



Jan Klír, Jan Haberle, Pavel Růžek,
Tomáš Šimon, Pavel Svoboda

Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát

Certifikovaná metodika pro praxi



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Praha-Ruzyně

2018

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu č. QJ1320213 s názvem „Inovace systémů zemědělského hospodaření v prostředí kvartérních sedimentů, jejich ověření a aplikace v ochranných pásmech vodních zdrojů“ (podíl 70 %) a podpory Ministerstva zemědělství České republiky na rozvoj výzkumné organizace č. MZE-RO0418 (podíl 30 %).

Oponenti:

Ing. Renata Duffková, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Ing. Radovan Tůma, Zelinářská unie Čech a Moravy z.s.

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství

Metodika byla schválena Odborem rostlinných komodit
Ministerstva zemědělství (osvědčení č. 67349/2018-MZE-17221)

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2018

ISBN 978-80-7427-273-8

Jan Klír, Jan Haberle, Pavel Růžek,
Tomáš Šimon, Pavel Svoboda

**Postupy hospodaření pro efektivní
využití dusíku a snížení jeho ztrát**

Certifikovaná metodika pro praxi

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2018

Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát

Metodika je zaměřena na hospodaření se živinami, zejména s dusíkem při pěstování zemědělských plodin. Na základě analýzy přírodních a výrobních podmínek v zájmové oblasti s vysokým podílem zavlažované zeleniny a brambor pěstovaných na propustných půdách popisuje metodika obecně platné faktory zvyšující riziko ztrát dusíku do prostředí. Zvýšené riziko vyplavení dusičnanů představuje zejména vysoká zranitelnost půdního prostředí v kombinaci s intenzivním hospodařením. Výsledky řešení jsou shrnuty do přehledu hlavních rizik ztrát dusíku a doporučených postupů pro jejich snížení. Podrobně jsou popsány i prakticky využitelné metody pro hodnocení míry rizika vyplavení dusičnanů v závislosti na půdě, plodině, dosahu kořenů, systému pěstování, závlaze a povětrnostních podmínkách. V návaznosti na to jsou navrženy vhodné postupy zpracování půdy a hnojení zlepšující využití dusíku i rovnoměrnost zasakování vody. Při pěstování zavlažované zeleniny a brambor je třeba dbát zejména na hospodaření s dusíkem a dalšími živinami na úrovni zemědělských pozemků, přitom je nezbytné zohlednit potřebu dusíku plodinami. Podmínkou je i důsledný monitoring obsahu minerálního dusíku v půdním profilu a stanovení vhodného způsobu zavlažování. Získané poznatky a navržené postupy jsou obecně využitelné a lze je uplatnit na celém území, přednostně pak v oblastech se zvýšenou zranitelností půdního prostředí, například v ochranných pásmech vodních zdrojů a zranitelných oblastech.

Klíčová slova: dusík, agrotechnika, dusičnany, vyplavení dusíku

Farming practices for efficient use of nitrogen and reduction of its losses

The presented methodology is focused on the nutrient management, especially on nitrogen management in the agricultural crops growing system. Based on the analysis of natural and production conditions in the area of interest with a high proportion of irrigated vegetables and potatoes grown on permeable soils, the methodology describes generally valid factors increasing the risk of nitrogen losses to the environment. An increased risk of nitrate leaching is particularly due to the high vulnerability of the soil environment in combination with intensive farming. The results of the solution are summarized as an overview of the main risks of nitrogen losses and recommended practices for their reduction. Practically applicable methods for the evaluation of the nitrate leaching risk depending on the soil, crop, root range, cropping system, irrigation and weather conditions are described in detail. Consequently, suitable soil treatments and fertilization are proposed to improve the utilization of the nitrogen and uniformity of the water soaking. In the cultivation of irrigated vegetables and potatoes, particular attention should be paid to the management of the nitrogen and other nutrients at the level of the agricultural plots, while taking into account the need for nitrogen by crops. The condition is also a consistent monitoring of the mineral nitrogen content of the soil profile and determination of the appropriate irrigation method. The obtained results and proposed practices are generally usable and can be applied throughout the territory, preferably in the areas with increased vulnerability of the soil environment, for example in protection zones of drinking water resources or nitrate vulnerable areas.

Key words: nitrogen, farming practices, nitrates, nitrogen leaching

OBSAH

I. Cíl metodiky	5
II. Vlastní popis metodiky.....	5
1. Seznam použitých zkratk	6
2. Úvod	7
2.1. Legislativní rámec ochrany vody před znečištěním dusičnany	7
2.2. Ztráty dusíku a faktory, které je ovlivňují	9
2.3. Specifika pěstování zeleniny a brambor	9
3. Přírodní a výrobní podmínky v zájmovém území	11
4. Hodnocení rizika vyplavení dusičnanů a možnosti jeho snížení.....	13
4.1. Monitoring obsahu minerálního dusíku v půdě v zájmovém území.....	13
4.2. Metody pro hodnocení rizika vyplavení dusičnanů z půdy	14
4.3. Agrotechnické postupy pro efektivní využití dusíku a snížení ztrát.....	24
5. Závěrečná doporučení pro správné hospodaření s dusíkem a vodou	37
III. Srovnání „novosti postupů“	38
IV. Popis uplatnění metodiky	38
V. Ekonomické aspekty	39
VI. Seznam použité související literatury	40
VII. Seznam publikací, které předcházely metodice	42

I. Cíl metodiky

Cílem předložené metodiky je poskytnout informace o hlavních faktorech a podmínkách, které ovlivňují ztráty dusíku vyplavením dusičnanů do vod. V návaznosti na to popsat metody odhadu rizika ztrát dusíku a vhodná opatření pro jejich snížení při pěstování polních plodin, se zaměřením na zeleninu a brambory pěstované na propustných půdách. Oblasti podél velkých vodních toků patří mezi intenzivně obhospodařovaná území, kde se vyskytují lehké, písčité, propustné a zpravidla úrodné půdy vhodné pro pěstování zeleniny a dalších náročných plodin. V těchto oblastech se většinou nacházejí i vodohospodářsky významné zdroje podzemních vod.

Poznatky získané v zájmové oblasti s intenzivním využíváním půdy pro pěstování zeleniny a brambor ukázaly na možná rizika nejen zvýšených ztrát dusíku z půdy, ale i snížení půdní úrodnosti. Stejně riziko však hrozí, i když s určitým zpožděním i v ostatních oblastech ČR. Zvyšování teplot vzduchu a půdy, intenzivní hnojení minerálními dusíkatými hnojivy a používání statkových nebo organických hnojiv s nízkým poměrem uhlíku k dusíku (např. kejda, digestát, jejich fugáty, nestabilizované „rychlokomposty“) může vést ke snižování obsahu a kvality půdní organické hmoty. Nešetrné zpracování půdy způsobuje destrukci půdních agregátů, nevhodný poměr K : Mg : Ca v sorpčním komplexu zhoršuje povrchovou strukturu půdy a snižuje zasakování vody, atd. V metodice navržené postupy je tedy vhodné uplatnit na celém území České republiky.

II. Vlastní popis metodiky

Metodika je zaměřena na hospodaření se živinami, zejména s dusíkem při pěstování zemědělských plodin. Na základě analýzy přírodních a výrobních podmínek v zájmové oblasti s vysokým podílem zavlažované zeleniny a brambor pěstovaných na propustných půdách popisuje metodika obecně platné faktory zvyšující riziko ztrát dusíku do prostředí.

Výsledky řešení jsou shrnuty do přehledu hlavních rizik ztrát dusíku z půdy a doporučených postupů pro jejich snížení. Podrobně jsou popsány i prakticky využitelné metody pro hodnocení míry rizika vyplavení dusičnanů v závislosti na půdě, plodině, dosahu kořenů, systému pěstování, závlaze a povětrnostních podmínkách. V návaznosti na to jsou navrženy vhodné postupy zpracování půdy a hnojení zlepšující využití dusíku i rovnoměrnost zasakování vody.

Získané poznatky a navržené postupy jsou obecně využitelné a lze je uplatnit na celém území, přednostně pak v oblastech se zvýšenou zranitelností půdního prostředí, například v ochranných pásmech vodních zdrojů a zranitelných oblastech.

V textu metodiky jsou uvedeny odkazy na použité zdroje informací z oblasti pedologie, agrometeorologie a výživy rostlin, včetně odkazů na předpisy (kapitola VI.). Pro podrobnější seznámení s danou problematikou jsou rovněž uvedeny odkazy na další publikace autorů metodiky a ostatních řešitelů projektu QJ1320213 „Inovace systémů zemědělského hospodaření v prostředí kvartérních sedimentů, jejich ověření a aplikace v ochranných pásmech vodních zdrojů“ (kapitola VII.).

1. Seznam použitých zkratek

4. AP – 4. akční program nitrátové směrnice na období 2016–2020

AEKO PRV – agroenvironmentálně-klimatická opatření Programu rozvoje venkova

BV – bod vadnutí (množství vody v půdě, při kterém jsou rostliny trvale nedostatečně zásobeny vodou)

C : N – poměr organického uhlíku (C_{org}) a celkového dusíku (N) v půdě nebo ve statkových či organických hnojivech

Ca – vápník

C_{org} – organický uhlík

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

K – draslík

KVK – kationtová výměnná kapacita půdy

KVK-UF – diagnostická metoda pro optimalizaci výživného stavu půd (Matula 2007)

LPIS – systém pro vedení a aktualizaci evidence půdy dle uživatelských vztahů podle zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství

Mg – hořčík

MZe – Ministerstvo zemědělství

N – dusík

NAZV – Národní agentura pro zemědělský výzkum

nitrátová směrnice (NS) – směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů

N_{min} – minerální dusík v půdě (součet obsahu NO_3^- -N a NH_4^+ -N)

OL – organické látky

P – fosfor

PHO – pásmo hygienické ochrany vod (PHO stanovená vodoprávními úřady před nabytím účinnosti vodního zákona, tj. před 01.01.2002, jsou dle výkladu Ministerstva životního prostředí ČR platná do doby, než dojde k jejich změně nebo zrušení)

PVK – polní vodní kapacita (maximální množství vody, které může půda zadržet po odtoku gravitační vody)

vodní zákon – zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů

VÚMOP, v.v.i. – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

VÚRV, v.v.i. – Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

z.p. – zemědělská půda

zemědělský pozemek (zkráceně **pozemek**) – souvisle obhospodařovaná plocha z.p. s jednou plodinou nebo směsí plodin; pro zemědělce zařazené v systému LPIS je to díl půdního bloku (DPB) nebo jeho část s jednou plodinou nebo směsí plodin

ZOD – zranitelné oblasti (zranitelné oblasti dusičnany)

2. Úvod

Intenzifikace rostlinné výroby zvýšila ve druhé polovině 20. století výrazně výnosy plodin. S tím souvisela i potřeba vysokých dávek živin, zvláště dusíku, pro vytvoření snadno dostupné zásoby pohotových živin v půdě. S rostoucími dávkami hnojiv se však zvyšovaly i ztráty dusíku a dalších živin do prostředí, zhoršovala se kvalita povrchových a postupně i podzemních vod. Na znečištění se podílí jak živiny vyplavené mimo dosah kořenů až do podzemních vod, tak i živiny (dusík, fosfor) a organické látky transportované ze zemědělské půdy podpovrchovým odtokem nebo povrchovým smyvem do vodotečí a nádrží.

V úvodu metodiky jsou uvedeny legislativní požadavky na hospodaření, obsahující opatření pro redukci ztrát dusíku do prostředí. Dále jsou popsány základní faktory ovlivňující ztráty dusíku, zvláště vyplavením dusičnanů do vod. V této souvislosti jsou stručně uvedena i hlavní specifika pěstování zeleniny a brambor.

2.1. Legislativní rámec ochrany vody před znečištěním dusičnany

Pro zlepšení stavu vod bylo, kromě opatření v průmyslu a na komunální úrovni, na konci 20. století v západní Evropě zformulováno cíleně zaměřené legislativní opatření – směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů (tzv. nitrátová směrnice).

Směrnice byla do české legislativy implementována v § 33 vodního zákona (zákon č. 254/2001 Sb.). Následně byly vymezeny zranitelné oblasti (ZOD, obr. 1). Jsou to území, kde se vyskytují povrchové nebo podzemní vody, v nichž koncentrace dusičnanů přesahují hodnotu 50 mg/l nebo mohou této hodnoty dosáhnout. A rovněž vody, u nichž v důsledku vysoké koncentrace dusičnanů ze zemědělských zdrojů dochází nebo může dojít k nežádoucímu zhoršení jakosti vody. Zranitelné oblasti zahrnují zhruba polovinu z.p. ČR. Vesměs se jedná o oblasti s převažujícím podílem orné půdy, tedy se zvýšeným rizikem plošného znečištění vod dusičnany.

Tzv. akčním programem nitrátové směrnice jsou pro zemědělce stanovena povinná opatření a omezení, především v oblasti používání a skladování hnojiv (nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, Hrabánková 2016, Klír a Kozlovská 2017, Klír a kol. 2018, www.nitrat.cz).

Podle § 33 vodního zákona podléhá vymezení zranitelných oblastí i opatření akčního programu pravidelným revizím, nejdéle ve čtyřletých intervalech.

Pravidelný monitoring kvality povrchových a podzemních vod zatím nepřináší údaje o zásadním snižování koncentrace dusičnanů, které by umožnily ze ZOD vyloučit větší oblasti (Hrabánková, 2016, Hrabánková a kol. 2017). Důvodů je více – zvýšenými dávkami dusíku jsou často nahrazovány chyby v agrotechnice a péči o půdní úrodnost, včetně nedostatků v organickém hnojení, vápnění a navracení odebraných živin P, K, Ca, Mg atd. zpět do půdy. Vliv mají i velké výkyvy počasí v posledních letech. Tzv. suché ročníky snižují využití dusíku rostlinami a tím zvyšují obsah zbytkového (reziduálního) minerálního N v půdě po sklizni. Vysoké teploty urychlují uvolňování dusíku z půdní organické hmoty (mineralizace), zejména po ovlhčení vysušené půdy.

