Únie vyžiada sprísniť celonárodné aj regionálne opatrenia, nakoľko už zavedené riešenia v mnohých prípadoch nepôsobia proti znečisteniu dostatočne účinne, najmä v oblastiach, v ktorých rastie tlak z poľnohospodárstva.

Detailné podmienky ustanovuje Dusičnanová smernica 91/676/EHS (EC 1991) čl. 4 a 5, ktorú tvorí súbor opatrení smerujúcich k zníženiu znečistenia vodných zdrojov (povrchové aj podzemné) dusičnanmi, ktoré môžu pochádzať z minerálnych hnojív a z hospodárskych hnojív (maštalný hnoj, hnojovica, močovka) a to vtedy, keď sú aplikované v nadmerných dávkach a v nesprávnom čase, alebo keď sú nesprávne uskladňované. Riziko difúzneho znečistenia podzemných vôd dusíkatými látkami z poľnohospodárskej pôdy je vnímané ako dôsledok interakcie zraniteľnosti podzemnej vody (určenej charakteristikou prós-

tredia nad podzemnou vodou vo vzťahu k transportu vody alebo pôdneho roztoku) a zaťaženiu nadložného prostredia dusíkom (Bujnovský, Malík, Švasta 2016).

V aplikovaných exkrementoch v rámci anorganického podielu prevláda amoniakálna forma, čo nepriamo naznačuje, že riziko vyplavenia dusíka v jesennom období po neskoro jesennej aplikácii tekutých exkrementov je relatívne nízke aj vzhľadom k nízkym teplotám v zimnom polroku, kedy je intenzita nitrifikácie amónnych iónov na dusičnany nízka. V zovšeobecnenom hodnotení možno konštatovať, že vo vyplavenom dusíku sa obvyčajne nachádza 90–97 % dusičnanov, len 0,5–3 % amónneho a iba stopy ostatných foriem dusíka (Bielek 1998). K možnostiam vyplavovania dusíka dochádza predovšetkým pri vysokej akumulácii dusičnanov v pôdnom prostredí. Stáva sa tak v podmienkach priaznivých pre nitrifikačný proces, hlavne v kvalitnom, vysoko humóznom a aerohydricky priaznivom pôdnom prostredí.

Vyplavovanie dusičnanov sa rozhodujúco viaže aj na vlastnosti pôdno-ekologického stanovišťa. Z vlastností pôd je dôležitá predovšetkým ich priepustnosť, sorpčná schopnosť, vodno-vzdušný režim, zrnitostné zloženie, obsah humusu, celková biologická aktivita a iné faktory, napr. aj preferované prúdenie vody cez makropóry v pôdnom profile (Beven, Germann 1982, Nováková 2002, Lichner, Houšková, Šír 2012, Holbak *et al.* 2021). Vyplavovanie dusíka z pôdy je uľahčené prevahou dusičnanej formy v pôde. Väčšina odborníkov považuje dusík, ktorý sa dostal pôsobením vody do nižších vrstiev pôdy za vylúhovaný, aj keď sa ešte nachádza v tzv. fyziologickej (prekorenenej) vrstve. Pri dostatočnej hĺbke pôdneho profilu a hladine podzemnej vody 2 m pod povrchom pôdy nemôžeme hovoriť o vylúhovaní N, ak sa presunul do hĺbky 0,7 m, pri dobre prekorenenom profile až do hĺbky 1,0 m. Tento dusík môžu rastliny bežne využiť. Bedrna & Stašík (1981) zistili, že pri racionálnom hnojení nedochádza k vyplavovaniu väčších množstiev dusíka do hydrosféry, a to ani pri priesakovom type vodného režimu pôd.

Zvýšená možnosť vyplavovania dusičnanov vplyvom aplikovaných dusíkatých hnojív rozhodujúco závisí od ich dávky, formy a času aplikácie (Bízík 1989). Prevláda názor, že bežné dávky sa nemusia zosilňujúco prejaviť na intenzite vyplavovania dusičnanov, toto nebezpečie hrozí predovšetkým pri extrémnom prehnojení dusíkom. Po prekročení tzv. kritickej dávky, ktorá je pre rôzne podmienky vždy iná, ani delenie dávky nemusí obmedziť vyplavovanie. Lyzimetrické pokusy na humóznej karbonátovej čiernici ukázali, že rozhodujúce je prekročenie dávky 100 kg.ha<sup>-1</sup> N (Kudličková & Bielek 1981). Dôležitou podmienkou je, aby sa dusíkaté hnojivo neaplikovalo na pôdu bez vegetačného krytu a v čase zvýšeného premývania pôdneho profilu, t. j. neskoro na jeseň, v zime a skoro na jar (Píš *et al.* 2018, Šimek 2019). Význam má aj forma aplikovaného dusíkatého hnojiva, po pridaní amoniakálnych hnojív je intenzita vyplavovania dusičnanov nižšia ako po aplikácii liadkových foriem (Píš *et al.* 2018, Zákon č. 394/2015 Z. z.). Transport dusíka (dusičnanov) do podzemných vôd je v zásade určený prebytkom dusíka v pôde (zdrojové faktory) a vertikálnym transportom vody (transportné faktory). Čo sa týka transportu dusíka do podzemnej vody, ide o rýchlosť dopĺňovania podzemnej vody – tej časti infiltrovanej a presiaknutej vody, ktorá vstupuje do podzemnej vody.

Cieľom práce zhodnotiť vplyv súčasného hospodárenia na poľnohospodárskej pôde na znečistenie podzemných vôd dusičnanmi na príklade pôdneho typu černoze čiernicovej na (Podunajská nížina). Ide o zisťovanie pohybu dusíka cez pôdny profil na experimentálnej báze dávok rôzneho hnojenia dusíkom viacerých plodín, a to modelom DAISY na základe informácie o spôsobe hospodárenia na pôde a meteorologických údajoch o počasi.

## MATERIÁL A METÓDY

Riziko ohrozenia kvality podzemných vôd sme sledovali na lokalite Maslovce v rámci CHVO (chránená vodohospodárska oblasť) Žitný ostrov, kde sú pravidelne merané obsahy dusičnanov v podzemných vodách vyššie ako 50 mg/l. Bola vybratá lokalita príslušná k sondám VÚVH (Výskumný ústav vodného hospodárstva) a SHMU (Slovenský hydrometeorologický ústav) č. SKS601192 a SKV120709.