Mineralizaci může urychlit i poškození půdních agregátů při zpracování půdy za sucha (viz foto níže – příprava půdy k setí řepky v létě 2018).



Čtvrtý akční program nitrátové směrnice na období 2016–2020 přinesl důležitou změnu – nastavení limitů hnojení dusíkem na daném zemědělském pozemku podle tří výnosových hladin u polních plodin a podle různé úrovně dosahovaných výnosů u zeleniny (Klír a kol. 2018). Na zvýšené riziko ztrát a potřebu redukovat často nadměrné dávky dusíku upozorňují i výsledky monitoringu obsahu $N_{\min}$ v půdním profilu (Haberle a kol. 2018, Svoboda a kol. 2017).

Základem pro stanovení limitů hnojení zeleniny ve zranitelných oblastech bylo upřesnění tzv. odběrových normativů, odvozených od potřeby dusíku pro tvorbu hlavního a vedlejšího produktu. Principy stanovení uvádí např. Wollnerová a kol. (2015). Pro nastavení dávek hnojiv je nutné správně stanovit zejména reálně dosažitelné výnosy. Dále je třeba zohlednit i fakt, že velká část živin odebraných rostlinami zůstává u některých druhů zeleniny po sklizni na poli v posklizňových zbytcích a vedlejších produktech. To může představovat podle plodin a jejich výnosové úrovně 40 až 180 kg N/ha (Vaněk a kol. 2012).

V zemědělských závodech se limity přívodu N pro zeleninu na zemědělských pozemcích ve zranitelných oblastech stanoví na základě dosahovaných výnosů, dle vlastní vedené evidence. Do limitu plodiny se započte i obsah minerálního N v půdě přesahující 30 kg N/ha, zjištěný rozbořem. U zeleniny dále platí, že se do přívodu dusíku započte využitelný dusík pouze z hnojiv aplikovaných až po datu odběru vzorků půdy. Postup pro hodnocení limitů a způsob započítání dusíku z minerálních, organických a statkových hnojiv uvádí metodika pro praxi (Klír a kol. 2018). Požadavky na hnojení zeleniny podle 4. AP NS byly převzaty i do systému Integrovaného pěstování zeleniny AEKO PRV (nařízení vlády č. 75/2015 Sb.).

2.2. Ztráty dusíku a faktory, které je ovlivňují

Hlavním rizikovým faktorem na orné půdě je vysoký obsah zbytkového minerálního dusíku (reziduálního N) zanechaného v půdě po sklizni. Tento dusík pochází zejména z nevyužitých minerálních hnojiv. Dalším jeho zdrojem může být i uvolňování dusíku ze statkových a organických hnojiv, rozklad posklizňových zbytků a další organické hmoty v půdě. Zvýšený obsah dusičnanového dusíku v půdě je nejčastějším zdrojem ztrát dusíku vyplavením, povrchovým smyvem a denitrifikací. Vyšší ztráty dusíku do ovzduší denitrifikací se vyskytují na zavlažovaných půdách hnojených statkovými nebo organickými hnojivy s rychle uvolnitelným dusíkem, např. kejdou nebo digestátem.

Dusičnany (ionty NO_3^-) se snadno pohybují s vodou prosakující z orniční vrstvy do hlubších vrstev podorničí, mimo dosah kořenů. Následně se tento dusík může posunout až do podzemních vod nebo drenážní sítě. Do vodních toků a nádrží se dostává i podpovrchovým odtokem nebo erozí půdy.

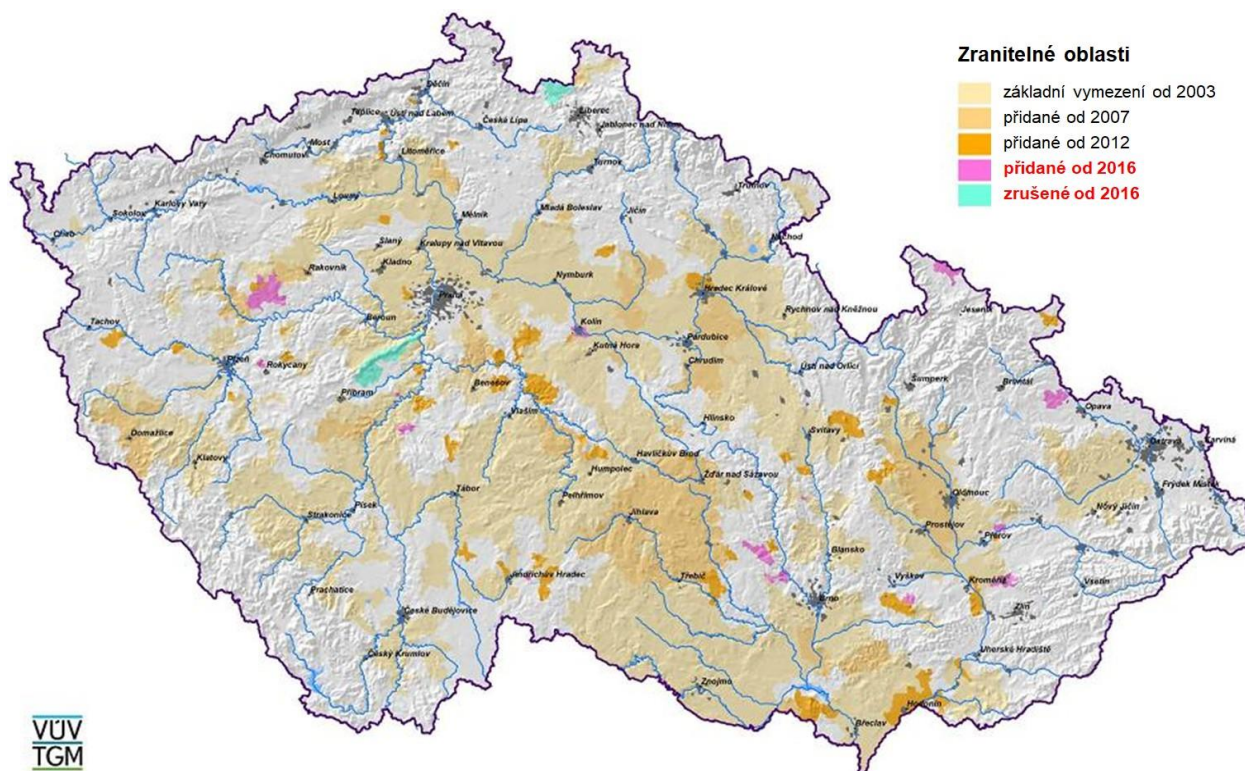
Vyplavení pouhých 11,3 kg dusičnanového dusíku (NO_3^- -N) z jednoho hektaru s průsakem 100 mm vody (100 l/m^2) v průběhu zimy a jara znamená (když neuvažujeme další procesy přeměn dusíku a ředění půdního roztoku) dosažení limitu koncentrace 50 mg dusičnanů v litru vody (= 11,3 mg dusičnanového N v litru vody).

Rizikové je především mimovegetační období, od podzimu do jara, kdy se zvyšuje obsah vody v půdě v důsledku nízkého výparu z půdy a zanedbatelné transpirace rostlin. Pokud alespoň část dusičnanů neodčerpají na podzim ozimé plodiny nebo meziplodiny, které ho zadrží v biomase, existuje zvýšená pravděpodobnost ztrát dusíku. Kromě dusičnanů však unikají s prosakující vodou i další cenné živiny, jako vápník, hořčík a síra, a v závislosti na pH, hodnotě KVK, obsahu půdní organické hmoty, půdním druhu a závlaze i draslík a další prvky. V době hlavního růstu plodin, kdy vysoká spotřeba vody porostem (až 6 mm za den, tedy 6 l/m^2) zabraňuje nasycení půdy a intenzivnímu průsaku, je vyplavení mimo dosah kořenů méně pravděpodobné.

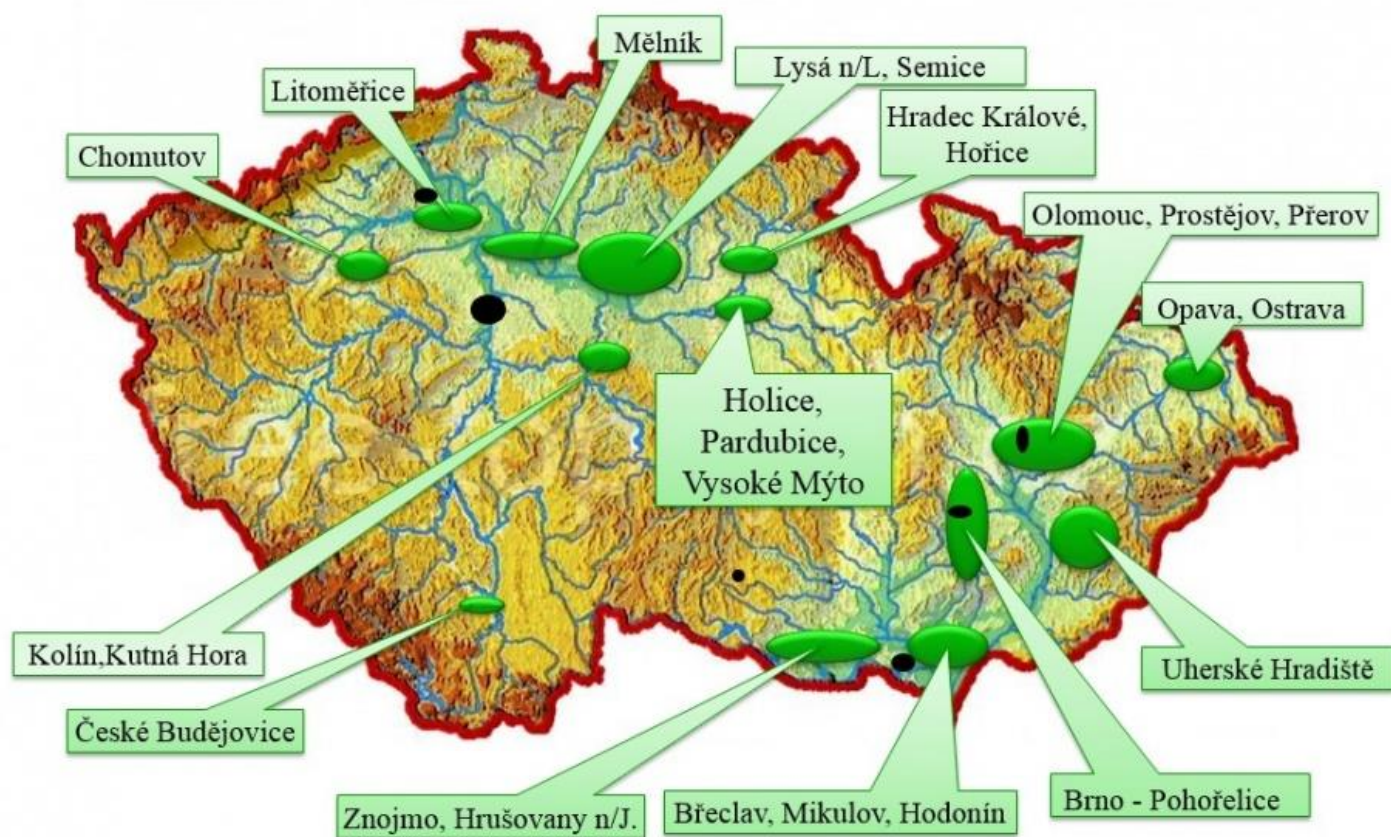
2.3. Specifika pěstování zeleniny a brambor

Různé druhy zeleniny představují širokou skupinu plodin s často odlišnými biologickými vlastnostmi a různými požadavky na podmínky prostředí. Tomu je přizpůsobena i agrotechnika. Při pěstování zeleniny a brambor, zvláště raných, obecně existuje zvýšené riziko ztrát dusíku. Častý je například vysoký obsah reziduálního dusíku po sklizni, s následným vyplavením dusičnanů do vod v zimním období. Na svažitých pozemcích hrozí i riziko eroze půdy a povrchového smyvu živin.

Zvýšené množství reziduálního dusíku v půdě po sklizni zeleniny může být výsledkem působení různých faktorů. Většina druhů zeleniny a brambory mají mělký kořenový systém, proto vyžadují optimální až luxusní dostupnost vody a živin. Zelenina má obvykle kratší vegetační dobu a je sklízena za zelena, v době vysoké koncentrace dusíku v biomase, na rozdíl od většiny ostatních jednoletých polních plodin sklízených v době zralosti semen. To znamená, že v posklizňových zbytcích je vysoký obsah dusíku a ponechaná biomasa se snadno rozkládá. Tím se dusík uvolňuje zpět do půdy ještě před začátkem zimního období.



Zpracoval: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., červen 2015
Zdroj dat: VÚV T.G.M., v.v.i., ZVHS, ČHMÚ, podniky Povodí, s.p., ČÚŽK



Obr. 1: Vymezení ZOD od 01.08.2016 a hlavní zelinářské oblasti (<http://zucm.cz>)

Zelenina a rané brambory jsou pěstovány většinou v teplých oblastech (obr. 1), na záhrevných lehkých a středně těžkých půdách, vytvořených často na čtvrtohorních vrstvách překrytých nánosy usazenin v okolí toků řek jako fluvizemě a nivní půdy (Kadlecová a kol. 2018). Podorníční vrstvy jsou propustné, s rychlou infiltrací a menší schopností zadržet vodu s rozpuštěnými živinami.

Většina ploch se zeleninou je v průběhu vegetace zavlažována. Závlaha se převážně aplikuje na základě zkušenosti a pozorování stavu půdy i porostu. Důležité je i sledování vývoje povětrnosti – dnes jsou již v zelinářských provozech běžně zaznamenávány údaje o teplotách vzduchu a srážkách. Závlahy jsou tedy vhodným intenzifikačním faktorem. V kombinaci s hnojením napomáhají lepší distribuci živin v půdním profilu a tím zvyšují jejich využití rostlinami. V případě nevhodně použité závlahy se však může zvýšit úroveň nasycení půdního profilu vodou na podzim a tím i riziko vyplavení dusičnanů v zimním a předjarním období. Nadměrné závlahové dávky ve spojení s přívalovými srážkami mohou způsobit posun dusičnanů do podorníčí i v průběhu vegetačního období. Podporou pro rozhodování o závlaze mohou být výpočetní programy pro stanovení potřeby vody a závlahové dávky (Spitz a kol. 2011, ČSN 75 0434). V blízké budoucnosti se více uplatní kapková závlaha, čidla vlhkosti půdy pro indikaci vyčerpání vody a potřeby závlahy i další nové technologie.

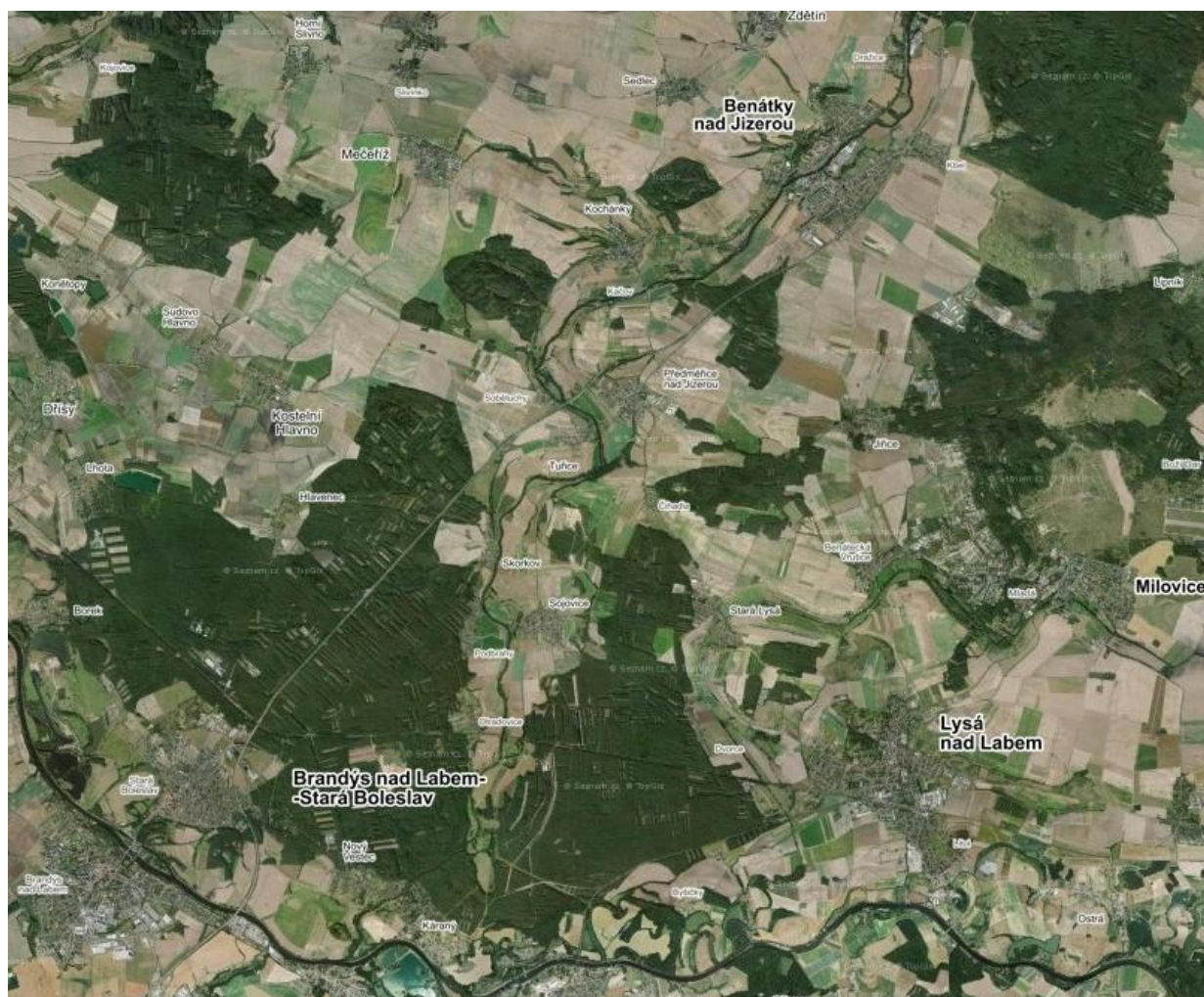
3. Přírodní a výrobní podmínky v zájmovém území

Monitorování zemědělských pozemků a ověřování postupů pro snížení ztrát dusíku bylo zaměřeno na intenzivně zemědělsky využívanou oblast dolního toku Jizery (dále „zájmové území Káraný“ nebo jen „zájmové území“). Právě v této oblasti existuje zvýšené riziko ztrát dusíku vyplavením do vod v důsledku vysoké zranitelnosti půdního prostředí a rozšířeného pěstování zavlažované zeleniny a brambor. Podobné rizikové faktory se však vyskytují i v dalších oblastech, především na fluvizemích a dalších půdách v okolí Labe, Ohře a Moravy (Kadlecová a kol. 2018). V rámci řešení bylo rovněž využito poznatků z monitoringu vývoje obsahu minerálního dusíku v půdě v jiných zemědělských závodech i v polních pokusech.

Využití zdrojů vody v povodí dolního toku Jizery (vodárna v Káraném, od roku 1914) zabezpečuje okolo 26 % pitné vody pro Prahu a okolí. Voda získávaná ze studní podél řeky Jizery pochází z břehové infiltrace. Studně se nacházejí ve vzdálenosti 200 až 300 m od řeky. Voda přirozeně prosakuje okolními písky a tak se čistí. Úseků se studněmi je v okolí Jizery několik, v celkové délce 30 km. Kapacita tohoto systému je přibližně 900 litrů vody za vteřinu. Podle výsledků řešení projektu QJ1320213 je v čerpané vodě různým podílem zastoupena voda z Jizery a ze zemědělských pozemků nacházejících se v bližším a širším zázemí studní. S tím souvisí i rozdílný obsah rozpuštěných látek ve vodě v jednotlivých řadách studní (Kadlecová a kol. 2018).

Studně jímacích řádů chrání PHO I. stupně, které je tvořeno 15 m širokým pruhem zatravněné půdy. V okolí je pak vymezeno PHO II. stupně (2a – vnitřní, 2b – vnější), kde je zemědělská činnost umožněna jen v omezené míře, podle rozhodnutí o vyhlášení PHO (1986) a schváleného režimu hospodaření (1982). Mocnost zdejších šterkopísků je 8 až 12 m (Křivánek a Kněžek 2001). Prostor zájmového území je tvořen převážně mořskými usazeninami České křídové pánve, jejichž podloží je tvořeno

mocným souborem hornin vzniklých v mladších prvohorách (permokarbon). Údolí vodních toků jsou vyplněna říčními a svahovými usazeninami (fluviální a deluviální sedimenty) vzniklými ve starších čtvrtohorách (pleistocén).



Obr. 2: Mapa zájmového území v oblasti dolního toku Jizery (www.mapy.cz)

Zájmové území Káraný spadá do zranitelné oblasti dusičnany (obr. 1), klimatického regionu 2 (teplý, mírně suchý). Pro strukturu plodin je typický vysoký podíl pěstování raných a poloraných brambor. Ze zeleniny je nejčastější cibule, mrkev, salát, celer, kedluben, ředkvička, v menší míře brokolice, česnek, kořenová a kadeřavá petržel nebo kopr. Na některých plochách se pěstují i jahody. Vzhledem k dostupnosti vody, klimatickým podmínkám, struktuře plodin a vhodným vlastnostem půdy jsou zelenina a brambory zavlažovány. Na některých zemědělských pozemcích jsou v různé míře zařazovány i nezavlažované plodiny, zejména obilniny, méně cukrovka a hrách.

Analýzou zrnitostního složení jednotlivých vrstev půdního profilu bylo zjištěno, že se zde vyskytují převážně lehké až středně těžké půdy, přičemž hluboké vrstvy půdního profilu mají většinou vyšší podíl písku. Ornici tvoří na většině monitorovaných ploch písčitohlinitá půda. Mělké podoorníci spadá také mezi písčitohlinité půdy, ale podíl půdních částic zrnitostní kategorie pod 0,01 mm je proti ornici nižší. Hlubší vrstvy podoorníci již patří mezi hlinitopísčité, příp. písčité půdy.

V regionu jsou nízké stavy hospodářských zvířat, proto jsou pro dodání potřebných organických látek do půdy více využívány komposty a meziplodiny na zelené hnojení (svazenka, peluška, hrách, čirok, méně často hořčice a ředkev olejná).

4. Hodnocení rizika vyplavení dusičnanů a možnosti jeho snížení

4.1. Monitoring obsahu minerálního dusíku v půdě v zájmovém území

V letech 2013–2016 byl v zájmovém území Káraný v zemědělských závodech se zavlažovanou zeleninou a bramborami sledován na počátku jara, po sklizni a před nástupem zimy obsah minerálního dusíku ($N_{\min} = \text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N}$) v půdě. Byla sledována i vlhkost půdy a distribuce dusíku v jednotlivých vrstvách půdy o mocnosti 30 cm, a to až do hloubky 120 cm.

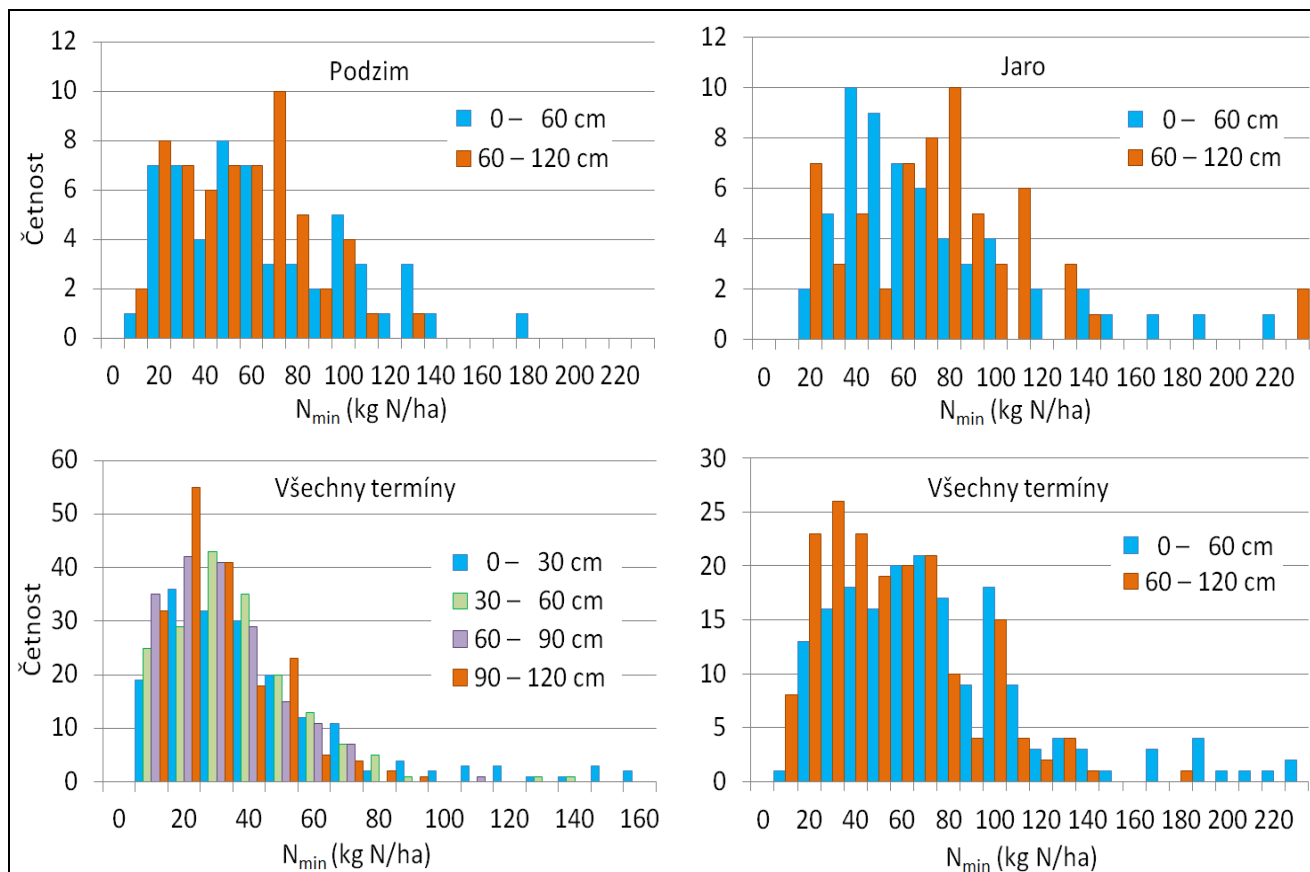
Většina polních plodin, vč. zeleniny je schopna, v závislosti na hloubce kořenů (tab. 4), efektivně využít dusík z půdního profilu až do hloubky 40–60 cm. Půdní vrstva 60–90 cm je dosažitelná jen pro některé druhy. Vrstva hlubokého podorníčí (90–120 cm) pak představuje zónu, která je pro většinu druhů zeleniny nedosažitelná a pro ostatní polní plodiny jen obtížně využitelná. Dusík v této vrstvě lze na lehkých, propustných půdách již považovat za ztracený. Pouze na těžších půdách, které se však v dané oblasti vyskytují ojediněle, je část dusíku z hlubokých vrstev podorníčí dostupná pro kořeny některých hlouběji kořenících plodin (slunečnice, kukuřice, čirok, ozimá pšenice, řepka, cukrovka), avšak pouze za optimálních podmínek.