### *Popis lokality experimentu*

Lokalita Maslovce patrí do okresu Dunajská Streda – sledovaná parcela č. 9805/1 má výmeru 57,87 ha (Obr. 1). Na lokalite sa vyskytuje pôdny typ černoze čiernicová, prevažne karbonátová, ťažká, s per-

Short communication

centuálnym zastúpením pôdnych častíc < 0,01 mm vo frakcii jemnozeme 45–60 % (Societas pedologica slovacica, VÚPOP 2014, Džatko, Sobocká *et al.* 2009). Je súčasťou Podunajskej nížiny a Podunajskej roviny s pôdotvornými karbonátovými fluvialnými sedimentmi s nadmorskou výškou 120 m. Lokalita sa nachádza vo veľmi teplej klimatickej oblasti, veľmi suchej, s miernou zimou podľa Agroklimatických regiónov SR (Džatko *et al.* 1989, Lapin 2002). Geomorfologicky ide o mierne zvlnenú rovinu s hĺbkou hladiny podzemnej vody 3–5 m.



Obrázok 1 Umiestnenie lokality Maslovce

Základné pôdne charakteristiky (pH,  $N_{tot}$ ,  $C_{tot}$  a C/N) za roky 2021 a 2022 sú uvedené v Tab. 1.

Tabuľka 1  
Základné charakteristiky pôd sledovanej lokality

| Lokalita        | Indikátor        |      |               |       |         |      |      |      |
|-----------------|------------------|------|---------------|-------|---------|------|------|------|
|                 | pH výmenné (KCl) |      | $N_{tot}$ [%] |       | Cox [%] |      | C/N  |      |
|                 | 2021             | 2022 | 2021          | 2022  | 2021    | 2022 | 2021 | 2022 |
| <b>Maslovce</b> |                  |      |               |       |         |      |      |      |
| 0–30 cm         | 7,42             | 7,48 | 0,205         | 0,190 | 2,96    | 2,86 | 14,4 | 15,1 |
| 30–60 cm        | 7,73             | 7,69 | 0,132         | 0,155 | 2,06    | 1,98 | 15,6 | 12,8 |
| 60–90 cm        | 7,78             | 7,71 | 0,103         | 0,099 | 1,29    | 1,35 | 12,5 | 13,6 |

*Popis poľného experimentu*

V priebehu pozorovaného vegetačného obdobia rokov 2021, 2022 bola sledovaná dynamika obsahu anorganického dusíka v pôde. Vzorok boli odoberané z pôdneho profilu, a to z troch pôdnych vrstiev: 0–0,30 m, 0,30–0,60 m, a 0,60–0,90 m v dvojtýždňových intervaloch. Na experimentálnych plochách boli sledované plodiny (slnečnica, ovos nahý, ovos siaty, kukurica na siláž, pšenica ozimná), na ktoré boli aplikované dávky hnojív: maštalný hnoj, LAD, dusičnan amónny, NPK, LAV v dávkach uvedených v Tab. 2. V tejto schéme sú tiež uvedené dátumy aplikácie a množstvo aplikovaného dusíka (kg/ha). Pestované plodiny sú bežnými komoditami, ktoré sa pomerne na veľkých plochách uplatňujú na Podunajskej níži-



ne. Prvenstvo patrí v tomto ohľade kukurici, ktorá je pestovaná až na 574 000 ha, nasleduje za ňou pšenica a príbuzné plodiny pestované na celkovej ploche 326 000 ha.

V odoberatých vzorkách boli stanovené anorganické formy dusíka. Tieto boli odoberané v niekoľkých časových radoch: 7 dní po aplikácii, 14 dní po aplikácii, 30 dní po aplikácii a 60 dní po aplikácii.

Tabuľka 2  
Dávky hnojív s obsahom dusíka

| Dátum aplikácie | Hnojená plodina                        | Použitie hnojivo a dávka   | Dávka dusíka [kg/ha] |
|-----------------|--|----------------------------|----------------------|
| 23. 8. 2019     | Sľečnica, zasiata 6. 4. 2020           | Maštalný hnoj 32,93 t/ha   | 138,3                |
| 6. 4. 2020      | Sľečnica                               | LAD, 80 kg/ha              | 21,6                 |
| 19. 3. 2020     | Ovos nahý, zasiaty 25. 2. 2020         | Dusičnan amónny, 170 kg/ha | 57,8                 |
| 20. 3. 2020     | Ovos siaty, zasiaty 25. 2. 2020        | LAD, 220 kg/ha             | 59,4                 |
| 18. 6. 2020     | Kukurica na siláž, zasiata 19. 6. 2020 | LAD, 178 kg/ha             | 48,06                |
| 19. 6. 2020     | Kukurica na siláž, zasiata 19. 6. 2020 | LAD, 100 kg/ha             | 27,00                |
| 11. 10. 2020    | Pšenica ozimná zasiata 10. 10. 2020    | NPK, 120 kg/ha             | 12,0                 |
| 17. 2. 2021     | Pšenica ozimná zasiata 10. 10. 2020    | LAD, 200 kg/ha             | 54                   |
| 4. 3. 2021      | Pšenica ozimná zasiata 10. 10. 2020    | Dusičnan amónny, 100 kg/ha | 34,0                 |
| 4. 5. 2021      | Pšenica ozimná zasiata 10. 10. 2020    | LAD, 100 kg/ha             | 27,0                 |
| 15. 3. 2022     | Ovos nahý zasiaty 25. 2. 2022          | LAV 200 kg/ha              | 54                   |
| 10. 6. 2022     | Kukurica na siláž, zasiata 10. 6. 2022 | LAV, 200 kg/ha             | 54                   |
| 15. 10. 2022    | Pšenica ozimná zasiata 15. 10. 2022    | NPK(10:26:26) 100 kg/ha    | 10                   |

#### Popis analytických metód

Anorganické formy dusíka boli stanovené v pôdnom výluhu 1:5 v 1M chloride draselnom a celkové obsahy dusíka v mineralizáte (podľa Kjeldahla so selénom ako katalyzátorom) kontinuálnym prietokovým spektrofotometrom SKALAR SAN plus (podľa ISO 14 256-2:2005) (SKALAR 1993a,b,c). Z každej sondy a z každej hĺbky sa vo vysušených vzorkách stanovil aj obsah celkového oxidovateľného uhlíka (metóda Walkey-Black) (Hrivňáková *et al.* 2011). Uvedené údaje boli podkladom pre modelovanie vertikálneho transportu anorganického dusíka modelom DAISY.