Dusičnanová forma N v odebraných vzorcích půdy představovala 85–95 % z celkového obsahu $N_{\min}$. Výsledky prokázaly, že značná část sledovaných zemědělských pozemků vykazuje před nástupem zimy vysoký obsah minerálního dusíku v ornici i v podorníčí, a to více než 60 kg N/ha (obr. 3). Vzhledem k omezenému dosahu kořenů v dalším roce pěstované zeleniny a brambor je u dusíku nacházejícího se v hloubce pod 60 cm již velká pravděpodobnost jeho ztrát (Haberle a kol. 2016a, Haberle a kol. 2018, Svoboda a kol. 2017). V důsledku mimovegetačních srážek se dusičnanový iont posunuje profilem z ornice do podorníčí a dále do meliorační sítě nebo do hlubších vrstev a podzemních vod (např. Fučík a kol. 2017).

U většiny zemědělských pozemků se vzhledem k původu a matečnému substrátu vyskytuje v podorníčí vysoký obsah skeletu (půdní částice větší než 2 mm), hlavně hrubého písku (2–4 mm) a šterku (4–30 mm). V některých případech se jedná o téměř čistý písek, který zadrží jen malé množství vody s dusičnany. Podobné půdy v údolích řek jsou ale nejčastěji využívány pro pěstování zeleniny a raných brambor.

Riziko představuje i jarní období, kdy se sice zvyšuje výpar a transpirace, ale také je větší pravděpodobnost intenzivních srážek. Přitom rané druhy pěstovaných plodin (ředkvička, salát, kedluben, špenát, dřeňový hrách, velmi rané brambory) jsou zavlažovány již brzy na jaře, neboť mají mělké kořeny (tab. 4) a nedokáží využít vodu z hlubších vrstev podorníčí. Na jaře může být v ornici lehčích půd i zvýšený obsah $N_{\min}$, a to v důsledku mineralizace snadno rozložitelných posklizňových zbytků po časně sklizené nebo v předchozím roce pěstované zelenině a bramborách.

Ročníky 2013–2016 se vyznačovaly suchými a relativně teplými zimami, proto z grafu četnosti výskytu různých obsahů $N_{\min}$ v půdě není příliš patrný posun dusíku z vrstvy 0–60 cm do další vrstvy 60–120 cm (obr. 3).



Obr. 3: Četnost výskytu různých obsahů $N_{\min}$ v půdě v letech 2013–2016

4.2. Metody pro hodnocení rizika vyplavení dusičnanů z půdy

Riziko vyplavení dusíku lze odhadovat na základě několika hlavních ukazatelů – především podle schopnosti půdy zadržet vodu a aktuálního nasycení půdy vodou.

Vodní kapacitu půdy snižuje utužení, nepříznivý poměr kapilárních a nekapilárních pórů i nízký obsah půdní organické hmoty. Hlavním faktorem je však podíl písku a skeletu. Z hlediska rizika povrchového smyvu půdy při silných srážkách je důležitá i rychlost infiltrace vody do půdy (např. Jandák a kol. 2014).

Rozhodujícími faktory pro průsak vody a vyplavení dusičnanů z půdy jsou úroveň nasycení půdy vodou na podzim a úhrn efektivních srážek v následném období. Pro jejich stanovení je nutné od celkového úhrnu srážek odečíst povrchový odtok a vodu odpařenou z půdy (evaporace), příp. transpirovanou rostlinami. Úhrn evapotranspirace za období listopad až březen může podle průběhu zimy činit 30 až 60 mm (= litrů/m^2). V teplých a vlhkých zimách je evapotranspirace vyšší, v chladných a suchých nižší. Převaha srážek nad výparem a transpirací v mimovegetačním období umožňuje postupné dosycení vrstev půdy. Při přebytku vody pak dochází k jejímu průsaku a tím i k vyplavení dusičnanů mimo kořenovou zónu.

Jednoduché porovnání množství vody nutné k dosycení půdy (tab. 1) a srážek od pozdního podzimu do jara (obr. 4a–d, zpracováno z údajů ČHMÚ) ukazuje, že podmínky pro vyplavení dusíku se v některých letech vyskytují i v sušších oblastech ČR, neboť i tam může být úhrn srážek v období listopad až březen vyšší než 150 mm.

Tab. 1: Průměrné půdní hydrolimity (% obj.) a množství vody k dosycení (mm)

Půdní hydrolimity, množství vody	Půdní druh					
	p	hp	ph	h	jh	jv
Bod vadnutí	4 %	8 %	11 %	14 %	17 %	20 %
Polní vodní kapacita	11 %	20 %	28 %	34 %	38 %	39 %
Množství vody k dosycení půdy z bodu vadnutí	35	60	85	100	105	95
Množství vody k dosycení z průměrné vlhkosti půdy	17	30	42	50	52	47

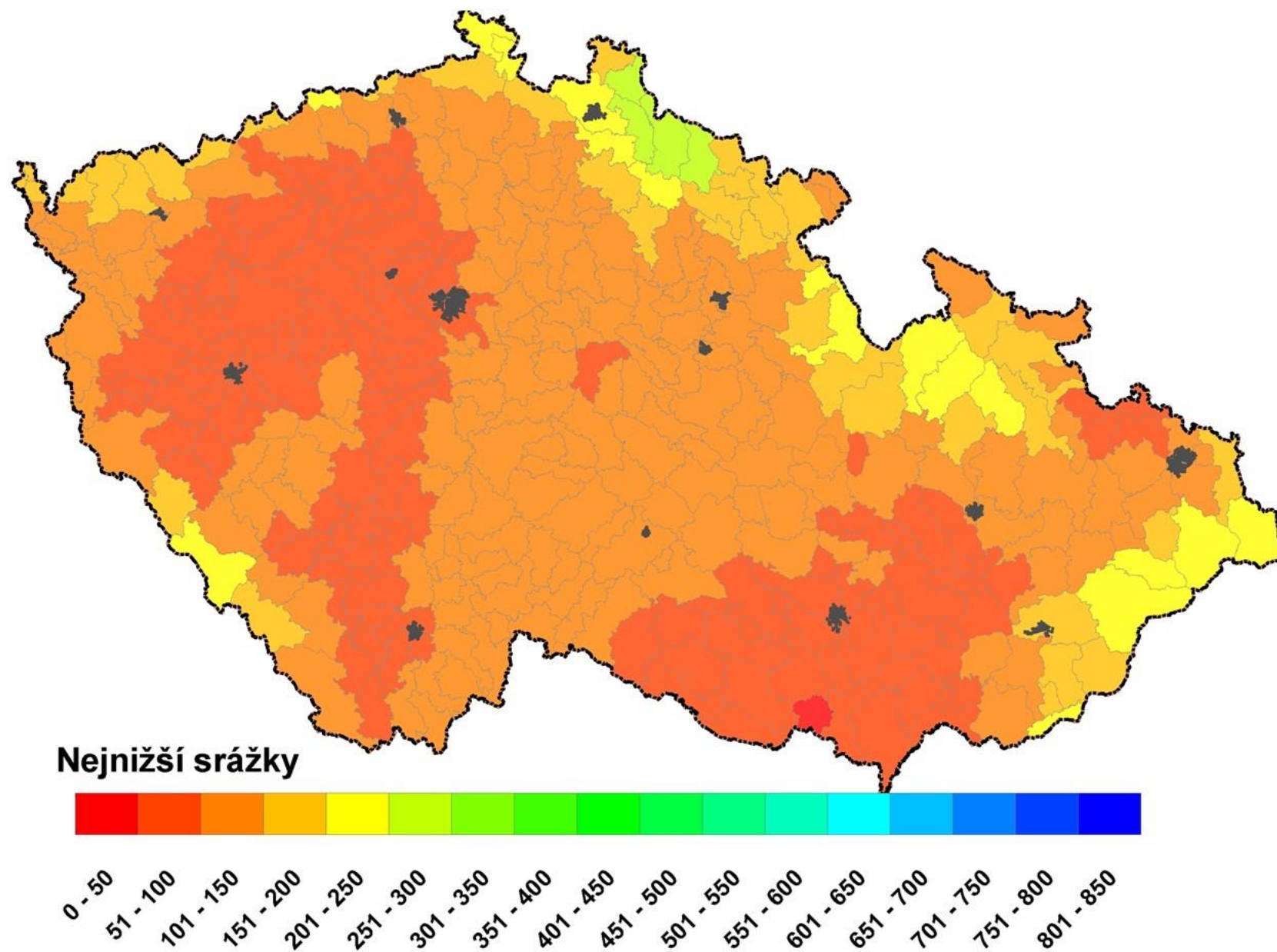
Půdní druh: p = písčítá, hp = hlinitopísčítá, ph = písčitohlinitá,
h = hlinitá, jh = jílovitohlinitá, jv = jílovitá půda

Tab. 1 uvádí charakteristiky vodního režimu různých druhů půd a orientační množství vody ($1 \text{ mm} = 1 \text{ litr/m}^2$) potřebné k dosycení půdy do hloubky 50 cm na polní vodní kapacitu. Vyšší potřeba vody je po úplném (teoretickém) vyčerpání vody rostlinami na úroveň bodu vadnutí, nižší po srážkově průměrném podzimu s výchozí průměrnou vlhkostí půdy. Po srážkově průměrném podzimu tak stačí k dosycení půdy jen asi polovina objemu vody potřebného k dosycení půdy z bodu vadnutí.

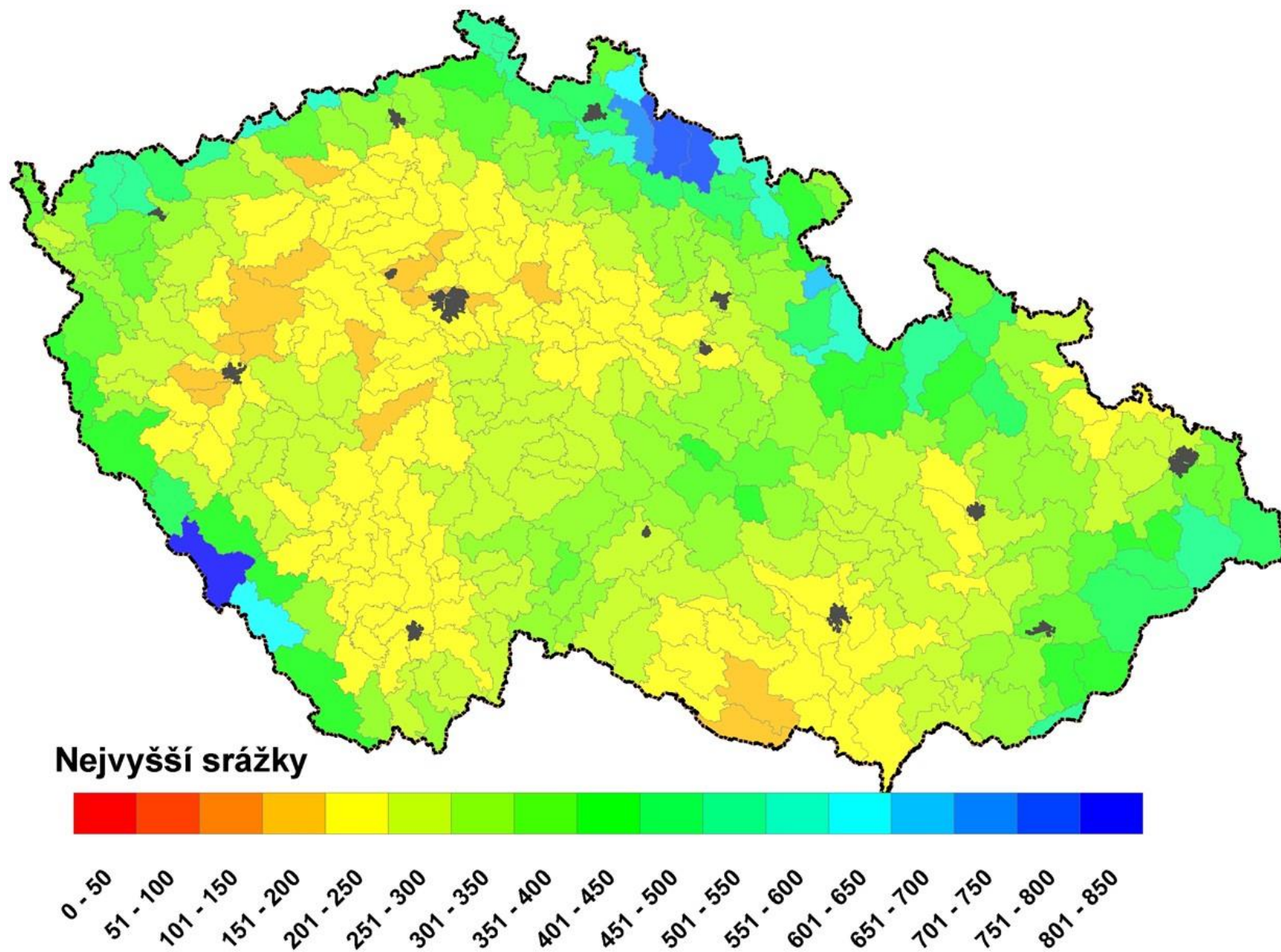
Pro výpočet podílu dusičnanového N, který se v průběhu mimovegetačního období vyplaví z dané vrstvy, je možné použít jednoduchý model, s využitím údajů dostupných i v provozních podmínkách. Výpočet lze provést v Excelu nebo pomocí jednoduchého programu (www.nitrat.cz).

Postup pro hodnocení rizika vyplavení N z půdy byl ověřen na zemědělských pozemcích v zájmovém území i v jiných lokalitách. Pro ilustraci rizika ztráty dusíku byl vypočítán posun N pod úrovně 30 cm, 60 cm a 90 cm půdního profilu. Uvedené hloubky reprezentují dosah kořenů různých plodin a jejich schopnost odčerpat dusík z podorníčních vrstev (tab. 4). Za účelem ověření navrženého postupu byly vybrány konkrétní případy vysokého obsahu dusičnanového dusíku na podzim v půdě do hloubky 90 cm, nalezené po zelenině a dalších plodinách, a to na různých lokalitách a půdách. V ornici a podorníči byla stanovena hodnota polní vodní kapacity (PVK). Vlhkost půdy v jednotlivých vrstvách zjištěná při monitoringu má vliv na množství vody, které je nutné pro dosycení půdy na hodnotu PVK, při které (zjednodušeně) začíná intenzivní průsak vody s rozpuštěnými ionty dusíku a dalších živin.

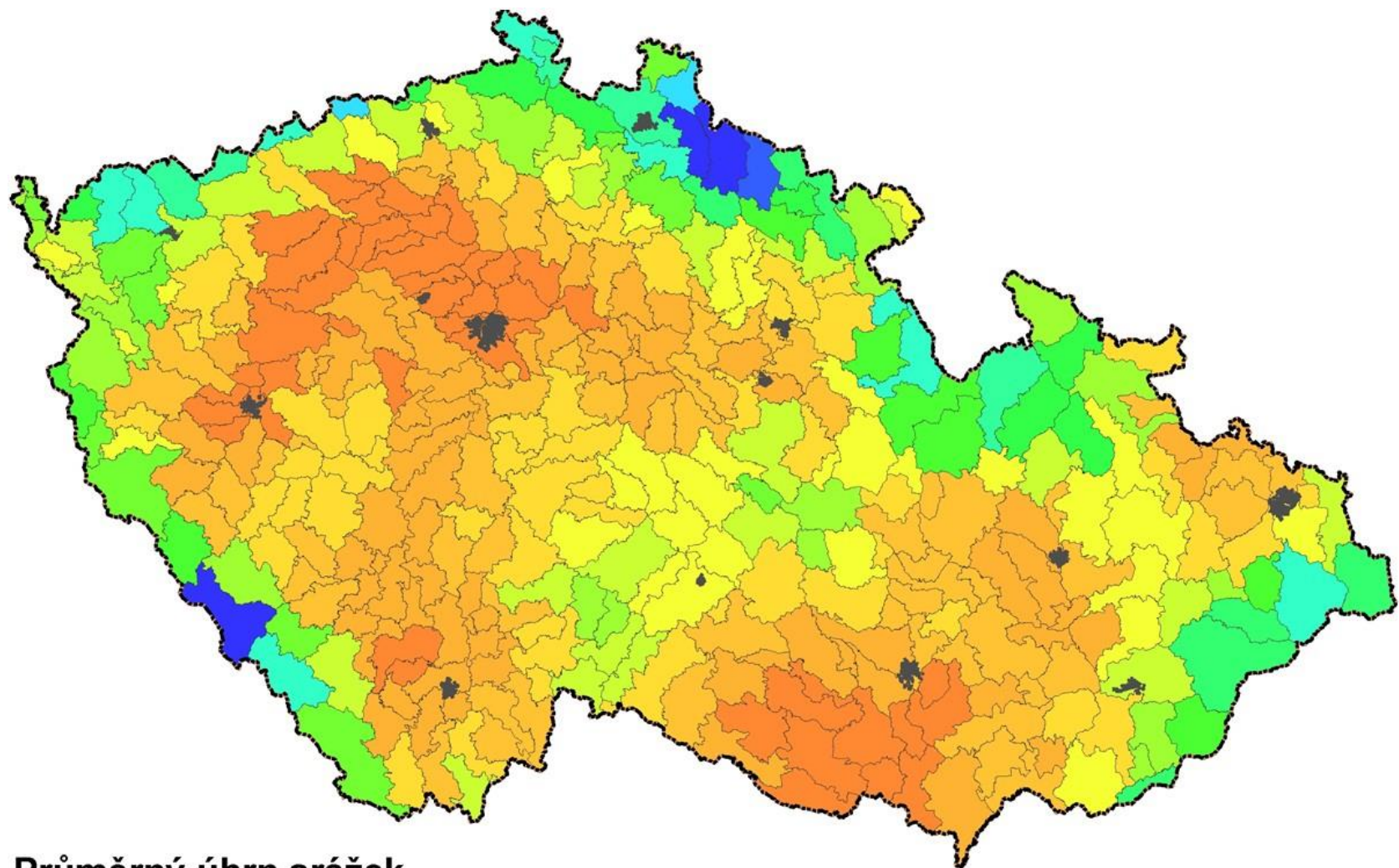
Pro posouzení rizika vyplavení dusíku bylo vzhledem k vysoké ročníkové variabilitě počasí použito zpracovaných údajů ČHMÚ o srážkovém úhrnu v období od termínu odběru vzorků do konce března, a to v letech 2010–2016 (Svoboda a kol. 2017). Rozdílné úhrny srážek v jednotlivých letech a oblastech tak představují odlišné varianty průběhu počasí. Výsledky uvedené v tab. 2 a tab. 3 ukazují, že i v relativně sušším období dochází k posunu dusičnanů do hlubších vrstev podorníči. V praxi jsou tak reálně z každého hektaru ztraceny desítky kilogramů dusíku, vyplaveného z dosahu kořenů.



Obr. 4a: Rozložení nejnižších úhrnů srážek (mm) v období listopad až březen (2010–2017)



Obr. 4b: Rozložení nejvyšších úhrnů srážek (mm) v období listopad až březen (2010–2017)

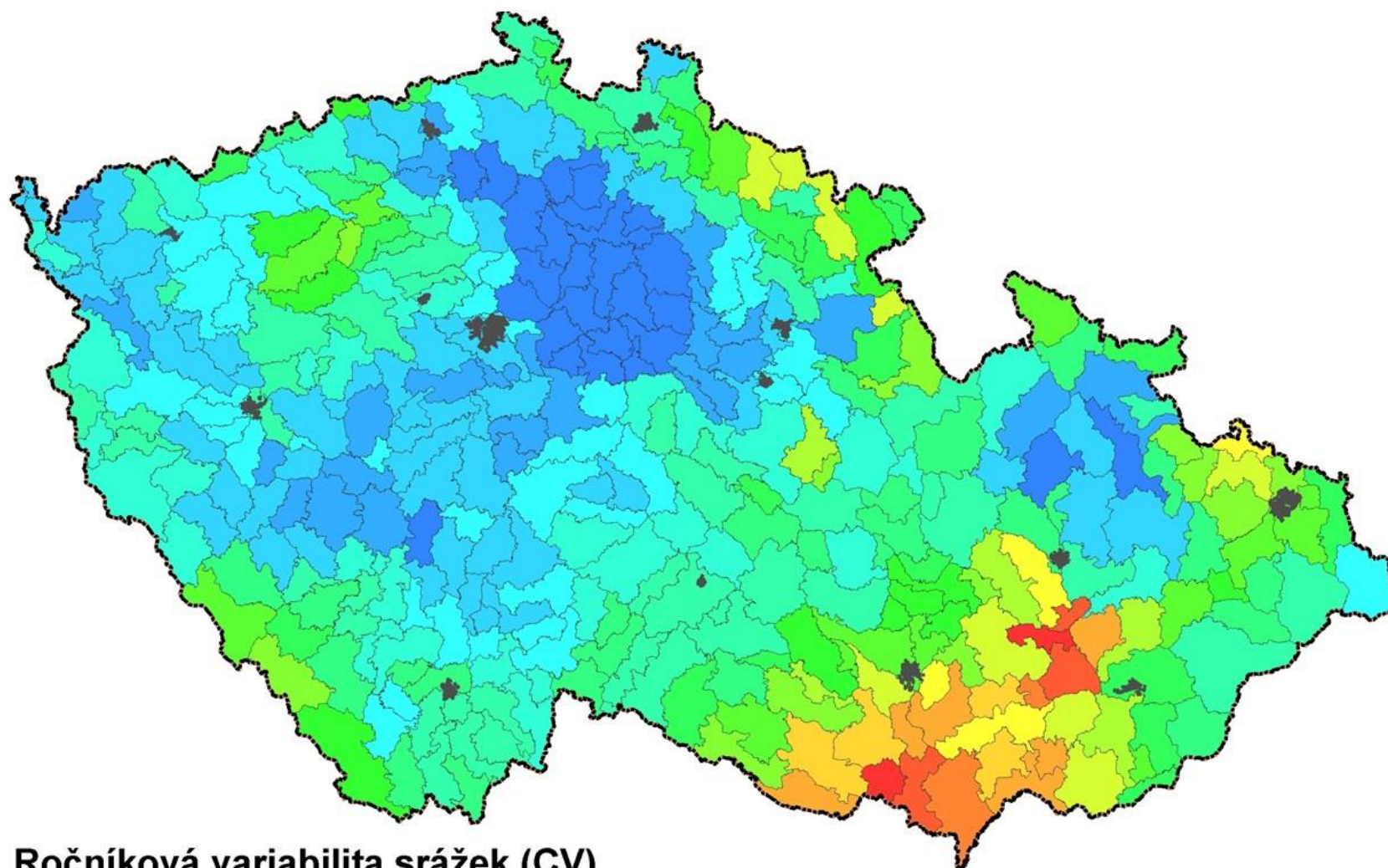


Průměrný úhrn srážek

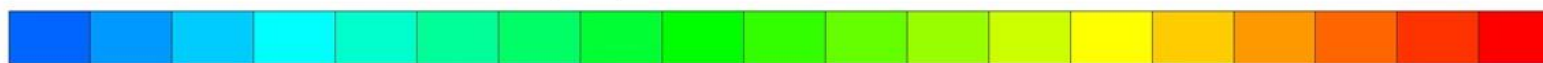


140 - 160
161 - 180
181 - 200
201 - 220
221 - 240
241 - 260
261 - 280
281 - 300
301 - 320
321 - 340
341 - 360
361 - 380
381 - 400
401 - 420
421 - 440
441 - 460
461 - 480
481 - 500
501 - 520

Obr. 4c: Rozložení průměrných úhrnů srážek (mm) v období listopad až březen (2010–2017)



Ročníková variabilita srážek (CV)



16,1 - 17,0
 17,1 - 18,0
 18,1 - 19,0
 19,1 - 20,0
 20,1 - 21,0
 21,1 - 22,0
 22,1 - 23,0
 23,1 - 24,0
 24,1 - 25,0
 25,1 - 26,0
 26,1 - 27,0
 27,1 - 28,0
 28,1 - 29,0
 29,1 - 30,0
 30,1 - 31,0
 31,1 - 32,0
 32,1 - 33,0
 33,1 - 34,0
 34,1 - 35,0

Obr. 4d: Ročníková variabilita (CV, %) úhrnů srážek (mm) v období listopad až březen (2010–2017)

Tab. 2: Odhad posunu dusíku v půdě v závislosti na obsahu dusičnanového N v půdě na podzim a úhrnu srážek v následném období

Lokalita, rok	Plodina	Půdní druh (ornice / podorníčí)	Množství dusičnanového N (kg N/ha) na podzim, po plodině, ve vrstvě			Množství dusičnanového N posunutého pod danou hranici (kg N/ha)					
						varianta s nízkým úhrnem srážek			varianta s vysokým úhrnem srážek		
			0–30 cm	30–60 cm	60–90 cm	pod 30 cm	pod 60 cm	pod 90 cm	pod 30 cm	pod 60 cm	pod 90 cm
Ivanovice na Hané, 2015	cukrovka	h / jh	60	47	64	13	0	0	38	34	34
Chrástůany, 2016	mák	h / ph, hp	45	71	40	15	11	5	33	64	70
Praha-Ruzyně, 2015	hrách	h / jh	44	39	28	21	14	5	31	39	30
Praha-Uhřetěves, 2015	jetel	h / ph	49	41	29	26	25	15	36	50	47
Tuřice, 2015	celer	h / ph, jh	48	52	35	24	15	1	34	45	33
Sojovice, 2015	cibule	ph / hp, p	31	40	63	16	21	29	22	36	58
Předměřice, 2015	brokolice	ph / hp, p	145	125	35	82	70	32	111	146	110
Kochánky, 2014	brambory	ph / hp, p	43	71	51	25	42	31	33	73	79
Čechtice, 2016	kuřice	p / hp	116	95	44	71	73	43	92	130	112
Lukavec, 2014	řepka	ph / p	63	14	5	44	26	16	52	45	36
Lukavec, 2016	brambory	ph / p	159	28	14	111	73	49	132	117	100

Půdní druh: p = písčítá, hp = hlinitopísčítá, ph = písčitohlinitá, h = hlinitá, jh = jílovitohlinitá, jv = jílovitá půda

Poznámka: množství vyplaveného dusíku pod jednotlivé úrovně hloubky půdního profilu nelze počítat, jde o samostatně počítané případy, kdy vyplavení pod úroveň 30 cm zahrnuje i část dusíku následně vyplaveného pod 60 cm, příp. i pod 90 cm půdního profilu

Tab. 3: Grafické znázornění rizika ztráty dusíku vyplavením v závislosti na hlavních faktorech – půdní druh (vodní kapacita), vlhkost půdy na podzim, úhrn srážek v mimovegetačním období, hloubka prokořenění, schopnost následné plodiny odčerpat dusík z podorničí

Plodiny	Varianty podle vlhkosti půdy na podzim a úhrnu srážek	Druh půdy v orniční a podorniční vrstvě								
		lehká až středně těžká půda (p, hp)			středně těžká půda (ph, h)			těžká půda (jh, jv)		
		podorničí ↓			podorničí ↓			podorničí ↓		
		lehká půda (p), šterk	lehká půda (p, hp)	lehká až stř. těžká půda (hp, ph)	lehká půda (p), šterk	lehká až stř. těžká půda (p, hp)	stř. těžká půda (ph, h)	lehká půda (p, hp)	stř. těžká půda (ph, h)	těžká půda (jh, jv)
Mělce kořenící	A									
	B									
	C									
Střední hloubka kořenů	A									
	B									
	C									
Hluboce kořenící	A									
	B									
	C									

Půdní druh: p = písčítá, hp = hlinitopísčítá, ph = písčitohlinitá, h = hlinitá, jh = jílovitohlinitá, jv = jílovitá půda

Varianty: A = vysoká vlhkost půdy, silné srážky; B = průměrná vlhkost, průměrné srážky; C = nízká vlhkost, nízké až průměrné srážky

Riziko ztrát dusíku vyplavením z kořenové zóny:

Vyplavení většiny N		Vysoké riziko		Zvýšené riziko		Střední riziko		Nízké riziko		Žádné vyplavení	
---------------------	--	---------------	--	----------------	--	----------------	--	--------------	--	-----------------	--

Stanovení množství dusíku vyplaveného z půdy je obtížné. Ale již samotné bilance dusíku na úrovni zemědělských pozemků, zemědělských závodů i celé ČR, spolu s údaji o koncentraci dusičnanů v povrchových a podzemních vodách indikují ztráty dusíku do vod (Klír a Kozlovská 2016, 2017). Bilanční přebytek zahrnuje i plynné ztráty dusíku, které však běžně představují jen několik kg N/ha za rok. Pouze po organickém hnojení, popř. na zamokřených půdách lze očekávat vyšší plynné ztráty dusíku (volatilizace amoniaku, denitrifikace). Část dusíku z bilančního přebytku by teoreticky mohla být zabudována do organických vazeb v půdě a tím navýšit obsah celkového dusíku v půdě. To by však vyžadovalo postupné a dlouhodobé zvyšování obsahu organické hmoty v půdě. Její obsah je ale výsledkem dlouhodobého vývoje, směřujícího k optimálnímu obsahu organické hmoty v půdě, který lze považovat za rovnovážný v daných půdně klimatických podmínkách a při daném způsobu hospodaření (Kubát a kol. 2008). Snaha o jeho další zvyšování organickým hnojením ve vysokých dávkách již nemusí být efektivní. Následkem pak může být rychlejší rozklad dodaných organických látek a tím i vyšší emise CO₂. K vyšší mineralizaci a nižší akumulaci organické hmoty však může vést i nárůst teplot a častější výskyt období s nedostatkem srážek a projevy sucha, v souvislosti s klimatickými změnami.