#### Model DAISY

Tento model bol vyvinutý na Kráľovskej veterinárnej a poľnohospodárskej univerzite v Kodani. Simuluje časti vodného, uhlíkového a dusíkového cyklu, ktoré súvisia s poľnohospodárskymi pôdnymi systémami (Hansen, Jensen, Nielsen & Svendsen 1990; Abrahamsen, Hansen 2000; Hansen 2000). Na základe informácie o spôsobe hospodárenia a údajov o počasí simuluje rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciú organickej hmoty a dynamiku dusíka v poľnohospodárskych pôdach. Zvláštny dôraz je kladený na režim dusíka v agroekosystémoch. Simulované sú procesy mineralizácie, imobilizácie, nitrifikácie, denitrifikácie, sorpcie  $\text{NH}_4$ , odberu  $\text{NO}_3$  a  $\text{NH}_4$  a priesaku  $\text{NO}_3$  a  $\text{NH}_4$ . Model DAISY bol podrobený viacerým porovnávaniam modelov (Palosuo *et al.* 2011, Rötter *et al.* 2012, Salo *et al.* 2015).

#### Klimatické charakteristiky

Slovensko sa nachádza v miernom podnebnom pásme v atlanticko-kontinentálnej oblasti, s prevládajúcim vplyvom Atlantického oceánu (MŽP SR, IES 2013). Typické je maximum zrážok v letnom období a minimum v zimnom období. V regióne Podunajskej nížiny prevláda výparný režim v zmysle hydrologickej klasifikácie vodného režimu pôdy s pomerom zrážok k evapotranspirácii < 1 (Stekauerová & Nagy 2002).

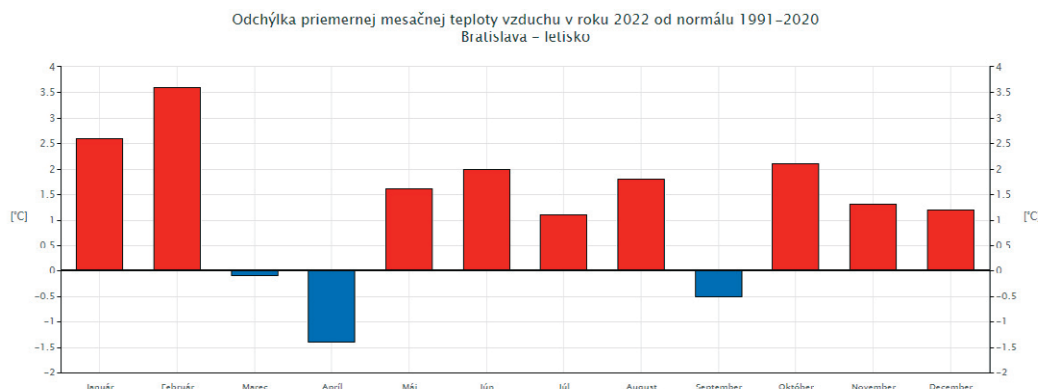
Výparný režim má z hľadiska rizikovosti prieniku dusičnanov pôdnym profilom priaznivý efekt. Nižšie zrážkové úhrny sú priaznivé z hľadiska nižšieho rizika perkolácie v pôdnom profile. Numerické simulácie modelom DAISY boli vykonané s radmi denných hodnôt globálneho žiarenia, teploty vzduchu, vlh-

Short communication

kosti vzduchu, rýchlosti vetra a atmosférických zrážok z meteorologickej stanice Gabčíkovo. Základné meteorologické prvky stanice Gabčíkovo sú uvedené v Tab. 3.

*Tabuľka 3*  
Základné meteorologické prvky meteorologickej stanice Gabčíkovo

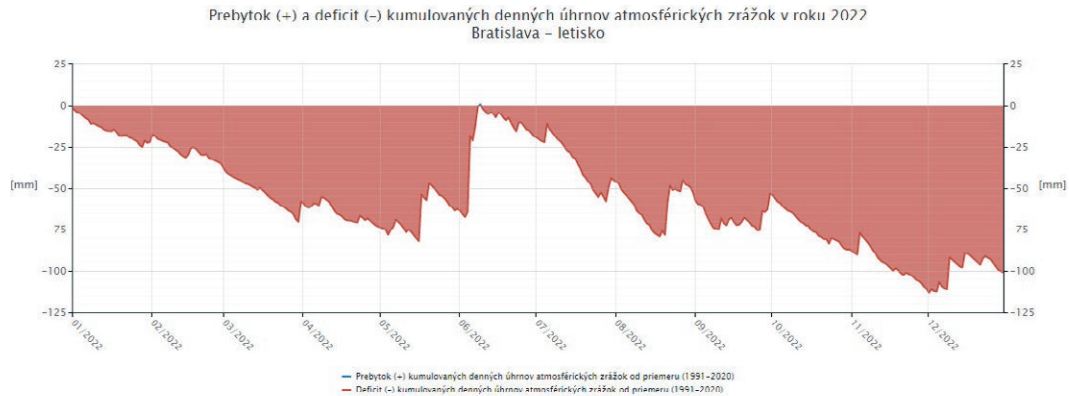
| Rok  | Mesiac | Priemerná teplota vzduchu [°C] | Zrážky [mm/d] |
|------|--------|--------------------------------|---------------|
| 2021 | 1      | 2,0                            | 41,0          |
| 2021 | 2      | 2,4                            | 26,3          |
| 2021 | 3      | 5,6                            | 2,1           |
| 2021 | 4      | 8,9                            | 38,4          |
| 2021 | 5      | 14,0                           | 76,1          |
| 2021 | 6      | 22,5                           | 6,3           |
| 2022 | 1      | 2,68                           | 10,3          |
| 2022 | 2      | 5,09                           | 18,6          |
| 2022 | 3      | 5,30                           | 15,2          |
| 2022 | 4      | 10,1                           | 18,0          |
| 2022 | 5      | 17,9                           | 32,1          |
| 2022 | 6      | 21,9                           | 94,0          |
| 2022 | 7      | 22,2                           | 49,2          |
| 2022 | 8      | 22,3                           | 38,3          |



*Obrázok 2* Odchýlka priemernej mesačnej teploty vzduchu v roku 2022 od normálu 1991 – 2020 (meteorologická stanica Gabčíkovo)

Z obrázku 2 vidieť, že v roku 2022 okrem marca, apríla a septembra 2022 boli teploty vo všetkých mesiacoch nad normálom. Toto otepľovanie je súčasne sprevádzané s výrazným deficitom zrážok (Obr. 3) počas celého vegetačného obdobia roka. Tieto skutočnosti výrazne ovplyvňujú dynamiku dusíka v pôde, čo sa preukázalo aj v simuláciách modelu DAISY.

Vo väčšine zraniteľných oblastiach Slovenska je ročný nedostatok zrážok vo výške 100–200 mm (Obr. 3). Tieto údaje sú v rozpore s údajmi publikovanými v štúdiu EK (Samarelli 2011), ktorá uvádza pre sledované zraniteľné oblasti nadbytky zrážok vo výške 100–300 mm.



Obrázok 3 Prebytok (+) a deficit (-) kumulovaných denných úhrnov atmosférických zrážok v roku 2022 (meteorologická stanica Gabčíkovo)

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah anorganického dusíka v priebehu roka 2021 vykazuje dynamiku prejavujúcou sa jedným maximumom v jarnom období. Typické slabšie jesenné maximum sa neprejavilo, pravdepodobnou príčinou bol výrazný deficit zrážok prejavujúci sa už od júna roka 2021. Na jeseň po sejbe oziminy bola aplikovaná dávka dusíka vo forme NPK vo výške 12 kg N/ha, a to 11.10.2020. Termín sejby bol 10.10.2020. Ďalšia aplikácia dusíka bola v jarnom období pri prvej nitrácii 17.2.2021, a to v dávke 54 kg N/ha vo forme tekutého hnojiva LAD (priemyselné hnojivo). Pri produkčnom hnojení 4.3.2021 bola aplikovaná dávka 34 kg N/ha vo forme dusičnanu amónneho. Ďalej bolo 4.5.2021 vykonané kvalitatívne hnojenie v dávke 27 kg N/ha vo forme LAD. Vďaka intenzívnemu príjmu dusíka pšenicom v apríli sa jeho obsah v pôde aj napriek aplikácii dusíkatých hnojív znižoval a dosiahol minimum v júni. Celková dávka aplikovaného dusíka bola 115 kg/ha, a to na úrodu, ktorá bola vo výške 5,04 t/ha.

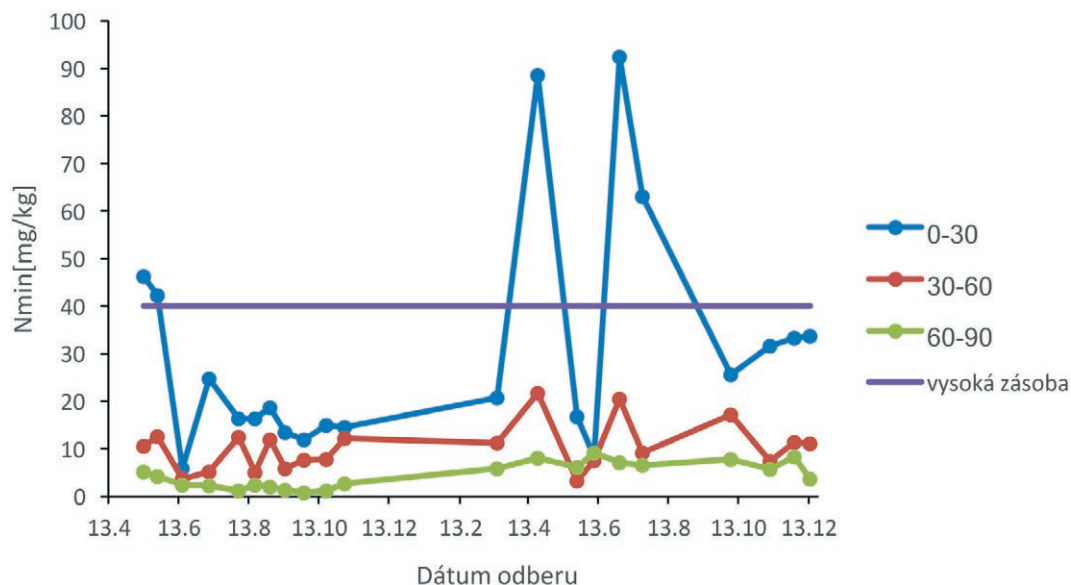
Podľa zákona o hnojivách (Zákon č. 394/2015 Z. z.) by na takúto úrodu mala byť aplikovaná v zraniteľných oblastiach maximálna dávka 110 kg N/ha, takže vzhľadom na neistotu v dosahovaní plánovanej úrody spôsobenú biotickými a abiotickými faktormi bola aplikovaná dávka dusíka využitá na produkciu úrody.

Obsah anorganického dusíka v roku 2022 vykazuje dynamiku ovplyvnenú termínmi aplikácie dusíkatých hnojív. Prvá aplikácia bola zrealizovaná 15.3.2022, čo ovplyvnilo prvé maximum a druhá aplikácia bola pri sejbe následnej kukurice 10.6.2022, čo sa ukázalo na druhom maxime. Z grafu (Obr. 4) však vyplýva, že ani tieto maximá neovplyvnili obsah anorganického dusíka v hĺbke 60–90 cm.