Vhodným ukazatelem rizika vyplavení dusíku je zjištěný obsah $N_{\min}$ v ornici a podorniči na podzim. Rozbory půdy na jaře, před hnojením a začátkem intenzivního růstu jsou zase důležité z hlediska následného hnojení, neboť v případě vysokého obsahu $N_{\min}$ v kořenové zóně (tab. 4) umožňují snížit dávku dusíku. Pro získání věrohodných údajů je však nutné odebírat vzorky půdy na částech zemědělského pozemku reprezentujících celou plochu. Je vhodné respektovat i případné rozdíly v zrnitosti půdy nebo odlišném růstu předplodiny. Vzorkovat by se mělo mimo okraje pozemku s často utuženou půdou a horším růstem rostlin, místa se stagnující vodou nebo vývěrem vody (např. z nefunkční meliorace), jakož i místa silně zaplevelená vytrvalými druhy.



Dusík posunutý vodou jen do podorničí je však stále v dosahu kořenů rostlin. Jeho využití závisí především na růstu kořenů dané plodiny do hloubky (tab. 4). Pokud je v půdě nadbytek dostupného dusíku, odčerpávají rostliny přednostně dusík z orniční, hustě prokořeněné vrstvy, zvláště při současné zálaze.

Odběr minerálního dusíku z nejhlubších vrstev kořenové zóny, kde je hustota kořenů nízká (pod 1 cm/cm³), závisí na dostupnosti dusíku v povrchových vrstvách půdy, potřebě dusíku v pozdějších fázích vývoje, intenzitě příjmu vody kořeny z hlubokých vrstev a morfologii kořenů, např. charakteru větvení (Haberle a kol. 2015a, 2015b, 2018, Haberle a Svoboda 2014, Svoboda a kol. 2014, 2017). Vzhledem k přibližně exponenciálnímu rozdělení kořenů většiny plodin v půdním profilu lze odhadnout, že porost středně a hluboce kořenicích druhů je schopen odčerpat asi 50 % dusíku z vrstvy o mocnosti 30 cm nacházející se nad maximální hloubkou kořenů. Například při maximální hloubce prokořenění 100 cm může rostlina odčerpat polovinu zásoby N_{min} nacházející se ve vrstvě 70–100 cm.

Nevyužitý dusík, posunutý s prosakující vodou do podorničí a postupně až mimo dosah kořenů, případně podpovrchovým tokem do vodotečí a do meliorační sítě se v bilanci dusíku projeví jako bilanční přebytek (např. Klír a Kozlovská 2016).

Tab. 4: Hloubka prokořenění půdy a možnost odčerpání dusíku kořeny rostlin

Plodina	20–30 cm	30–50 cm	50–70 cm	70–90 cm	90–110 cm	110–130 cm	>130 cm
Raný salát, ředkvička	X						
Špenát, salát ledový, cibule na zeleno, šalotka, pažitka	x	X					
Rané brambory, pórek	x	X					
Cibule, česnek, hrách		x	X				
Pozdní brambory, kedluben		x	X				
Celer, karotka, červená řepa, kapusta kadeřávek		x	X				
Mák, brokolice, petržel, mrkev		x	X				
Plodová zelenina		x	X	X			
Květák, kapusta, pastinák, vodnice, tuřín		x	X	X			
Zelí, rajče			x	X			
Ječmen jarní, pšenice jarní, řepka jarní, hořčice			x	X			
Ječmen ozimý, žito, tritikále, řepka oz., oves, kukuřice, čirok			x	X	X		
Pšenice ozimá, slunečnice, cukrovka				x	X	X	

Vysvětlivky:

podbarveně je vyznačeno prokořenění půdy za příznivých podmínek; X = obvyklá maximální hloubka prokořenění; x = maximální hloubka prokořenění při nižší kvalitě půdy

4.3. Agrotechnické postupy pro efektivní využití dusíku a snížení ztrát

Obsah minerálního dusíku v půdě, přijatelného rostlinami, se v průběhu roku mění v závislosti na průběhu povětrnosti, hnojení a dalších agrotechnických postupech ovlivňujících biologické, chemické a fyzikální procesy v půdě. Při nevhodných postupech se využitelnost N z hnojiv a půdy snižuje a roste riziko vyplavení dusičnanů.

4.3.1. Péče o půdní úrodnost

Pro efektivní využití dusíku rostlinami je důležitá zejména péče o úrodnost půdy. Velký význam má udržování obsahu a kvality půdní organické hmoty, vhodného pH, optimální zásoby přístupných živin v půdě (P, K, Ca, Mg, ...) i dobré půdní struktury.

Nízký obsah organické hmoty v půdě má negativní vliv na hospodaření s vodou v půdě, urychluje vyplavování mobilních živin z půdního profilu, zhoršuje půdní strukturu i např. zpomaluje rozklad pesticidů. Mineralizaci půdní organické hmoty a tedy snižování jejího obsahu může podpořit i intenzivní hnojení minerálními N hnojivy nebo používání statkových a organických hnojiv s nízkým poměrem uhlíku k dusíku (např. kejda, digestát, jejich fugáty, nestabilizované „rychlekomposty“ po aerobní fermentaci). Tento jev se nazývá „priming effect“. Do půdy zapravený dusík v amonné formě (nebo ve formě močoviny, s rychlou přeměnou na amonný dusík) zejména při vyšších teplotách půdy podporuje aktivitu půdních mikroorganismů. Ty pak při absenci dostupného uhlíku z organických a statkových hnojiv nebo lehce rozložitelných rostlinných zbytků využívají jako zdroj energie uhlík z dalších složek půdní organické hmoty.

Ke snižování obsahu půdní organické hmoty a tím i k postupnému zmenšování poměru uhlíku k dusíku (C : N) v půdě většinou dochází při nedostatečném organickém hnojení kvalitními hnojivy (hnůj, kompost, separát z kejdy či digestátu apod.). Tento problém často nastává na intenzivně obhospodařovaných půdách, např. při pěstování zeleniny hnojené vysokými dávkami dusíku a při používání organických a statkových hnojiv s nízkým poměrem C : N. Přitom na samotný růst rostlin může mít tento stav půdy příznivý vliv, neboť rostliny mají k dispozici větší množství pohotových živin (včetně dusíku), zpřístupněných z rozložené půdní organické hmoty. Na jednotku uvolněného uhlíku se uvolňuje nejen více dusíku, ale i dalších živin. Současně se snižuje mikrobiální imobilizace (poutání) minerálního dusíku z aplikovaných hnojiv a půdní zásoby. V důsledku nižší sorpční schopnosti půd s vyšším podílem písku, nízkým podílem jílu a nízkým obsahem organické hmoty v půdě dochází zároveň k nižší sorpci amonné formy dusíku, která je pak zpravidla rychle nitrifikována, tedy přeměněna na dusičnany. Při následném transportu dusičnanů v půdním profilu po srážkách nebo závlaze jsou současně vyplavovány i některé další živiny, nejčastěji hořčík.

Mineralizační procesy v orné půdě podporuje i její intenzivní kypření a drobení (např. aktivními nástroji u strojů na zpracování půdy). Při intenzivním zpracování půdy a vysokém zastoupení okopanin, kukuřice a zeleniny v osevním postupu (nad 50 %) je na středně těžkých půdách průměrná roční potřeba dodání organických látek (OL) hnojením úměrně vyšší než 2,0 t OL/ha (= průměr za ČR v roce 2016, při zastoupení 72 % obilnin, olejnin a luskovin, 19 % okopanin, jednoletých píceňin a zeleniny a 9 % víceletých píceňin) a dosahuje 2,4–2,8 t OL/ha (Škarda 1990, Klír 2018a).

Potřeba dodání organických látek do půdy hnojením roste i při pěstování více plodin v průběhu roku po sobě (např. rané brambory a zelenina), s opakovanou kultivací půdy. Pak je třeba do půdy vracet až 3 t OL/ha orné půdy (na lehkých půdách cca o 15 % méně), včetně zapravení slámy a meziplovin na zelené hnojení. Průměrný obsah organických látek např. ve hnoji skotu je 16,5 % (165 kg OL/t hnoje), ve slámě 80 %, v zeleném hnojení 10 % (tab. 5). Pokud není k dispozici hnůj ani kompost, ale jen sláma, zelené hnojení, kejda apod., jsou nejvhodnější jejich dvoj- a trojkombinace.

Tab. 5: Průměrný obsah sušiny, organických látek, uhlíku a dusíku a z toho vypočítaný poměr C : N ve hnojivech a upravených kalech

Statková hnojiva (SH), organická hnojiva (OH) a upravené kaly (UK)		Sušina	Org. látky	Uhlík	Dusík	Poměr C : N
		% suš.	kg/t	kg/t	kg/t	
SH	Hnůj skotu	22,0	165	86	6,7	13
	Hnůj prasat	24,0	187	97	8,5	11
	Hnůj koňský	30,0	240	125	5,2	24
	Hnůj ovcí a koz	32,0	256	133	8,9	15
	Močůvka skotu a hnojůvka	1,2	10	5	1,5	3
	Močůvka prasat a hnojůvka	1,2	10	5	2,2	2
	Kejda skotu	7,3	57	30	3,9	8
	Kejda skotu – fugát	5,8	45	24	3,9	6
	Kejda skotu – separát	21,0	164	85	4,2	20
	Kejda prasat	5,3	42	22	4,3	5
	Kejda prasat – fugát	3,4	27	14	4,1	3
	Kejda prasat – separát	27,0	216	112	6,6	17
	Drůbeží trus – uleželý	32,0	214	111	19,0	6
	Drůbeží trus – sušený	73,0	460	239	35,0	7
	Drůbeží trus s podestýlkou	42,0	302	157	20,4	8
OH	Kompost	40,0	240	125	5,5	23
	Digestát	5,8	44	23	5,3	4
	Digestát – fugát	3,9	29	15	5,1	3
	Digestát – separát, nebo tuhý digestát	23,0	196	102	6,8	15
	Ostatní organická hnojiva, např. výpalky	35,0	228	118	10,5	11
UK	Upravený kal (uvedeno ve 100% sušině)	100,0	600	312	37,0	8
SH	Sláma hustě setých obilnin	85,0	800	420	4–5	80–100
	Sláma kukuřice na zrno	85,0	800	420	9	45
	Sláma luskovin	85,0	800	420	10–15	28–40
	Sláma olejnin	90,0	800	420	7–10	40–60
	Řepný chrást	15,0	100	50	4,0	13
	Plodina na zelené hnojení	15,0	100	50	2–5	10–25

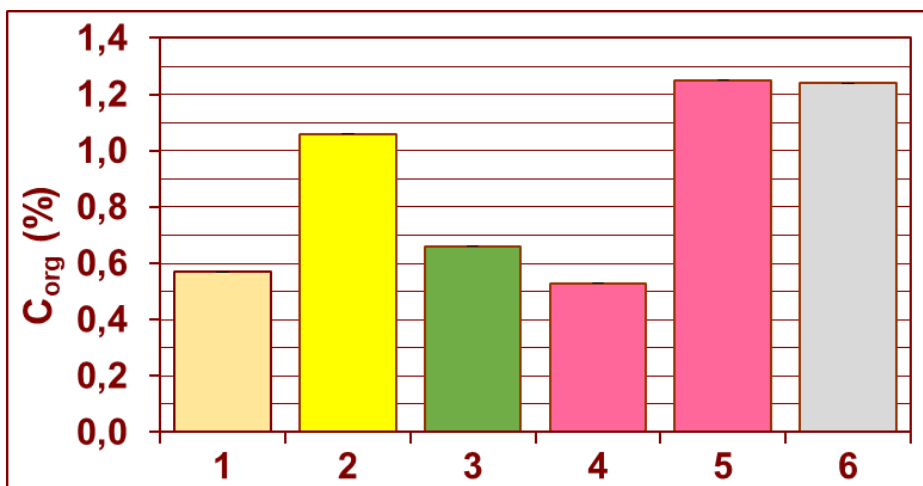
Jestliže půdu dostatečně organicky hnojíme a udržujeme stabilní poměr C : N přibližně na úrovni 10 : 1, má dobrou strukturu a na jejím povrchu se po srážkách nebo závlaze většinou nevytváří krusta. Pak lze používat i technologie s intenzivním zpracováním půdy, plošnou aplikací minerálních hnojiv na povrch půdy (včetně vyšších dávek), plečkováním a kypřením půdy v průběhu vegetace. Pokud se však postupně snižuje obsah uhlíku v půdě a klesá poměr C : N, struktura půdy se zhoršuje. S tím souvisí i rozplavování agregátů na jejím povrchu a nižší infiltrace vody ze srážek a závlahy do půdy. Pak je třeba uplatňovat následující šetrné agrotechnické postupy:

- Při organickém hnojení používat hnojiva s širším poměrem C : N, nejlépe 20 : 1 a více, např. vyzrálý kompost nebo alespoň 15 : 1, což splňuje hnůj s vyšším podílem stelivové slámy a separát kejdy nebo digestátu (tab. 5).
- Omezit intenzitu zpracování půdy, zejména v letním období.
- Polní plodiny, u kterých je to možné, zasévat do zpracovaných pásů půdy (strip till) se zonální aplikací hnojiv, přičemž u širokořádkových plodin (včetně řepky seté do širších řádků) zůstane větší část půdy bez zpracování.
- Místo plošné aplikace hnojiv uplatňovat lokální hnojení do kořenové zóny rostlin, s využitím hnojiv s pozvolným uvolňováním živin.
- Dávky hnojiv, zejména dusíkatých, korigovat podle skutečného obsahu rostlinami využitelných živin v půdě (např. metoda $N_{\min}$, KVK-UF apod.).
- Nepoužívat vyšší dávky minerálních hnojiv, než je skutečná potřeba rostlin, neboť mohou mít nepříznivý vliv na optimální poměr kationtů v půdě a strukturu povrchové vrstvy půdy (např. po aplikaci draselných hnojiv nebo po hnojení sírany či dusičnanů podporujícími vyplavení hořčíku z povrchové vrstvy půdy).
- Při hnojení za vegetace na povrch půdy uplatňovat nižší dávky hnojiv, přitom nepoužívat minerální hnojiva s jednomocnými kationty (K^+ , NH_4^+).
- Sledovat pH v půdě a v případě potřeby vápnění používat pozvolně působící vápenatá hnojiva (např. dolomit jednou za 2–3 roky).

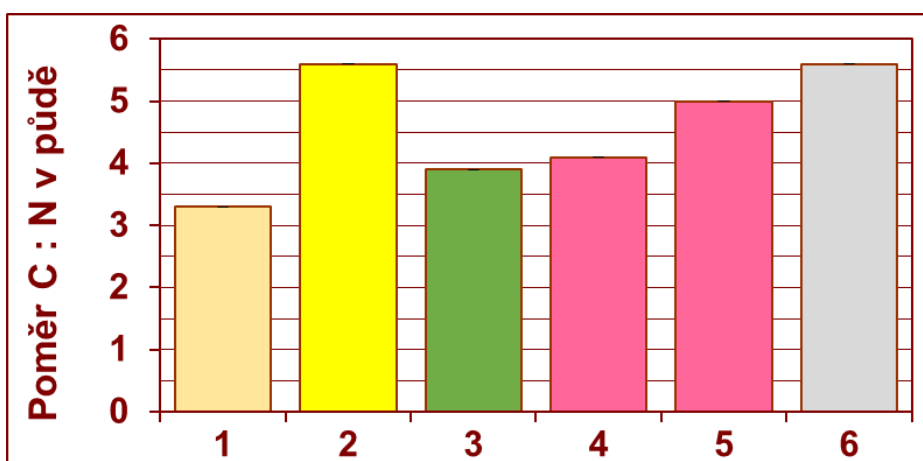
Na obr. 5 je znázorněn obsah organického uhlíku (C_{org}) v půdní vrstvě 0–30 cm na šesti zemědělských pozemcích s různými plodinami v zájmovém území Káraný. Zjištěný obsah uhlíku byl na třech pozemcích nižší než 0,7 % C_{org} . Na lehkých půdách je sice obsah půdní organické hmoty limitován nízkým obsahem jílovitých částic, ale její obsah, vyjádřený v obsahu organického uhlíku by měl být alespoň 1 % C_{org} .

Na uvedených pozemcích byl zjištěn i velmi nízký podíl C : N v půdě (obr. 6). Obdobné hodnoty byly zjištěny i z odběrů půd na více než 20 dalších pozemcích v této oblasti, přičemž obsah C_{org} v ornici se pohyboval od 0,4 % do 1,3 % a poměr C : N od 3 : 1 do 8 : 1. Nejnižší hodnoty byly zjištěny na půdách s vyšším obsahem písku, kde byly pěstovány brambory a zelenina pod závlahou. Na většině těchto pozemků byla aplikována statková nebo organická hnojiva a pěstovány meziploidy. K organickému hnojení však byly často používány „rychlomposty“ s nízkým poměrem C : N (např. Organic). Tato málo stabilní organická hnojiva nepřispívají ke zvyšování obsahu organické hmoty v půdě, ani k jeho stabilizaci. Naopak mohou urychlovat rozkladné procesy a uvolňování živin i v době, kdy nemohou být využity rostlinami. Mineralizaci půdní organické hmoty a tvorbu dusičnanů v půdě zájmového území podporuje i intenzivní minerální dusíkaté hnojení a opakovaná kultivace (aerace) půdy.

Pro zvýšení obsahu organické hmoty v půdě na optimální úroveň a zlepšení její kvality doporučujeme na sledovaných pozemcích pravidelně používat kvalitní statková a organická hnojiva se stabilizovanými organickými látkami, tedy kompost nebo hnůj, příp. separát kejdy či digestátu. Rovněž je vhodné pěstovat meziplodiny na zelené hnojení, zejména se širším poměrem C : N, např. čirok (více na str. 35–36).



Obr. 5: Obsah organického C v půdní vrstvě 0–30 cm na pozemcích v zájmovém území



Obr. 6: Poměr C : N v půdní vrstvě 0–30 cm na pozemcích v zájmovém území

Vysvětlivky k obr. 5 a 6 (plodiny pěstované na pozemcích): č. 1 – ozimá pšenice, č. 2 – ozimá řepka, č. 3 – čirok, č. 4 – ředkvička, č. 5 – ředkvička, č. 6 – celer.

Na pozemcích č. 3 až 6 je pravidelně pěstována zelenina a brambory pod závlahou.

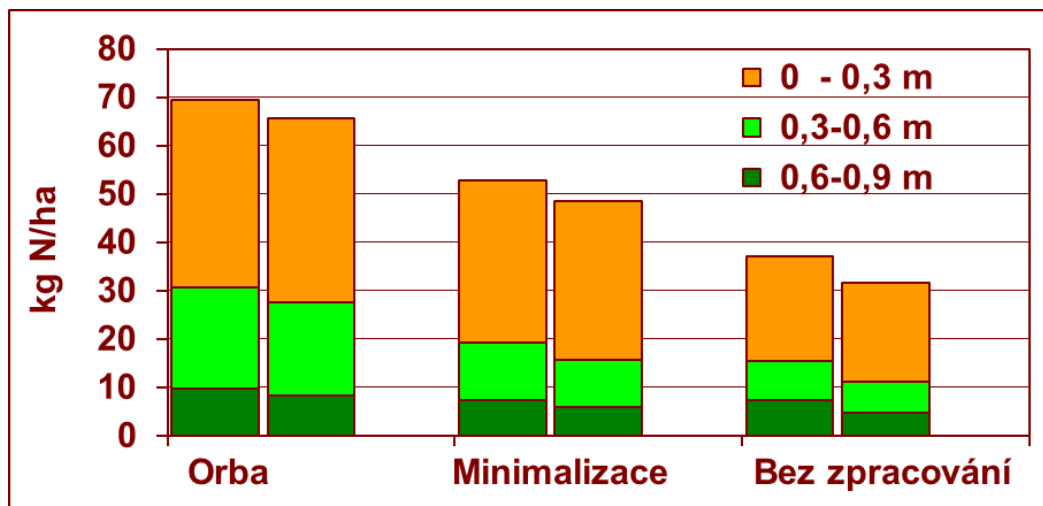
4.3.2. Možnosti snížení ztrát dusíku v různých technologiích pěstování plodin

Zvýšené riziko vyplavování dusičnanového dusíku a znečišťování vod vychází ze zranitelnosti půdního prostředí na čtvrtohorních usazeninách (kvarterních sedimentech) a ze způsobu hospodaření na těchto půdách s vysokým podílem zavlažované zeleniny a brambor. Mezi významné rizikové prvky při pěstování polních plodin na těchto půdách patří: opakované intenzivní zpracování půdy v průběhu roku, nedostatečné organické hnojení, používání statkových či organických hnojiv s nízkým poměrem C : N, hnojení dusíkem a dalšími živinami bez zohlednění obsahu využitelných živin v půdě (např. metoda N_{min} , KVK-UF apod.). Vzhledem k těmto rizikům je nutné věnovat větší pozornost nejen kvalitě půdy a její úrodnosti, ale také technologickým postupům používaným při pěstování polních plodin.

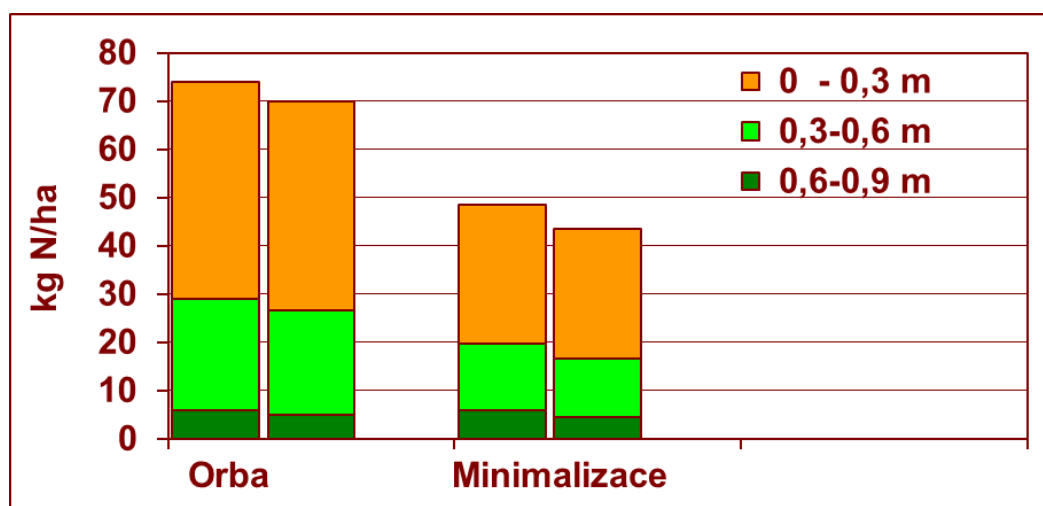
Zpracování půdy

Čím intenzivněji a častěji půdu kypříme, tím větší pozornost bychom měli věnovat navrácení organických látek do půdy v kvalitních statkových a organických hnojivech. Před setím ozimé řepky, některých druhů zeleniny apod. zpracováváme půdu v letním období při vyšších teplotách, které zvyšují mineralizaci půdní organické hmoty. Čím více půdu kypříme a provzdušňujeme a rovněž rozrušujeme půdní agregáty, tím více podporujeme mineralizační procesy v půdě, uvolňování živin z půdní zásoby a tvorbu dusičnanového dusíku v půdě. Proto se např. po orbě nebo hlubokém kypření tvoří v půdě více dusičnanů než po mělkém zpracování půdy.

Na obrázcích 7a, b je znázorněn vliv zpracování půdy po ozimé řepce na obsah minerálního dusíku v půdě pod ozimou pšenicí. Z víceletých výsledků vyplývá, že převážná část minerálního dusíku v biologicky aktivní půdě se nachází ve formě dusičnanů. Jejich množství v půdě klesá se snižující se intenzitou zpracování. Největší tvorba dusičnanového N v půdě byla zjištěna po orbě do hloubky 20–23 cm. Nižší pak po regulovaném zpracování půdy (minimalizace do 8–10 cm radličkami nebo disky).



a) stanoviště Praha-Ruzyně (hnědozem)



b) stanoviště Chrást'any u Rakovníka (kambizem)

Obr. 7: Obsah $N_{\min}$ (levý sloupec), z toho NO_3^- -N (pravý sloupec), v půdě v listopadu pod pšenicí oz. po různém zpracování půdy po řepce (průměr za období 2005–2017)

Nejnižší množství dusičnanů bylo zjištěno v půdě bez zpracování, s ponecháním posklizňových zbytků na povrchu. Po orbě byly také zjištěny největší emise oxidu uhličitého. To opět signalizuje intenzivnější mineralizaci půdní organické hmoty a tím i uvolňování živin z organických vazeb pro výživu rostlin. Proto po orbě a dalších obdobných způsobech hlubokého kypření půdy se dá předpokládat zejména po dobrých předplodinách (jeteloviny, luskoviny, zelenina, řepka, mák, cukrovka apod.) vyšší obsah dusičnanů a dalších živin přijatelných rostlinami v půdě. To je třeba brát v úvahu při optimalizaci dávek hnojiv pro následné plodiny, zejména při hnojení dusíkem.

K největší tvorbě dusičnanů v půdě dochází v půdách s nízkým poměrem C : N po intenzivním kypření, v kombinaci s hnojením dusíkem (minerální hnojiva, digestát, kejda apod.). Podzimní orbu nebo hluboké kypření po dobrých předplodinách (jeteloviny, luskoviny, zelenina, brambory, mák apod.) je tedy třeba posunout až do pozdějšího období. Při pěstování plodin jako je kukuřice, cukrovka, slunečnice, širok, některé druhy zeleniny, řepka setá do širších řádků, apod. je vhodné pro lepší zadržení vody a omezení mineralizace půdní organické hmoty používat pásové zpracování půdy, se setím do úzkých pásů zpracované půdy.

Rovněž při pěstování brambor je třeba změnit některé postupy, při kterých vzniká riziko znečištění vod vyplavením dusičnanů nebo povrchovým smyvem či vodní erozí. Po sklizni brambor jsou často zjišťovány vysoké obsahy reziduálního dusičnanového dusíku v půdě, což většinou souvisí s nízkým využitím dusíku z aplikovaných hnojiv rostlinami. I na mírně svažitéch půdách dochází při intenzivnějších srážkách ke ztrátám živin, včetně dusíku povrchovým smyvem nebo vodní erozí. Inovační postupy při pěstování brambor zaměřené na lepší zadržení vody ze srážek a závlahy v hrůbkách a na omezení rizik znečišťování vod uvádí Růžek a Kusá (2017) a Růžek a kol. (2018).