Celková dávka aplikovaného dusíka bola 118 kg/ha. Podľa zákona o hnojivách by na strednú úrodu mala byť aplikovaná v zraniteľných oblastiach maximálna dávka 150 kg N/ha, takže aj vzhľadom na to, že do júna bol na parcele pestovaný ovos, bola aplikovaná dávka dusíka využitá na produkciu úrody.

Zodpovedajú tomu aj výsledky modelovania prieniku dusičnanov (Obr. 4). Jedine v zimnom období sa časť dusíka dostáva do hlbších vrstiev pôdy cca 40 cm, avšak vzhľadom na hĺbku koreňového systému tento dusík bol v nasledujúcom vegetačnom období rastlinami vyčerpaný, bez ďalšieho rizika jeho prieniku do podzemných vôd. Z Obr. 4 ďalej vyplýva, že v období od začiatku apríla až do začiatku novembra je riziko vyplavovania dusičnanov nulové a aj v kritických zimných mesiacoch nie je riziko prieniku dusičnanov do podzemných vôd reálne.

Short communication



Obrázok 4. Obsah minerálneho dusíka v pôde, lokalita Maslovce, ovos + kukurica na siláž, pšenica, roky 2021/2022

Čo sa týka obsahu anorganického dusíka v pôde, ten slúži hlavne na overenie niektorých modelovaných výsledkov. Z hľadiska intenzity nitrifikácie sa tento parameter javí ako nadbytočný, keďže anorganický N v pôdnom profile odráža výsledok rôznych pôdnych mikrobiologických procesov (nitrifikácia, denitrifikácia).

Dolu znázornený graf (Obr. 5) z lokality Maslovce ukazuje, že obsah anorganického dusíka v pôde rastie s hĺbkou odberu. Vysvetlenie je dané tým, že jednak prebieha akumulácia na miestach, kde už je zvýšený fyzikálny tlak na štruktúru pôdy a jednak je nasýtenosť pôdy vodou na s hĺbkou väčšia. Molekula  $\text{NO}_3^-$  a vôbec celý anorganický dusík ( $\text{NO}_2^-$ ) je málo stabilný a rýchlo sa rozpadáva a vďaka fyzikálnemu tlaku sa ľahšie dostáva do koreňov rastlín a biomasy ako takej (záleží však na mikroflóre). Pre relevantný výskum je potrebné monitorovať dané miesto aspoň v horizonte piatich rokov v každom ročnom období.

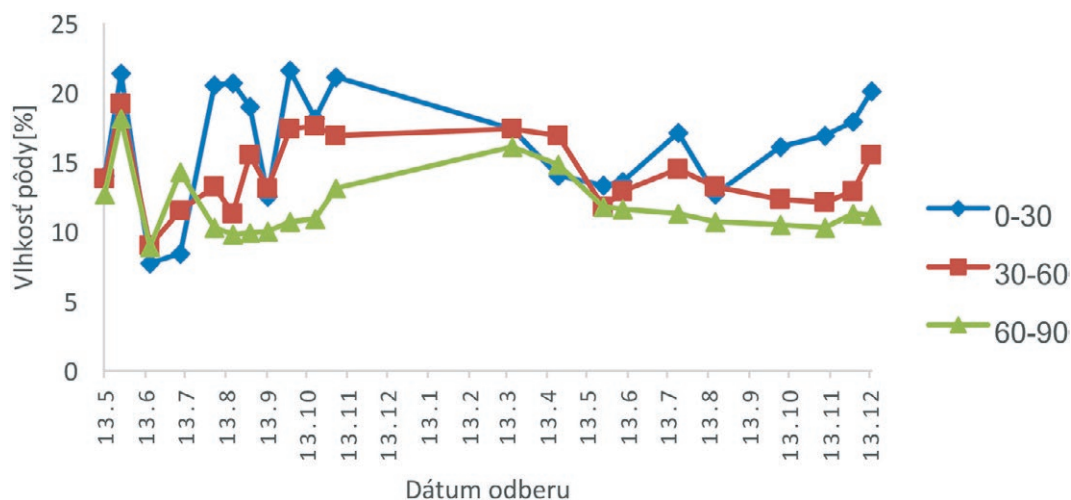


Obrázok 5. Obsah anorganického dusíka v pôde, lokalita Maslovce, 31. 3. 2023

Údaje vychádzajúce z modelu DAISY (Obr. 6) poukazujú na skutočnosť, že najvyššie riziko prieniku v danom pôdnom type je v období február – marec, pričom v ďalšom období aj napriek aplikácii dusíka sa riziko prieniku dusíka nezvýšilo, naopak výrazne sa znížilo, čo zodpovedá intenzívnemu príjmu dusíka plodinou.

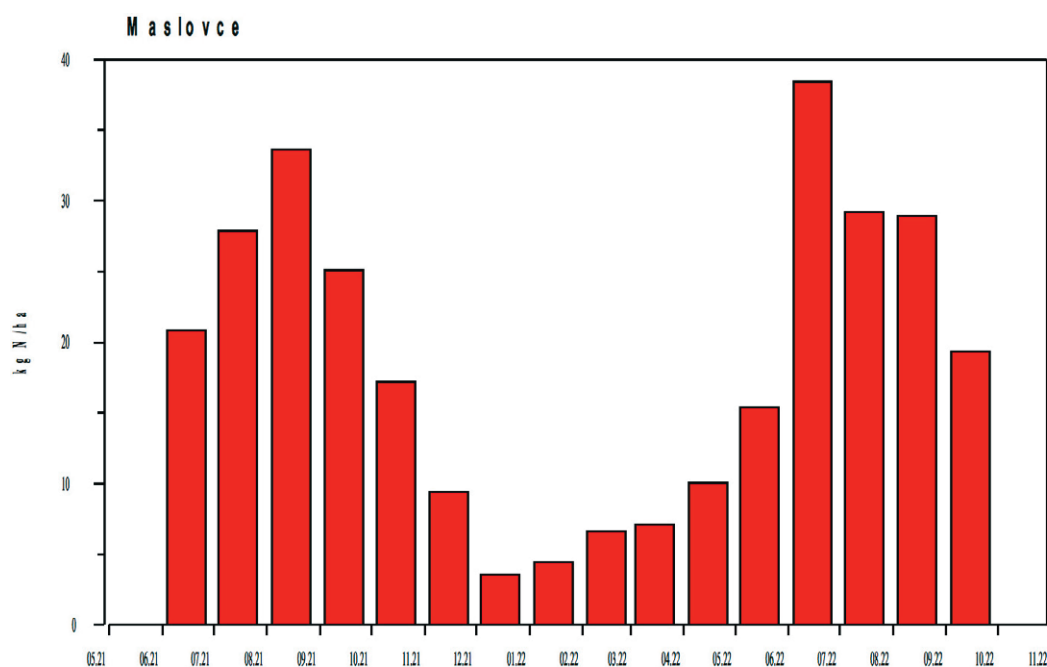


Treba však skonštatovať, že ani v najrizikovejšom období roka, kedy sa predpokladá najvyšší prienik dusíka cez pôdny profil, neprenikali dusičnany hlbšie do profilu viac ako 40–50 cm, čo vzhľadom na hĺbku hladiny podzemnej vody a hĺbku koreňového systému pri bežnej agrotechnike pestovaných plodín v tomto prípade neohrozuje podzemnú vodu dusičnanmi.



Obrázok 6 Vlhkosť pôdy, lokalita Maslovce, roky 2021/2022 (model DAISY)

Intenzita nitrifikácie bola najvyššia v období jún až v september a potom v septembri a októbri (Obr. 7), pričom sú celkovo nízke, takže je predpoklad, že aj pri súčasnej aplikácii dusíka v amónnej forme, obsah dusičnanov, ktorý nitrifikáciou vznikne, nezvýši pri súčasnom odbere rastlinami potenciál jeho vyplavovania.

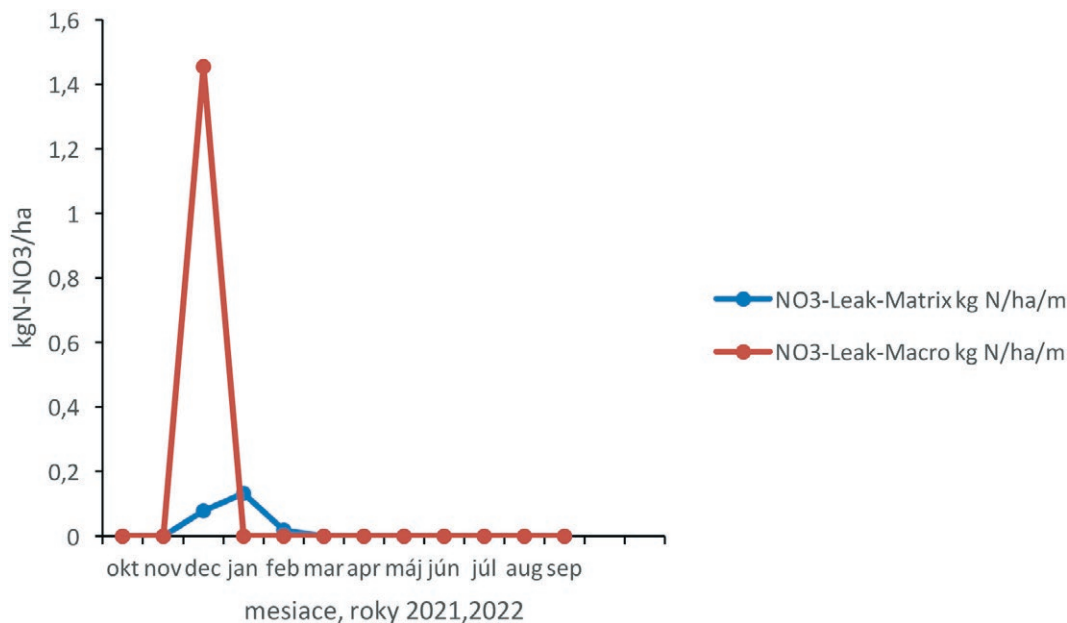


Obrázok 7 Intenzita nitrifikácie, lokalita Maslovce, roky 2021, 2022 (model DAISY)

Tabuľka 4

Prienik dusíka pôdnou maticou (Matrix) a makropórmí (Macro), roky 2021 a 2022, lokalita Maslovce

| Mesiac    | NO <sub>3</sub> -Leak-Matrix<br>kg N/ha/m | NO <sub>3</sub> -Leak-Macro<br>kg N/ha/m |
|-----------|---|--|
| Október   | 0   | 0  |
| November  | 0   | 0  |
| December  | 0,0793                                    | 1,4544                                   |
| Január    | 0,13295                                   | 0  |
| Február   | 0,01785                                   | 0  |
| Marec     | 0   | 0  |
| Apríl     | 0   | 0  |
| Máj       | 0   | 0  |
| Jún       | 0   | 0  |
| Júl       | 0   | 0  |
| August    | 0   | 0  |
| September | 0   | 0  |



Obrázok 8 Prienik dusičnanového dusíka pôdnym profilom do hĺbky 1 m, lokalita Maslovce, roky 2021 – 2022, model DAISY

Problematická je otázka, prečo napriek uvedenému faktoru je obsah dusičnanov v lokalite taký vysoký? Je možných niekoľko vysvetlení, avšak tieto sú v rovine špekulácií. Avšak najpravdepodobnejším vysvetlením sú komunálne odpadové vody, ktoré môžu pri ich nelegálnej likvidácii, najmä vypúšťaním do povrchových alebo v tom horšom prípade trativodmi do podzemných vôd veľmi negatívne ovplyvňovať kvalitu podzemných vôd. Problém je o to závažnejší, že na Slovensku je v poľnohospodársky najviac využívaných regiónoch ešte stále len cca 30% obyvateľov napojených na verejnú kanalizáciu. Reziduálny obsah dusíka bude potrebné na danej lokalite preveriť ďalšími sondami, ktoré otestujú profil až do hĺbky dvoch metrov.

Podľa výsledkov štúdie vykonanej v rokoch 2015–2017 (Sobocký, Píš, Nágel 2015, Píš *et al.* 2018), riziko prieniku dusičnanov pri neskorých jesenných a predjarných aplikáciách bolo relatívne nízke, a to v priemere 7,70 kg N/ha.

Výsledky naznačujú, že pri jesennej aplikácii dochádza k vyššiemu uvoľňovaniu dusíka až v nasledujúcom jarnom období, čo je potrebné zohľadňovať pri agronomických úkonoch a hnojovicu aplikovať prednostne na plochy, kde bude na jar vysiatá plodina čo najskôr, aby sa zabezpečilo využitie uvoľňovaného dusíka plodinou. Uvedené hodnoty korešponujú s údajmi získanými riešením projektu PHARE (MŽP, SHMÚ 1995), z ktorého vyplýva, že vyplavovanie dusičnanov je všeobecne nízke v porovnaní s krajinami západnej Európy.

## ZÁVER

Štúdia sa zamerala na skúmanie zdrojových a transportných faktorov s ohľadom na vstup dusíka (dusičnanov) do podzemných vôd. Experimentálne databázy boli využité na získanie modelovaných výsledkov, ktoré riešili dynamiku obsahu anorganického N v pôdnom profile. Tá zásadne vplyva na produkciu rastlín a spotrebu dusičnanov v pôdnom profile. Na základe uvedených výsledkov môžeme konštatovať, že riziko ohrozenia podzemných vôd dusičnanmi pri realizovanej agrotechnike je v lokalite Maslovce veľmi nízke. To znamená, že výsledky analýz ako aj simulované výsledky modelu DAISY ukazujú, že priemerné straty dusíka vyplavovaním v sledovanej lokalite sú minimálne.

Ďalej zistené faktory, ovplyvňujúce dynamiku dusíka, sú najmä skutočnosti, že v jesennom období október – november dochádza v poslednej dobe k častému výskytu nadpriemerných teplôt vzduchu. Je to v súlade aj s výsledkami predchádzajúcich štúdií, z ktorých vyplýva, že riziko prieniku dusičnanov pri neskorých jesenných a predjarných aplikáciách je relatívne nízke. V klimatickej oblasti sledovaných lokalít (teplá až veľmi teplá) nástup priemerných teplôt vzduchu pod 5 °C v jesennom období, resp. nástup teplôt nad 5 °C v neskorom zimnom období začína neskôr, a to začiatkom decembra resp. začiatkom februára. Záporná vodná bilancia pritom obmedzuje podmienky priaznivé pre prienik dusíka pôdnym profilom. Ročný deficit zrážok v sledovanej oblasti predstavuje 100–200 mm.

Zisťovanie pôvodu znečistenia podzemných vôd dusičnanmi je celosvetovo veľmi aktuálna téma. Táto problematika bola pravdepodobne základnou motiváciou pre zistenie možnosti transportu dusíka do podzemných vôd na vybranom mieste v poľnohospodárskej krajine, kde koncentrácia dusičnanov v podzemných vodách presahuje 50 mg/l.

Je zrejme, že v podmienkach textúrne ťažkej černoze čiernicovej bude vertikálny transport dusičnanov do podzemných vôd menej významný. Doposiaľ realizovaný poľný pokus uvedený predpoklad len potvrdzuje.

## LITERATÚRA

- Abrahamsen, P. (2006). *DAISY Program Reference Manual*. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, 307 pp.
- Abrahamsen, P., Hansen, S. (2000). DAISY: An Open Soil – Plant – Atmosphere System Model. In *Environmental Modelling & Software*, vol. 15: 313–330.
- Atlas krajiny Slovenskej republiky* (2002). Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR a Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia, 2002. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- Beven, K., Germann, P. (1982). Macropores and water flow in soils. *Water Resources Res.*, vol. 18(5): 1311–132.
- Bedrna, Z., Stašík, V. (1981). *Vplyv intenzity hnojenia na straty živín z pôdy*. Záverečná správa VÚPVR, Bratislava, 1981.
- Bielek, P. (1998). *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska (monografia)*. Bratislava, Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 256 s. ISBN 8085361442.
- Bízik, J. (1989). *Podmienky optimalizácie výživy rastlín dusíkom*. Bratislava, Veda, vydavateľstvo SAV, 189 s.
- Bujnovský, R., Malík, P., Švasta, J. (2016). Evaluation of the risk of diffuse pollution of ground water by nitrogen substances from agricultural land use as background for allocation of effective measures. *Ekológia*, vol. 35: 66–77. DOI: <https://doi.org/10.1515/eko-2016-0005>.

Short communication

- Džatko, M., *et al.* (1989). *Agroklimatické regióny SR*. Záverečná správa VCPÚ – ÚPVR, Bratislava, 1989.
- Džatko, M., Sobocká, J., *et al.* (2009). *Príručka pre používanie máp pôdnoekologických jednotiek: inovovaná príručka pre bonitáciu a hodnotenie poľnohospodárskych pôd Slovenska*. Bratislava VÚPOP, 101s. ISBN 978-80-89128-55-6
- EC (2000). *Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva*. Dostupné na <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>.
- EC (1991). *Smernica 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov*. Dostupné na <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/ALL/?uri=LEGISSUM%3A128013>.
- EC (2021). *A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent*. Dostupné na <https://ec.europa.eu/newsroom/known4pol/items/664852>.
- Hansen, S. (2000). *DAISY, a Flexible Soil – Plant – Atmosphere System Model*. Equation Section 1. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University. 47 p.
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., Svendsen, H. (1990). *DAISY – A Soil Plant System Model. Danish Simulation Model for Transformation and Transport of Energy and Matter in the Soil – Plant – Atmosphere System*. National Agency for Environmental Protection, Copenhagen, 272 p. ISBN 87-503-8790-1.
- Holbak, M., Abrahamsen, P., Hansen, S., & Diamantopoulos, E. (2021). A physically based model for preferential water flow and solute transport in drained agricultural fields. *Water Resources Research*, 57, e2020WR027954. <https://doi.org/10.1029/2020WR027954>
- Kudličková, J., Bielek, P. (1981). *Hnojenie minerálnymi formami dusíka v laboratórnych lyzimetoch – migrácia, straty, využitie*. Záverečná správa, VÚPVR, Bratislava.
- Lapin, M., Faško, P., Melo, M., Štastný, P., Tomlain, J. (2002). Klimatické oblasti. In Hrnčiarová, T. (ed). *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. MŽP SR, Bratislava, AŽP SR, Banská Bystrica. 344 pp., ISBN 80-88833-27-2.
- Lapin (2022). *Priemerná odchýlka ročného priemeru teploty od normálu 1851 – 1990*. Dostupné na <https://milanlapin.estranky.sk/>.
- Lichner, L., Houšková, B., Šír, M. (2002). Preferované prúdenie vody v pôde. *Phytopedon*, Bratislava, 2002, Supplement 2002/1, ISSN 1336-1120, s. 126–129.
- Michalík, I. (2023). Nároky plodín na dusík. *Naše pole*, 2023. Dostupné na <https://nasepole.sk/naroky-plodin-na-dusik/>.
- Ministerstvo poľnohospodárstva SR (2001). *Kódex správnej poľnohospodárskej praxe. Ochrana vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov*. ISBN 80-85361-91-4, 56 s. Dost. na [https://cepta.sk/wp-content/uploads/2011/06/Kodex\\_spravnej-polnoprax\\_nitratova-smernica.pdf](https://cepta.sk/wp-content/uploads/2011/06/Kodex_spravnej-polnoprax_nitratova-smernica.pdf).
- Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Inštitút environmentálnej politiky (2020). *Zelenšie Slovensko – Stratégia environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030*. Dostupné na [https://www.minzp.sk/files/iep/publikacia\\_zelensie-slovensko-sj\\_web.pdf](https://www.minzp.sk/files/iep/publikacia_zelensie-slovensko-sj_web.pdf)
- Ministry of Environment of the Slovak Republic, Commission of the European Communities (1995). *Danubian Lowland – Ground Water Model*. PHARE Project No. PHARE/EC/WAT/1, Final Report. Volume 1 Summary Report. Dostupné: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/668552>.
- Ministry of the Environment of the Slovak Republic and the Slovak Hydrometeorological Institute. (2013). *The Sixth National Communication of the Slovak Republic on Climate Change under United Nations Framework Convention on Climate Change and Kyoto Protocol*. Bratislava. 136 p.
- Nováková, K. (2002). Preferované prúdenie vody a rozpustených látok v pôde. CD-ROM z konferencie “Pôda a rastlina”. Katedra pedológie, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 7. februára 2002.
- Nováková, K., Piš, V., Reháč, Š. (2003). Pôdne parametre ovplyvňujúce zraniteľnosť podzemnej vody. In: *Druhé pôdoznalecké dni v SR*. Stará Lesná: 16.-18. 6. 2003. Zborník referátov na CD ROM, s. 295–301.
- Palosuo, T., Kersebaum, K.Ch., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Rumbaur, Ch., Takáč, J., Trnka, M., Bindí, M., Caldag, B., Ewert, F., Ferrise, R., MirscheL, W., Saylan, L., Šiška, B., Rötter, R. (2011). Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates



- of Europe: A comparison of eight crop growth models. *European Journal of Agronomy*, vol. 35(3): 103–114. ISSN 1161-0301, doi: 10.1016/j.eja.2011.05.001.
- Píš, V., Takáč, J., Bezáčková, Z., Sobocký, I. (2018). Efektívne využívanie dusíka so zamedzením negatívneho vplyvu na zdroje vôd v závislosti od vybraných vlastností v podmienkach klimatickej zmeny. In Sobocká, J. (ed.) *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy*, č. 40. Bratislava: NPPC – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, 2019. s. 54–78. ISBN 978-80-8163-030-9.
- Rötter, R., Palosuo, T., Kersebaum, K. Ch., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J. E., Patil, R. H., Ruget, F., Takáč, J., Trnka, M. (2012). Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. *Field Crops Research*, vol. 133: 23–36. ISSN 0378-4290.
- Salo, T., Palosuo, T., Kersebaum, K., Nendel, C., Angulo, C., Ewert, F., Rötter, R. (2016). Comparing the performance of 11 crop simulation models in predicting yield response to nitrogen fertilization. *The Journal of Agricultural Science*, vol. 154(7): 1218–1240, doi:10.1017/S0019596115001124.
- Samarelli, L. (2011). *Review and further differentiation of pedo-climatic zones in Europe*. Contract No. 070307/2010/580551/ETU/B1. Alterra, Wageningen University and Research Centre. Part A, B, C, D.
- SKALAR (1993a). MANUAL SAN PLUS ANALYSER Skalar analytical Order no. 93113690: SKALAR METHODS, Analysis of Ammonia in Water, cantr. 155–420. Breda: 1993.
- SKALAR (1993b). MANUAL SAN PLUS ANALYSER Skalar analytical Order no. 93113690: SKALAR METHODS, Analysis of Nitrate and Nitrite in Water, cantr. 461–712. Breda: 1993.
- SKALAR (1993c). MANUAL SAN PLUS ANALYSER Skalar analytical Order no. 93113690: SKALAR METHODS, Total Nitrogen in Soil Digest, cantr. 473–324. Breda: 1993.
- Sobocký, I., Píš, V., Nágel, D. (2015). *Monitorovanie kvality závlahových a drenážnych vôd*. Záverečná správa za úlohu odbornej pomoci MPRV SR. Bratislava: 2015, VÚPOP, 49 s.
- Societas pedologica slovac, VÚPOP (2014). *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé revidované vydanie. NPPC – VÚPOP Bratislava, p 96. ISBN 978-80-8163-005-7.
- Štekauerová, V., Nagy, V. (2002): Influence of climate conditions on security necessary water for vegetation in various ecosystems. pp. 324–337. In *Pollution and water resources*, Columbia University Seminar Proceedings, (Ed. G. J. Halasi-Kun), vol. 2002, Budapest, Hungary.
- Šimek, M. (2019). *Živá pôda*. (1), Biologie půdy. Praha: Academia, 2019, 257 s., ISBN 978-80-200-2976.
- Zákon č. 394/2015 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 136/2000 Z. z. o hnojivách v znení neskorších predpisov. Dostupné na <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2015/394/>.