Obr. 8: Vytváření přerušovaných žlábků na povrchu hrůbku a důleků v nekolejové brázdě při sázení brambor

Obrázek 8 ukazuje upravený tvar hrůbků a brázd s důlky, žlábků a hrázkami pro lepší zadržení vody při sázení hlíz inovovaným sazečem brambor. Kromě uvedených

úprav je možné při sázení variabilně aplikovat různé dávky minerálních hnojiv do dvou až čtyř míst v hrůbku. Přitom dávka a druh hnojiva i jeho umístění v hrůbku je optimalizováno podle konkrétních půdních podmínek daného stanoviště, rizika eroze a vyplavování živin do podorničí. Vše navazuje na úpravu tvaru hrůbku, spojenou s vytvořením zón s větší vláhovou jistotou pro využití živin z aplikovaných hnojiv.

Na půdách s promyvným vodním režimem je možné přihnojení provést až na začátku vzcházení brambor, při současném kypření hrůbků pro lepší vsakování vody ze srážek (obr. 9).



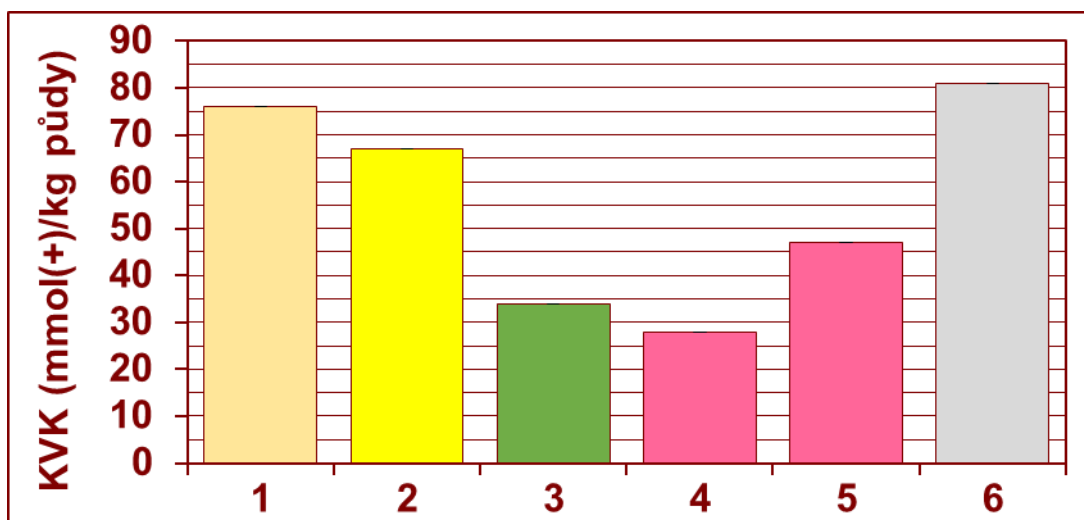
Obr. 9: Kypřič hrůbků brambor s přihnojením na začátku vzcházení

Půdní struktura a poměr kationtů v povrchové vrstvě půdy

Příčinou rozplavování půdních agregátů na povrchu půdy, a tím zhoršování její struktury a infiltrační schopnosti zejména na zavlažovaných půdách je vedle nízkého obsahu organické hmoty v půdě i vyplavení bazických kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} z horní vrstvy půdy. Tyto kationty mají významný vliv zejména na půdní strukturu. Současně působí i na koagulaci koloidů a zabraňují tak rozplavení agregátů, což má na zavlažovaných půdách značný význam.

Jak bylo zjištěno z analýz vzorků půd, obsah hořčíku a vápníku je v půdách zájmového území nízký (na některých pozemcích velmi nízký), s tím souvisí i nízká hodnota pH půdy. Hodnota pH/ CaCl_2 je na 3 ze 6 sledovaných pozemků nižší než 5,2.

Největším problémem však je, že vzhledem k velmi nízké kationtové výměnné kapacitě (KVK, obr. 10) je zejména na půdách s vyšším podílem písku, nízkým obsahem jílu a se závlahou (pozemky č. 3 až 5) omezena sorpce kationtů Mg^{2+} a Ca^{2+} v horní vrstvě půdy. Dochází tak k jejich vyplavování spolu s dusičnany do spodních vrstev půdy. Hodnoty KVK na některých pozemcích dosahují kritických hodnot, a to hluboko pod 100 milimolů chemického ekvivalentu na kg půdy (mmol(+)/kg). Obvyklé hodnoty u hlinitopísčitých a písčitohlinitých půd se pohybují v rozmezí 100–200 mmol(+)/kg půdy, u písčitých půd mohou být nižší.



Obr. 10: Kationtová výměnná kapacita (KVK) v půdní vrstvě 0–30 cm (přehled plodin pěstovaných na pozemcích č. 1 až 6 je uveden u obr. 5 a 6)

Kationtová výměnná kapacita určuje množství iontů, které je půdní systém schopen poutat. Podstatou sorpčních schopností půdy jsou jílové minerály a půdní organická hmota. Hodnota KVK půdy je poměrně stabilní (konzervativní) veličinou, jejíž změna není snadná a bývá pozvolná. Záměrné zvyšování hodnoty KVK není jednoduché, bývá i značně nákladné. Při hospodaření se živinami v půdě konkrétního pozemku je proto třeba sorpční schopnosti půdy, tedy aktuální hodnotu KVK půdy plně respektovat (Matula 2007). Vedle hodnoty kationtové výměnné kapacity je důležitý i podíl zastoupení kationtů (draslík, hořčík, vápník).

Vaněk a kol. (2012) uvádí, že draslík by měl v sorpčním komplexu tvořit (v ekvivalentním vyjádření) 3–4 %, hořčík zhruba 3 x více (10–15 %). Nejvyšší podíl v sorpčním komplexu by však měl zaujímat vápník (60–80 %). Jeho dominantní postavení je nutné pro zajištění dobrého fyzikálního stavu půd, kde má koagulační funkci, na níž závisí strukturnost půdy a tím i optimální vodní, vzdušný i tepelný režim půdy a oxidačně redukční procesy (Matula 1984, 2007).

Poměry kationtů K : Mg : Ca v sorpčním komplexu lze vypočítat z obsahů živin v půdě zjištěných metodou KVK-UF. Obsah přístupných živin v mg/kg půdy se vydělí hmotností jejich chemického ekvivalentu, což v případě draslíku představuje hodnotu 39,10, hořčíku 12,15 a vápníku 20,04. Například zjištěné obsahy živin v půdě v hmotnostním vyjádření 200 mg K/kg, 185 mg Mg/kg a 1 550 mg Ca/kg půdy znamenají v ekvivalentním vyjádření na kg u draslíku 5,1, hořčíku 15,2 a vápníku 77,3. Poměr zastoupení kationtů v sorpčním komplexu je tedy 1 : 3 : 15 (vhodný poměr).

Z citovaných údajů o zastoupení kationtů v sorpčním komplexu (Vaněk a kol. 2012, Matula 2007) vyplývají vhodné poměry K : Mg : Ca (v ekvivalentním vyjádření), a to 1 : 3 : 13,5–15 nebo alespoň 1 : 2 : 9,5–10 při hodnotě KVK pod 120 mmol(+)/kg.

Ve sledovaných půdách v zájmovém území však byly zjištěny extrémně nevhodné poměry mezi živinami, a to zejména v důsledku nízkého obsahu vápníku. Obsah vápníku ve vodním výluhu v poměru ke zjištěným hodnotám draslíku je u všech půd zhruba 8 až 10 x nižší, než by bylo třeba pro zajištění dobré struktury půdy a pro koagulaci koloidů, které udržují půdní agregáty pohromadě. Relativní nadbytek draslíku (i když reálně je jeho zásoba v půdě spíše nižší) vzhledem k celkovému nepoměru mezi prvky K a Ca tak napomáhá destrukci agregátů. K tomu přispívá i zavlažování, které může mít významný vliv na vyplavení vápníku.

Zjištěné poměry K : Mg : Ca u sledovaných 6 pozemků se pohybovaly od velmi nepříznivých hodnot 1 : 1,6 : 2,9 (č. 4) a 1 : 0,7 : 4,8 (č. 3) až po příznivější poměry z hlediska Ca, zjištěné na půdách bez závlahy, a to 1 : 0,7 : 10,1 (č. 1) a 1 : 1,1 : 12,2 (č. 2). Na pozemku č. 4 ale byl v horní vrstvičce půdy (0–2 cm) zjištěn extrémní poměr K : Mg : Ca s nejnižším zastoupením vápníku v odebraných vzorcích, a to 1 : 1 : 2,3. To vedlo spolu s nízkým obsahem uhlíku v této půdě (0,57 % C_{org}) k jejímu špatnému stavu, který se projevil snížením infiltrace závlahové vody a následnou erozí půdy.

Doporučení

Kromě dodávání organických látek do půdy je nutné zejména na zavlažovaných půdách věnovat větší pozornost diagnostice živin v půdě (optimálně s využitím metody KVK-UF, Matula 2007), včetně stanovení poměru jednomocných a dvojmocných kationtů (K : Mg : Ca). Stanovení reálné hodnoty KVK půdy pozemku je důležité, neboť je výchozím krokem agronomické interpretace půdního testu k odvození racionální potřeby hnojení. Na základě zjištěné hodnoty KVK a poměru kationtů je třeba optimalizovat aplikaci hnojiv s obsahem kationtů K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} i vápnění.

Hnojení minerálními hnojivy, včetně vápnění a zásoba živin v půdě

Aplikace vyšších dávek minerálních hnojiv s jednomocnými kationty (K^+ , Na^+ , NH_4^+) na povrch půdy může zhoršovat stabilitu půdních agregátů, což vede k jejich destrukci (rozplavení) a k narušení povrchové struktury půdy (Vaněk a kol. 2012). Na obrázku 11 je zachycen nepříznivý stav půdy, jejíž povrchová struktura není vhodná pro plošné přihnojení minerálními hnojivy, po kterém může docházet ke smyvu živin a dalšímu zhoršení půdní struktury.

Pro zlepšení půdní struktury je tedy vhodné hnojiva s jednomocnými kationty ve větší míře aplikovat lokálně do půdy před setím nebo sázením. Optimálním řešením je podpovrchová lokální aplikace hnojiv spojená s plečkováním a vytvořením hrubé struktury na povrchu půdy pro lepší zadržení srážkové a závlahové vody. Pod povrchem půdy je mezi řádky vytvořen „hrůbek“, který přivádí vodu ze srážek a závlahy ke kořenům rostlin a do míst, kde byla aplikována hnojiva (obr. 12). Půda je pak nejméně kypřena uprostřed meziřádku, což ve srovnání s konvenčními postupy omezuje mineralizaci půdní organické hmoty. Ta je přitom běžně v těchto místech, zejména u nezapojených porostů vyšší, vzhledem k většímu prohřívání půdy.



Obr. 11: Půda ve stavu nevhodném pro plošnou povrchovou aplikaci hnojiv



Obr. 12: Plečkování cukrovky kypřičem MEKY: vytvoření hrubé povrchové struktury půdy a modulace půdního profilu pro lepší přívod vody ke kořenům a hnojení

K některým druhům zeleniny jsou na půdách s nižší hodnotou pH aplikována vápenatá hnojiva s rychlým účinkem („Meerkalk“ apod.), která však mohou urychlovat rozklad organické hmoty a tvorbu dusičnanů v půdě. Proto nejsou pro většinu těchto

půd vhodná. Při vápnění půd v těchto oblastech je tedy vhodnější použít např. dolomitické vápence s pozvolným a dlouhodobějším účinkem (včetně směsí s různou intenzitou mletí), z nichž se do půdy vápník a hořčík postupně uvolňují. Dávku, jemnost mletí a termín aplikace je třeba určit na základě výsledků rozborů půdy (metoda KVK-UF, Matula 2007), neboť některé půdy s nízkou hodnotou KVK nejsou schopné větší množství dodaného vápníku zadržet a pak dochází k jeho vyplavení.

Doporučení

- U některých polních plodin, vč. zeleniny bude nutné změnit dosud používané agrotechnické postupy.
- U celeru, brokolice, cibule, salátové řepy, ale i u ozimé pšenice byly na některých pozemcích zaznamenány vyšší vstupy dusíku ve hnojivech, než je odběr rostlinami. To se projevilo zvýšenými obsahy reziduálního $N_{\min}$ v půdě po sklizni.
- Ozimá pšenice, jako hluboko kořenící plodina, by měla být využívána k vyčerpání dusíku z hlubších vrstev půdy a dávka dusíku by neměla překračovat 180 kg N/ha.
- Doporučujeme využívat metody diagnostiky výživného stavu půdy. Dosud není plně uplatňována korekce dávky dusíku k pěstovaným plodinám na základě stanovení $N_{\min}$ v půdě, popř. jsou vzorky půd odebírány jen z ornice, což je nedostačující.
- Vhodné je více zařazovat hluboko kořenící plodiny a meziplodiny, zejména po plodinách s mělkými kořeny. Na obr. 13 je znázorněn pozitivní vliv čiroku jako dočasných meziplodin po sklizni brambor nebo zeleniny. Kromě toho je čirok pěstovaný na zelené hnojení zdrojem biomasy se širším poměrem C : N.
- Při hnojení polních plodin, včetně zeleniny je třeba ve větší míře uplatňovat lokální podpovrchovou aplikaci dusíkatých hnojiv, místo plošné aplikace na povrch půdy, která podporuje rozklad půdní organické hmoty.
- Při vyšších dávkách N je vhodné používat hnojiva s inhibitory nitrifikace a ureázy.

Zlepšení zadržování vody ze závlah a její efektivní využití rostlinami

V příštích letech se předpokládá v důsledku změny klimatu větší rozšíření závlah při pěstování zeleniny a brambor. Zatím je nejvíce rozšířena závlaha postřikem, při které však dochází ke značným ztrátám vody. Řešením do budoucna je kapková závlaha, která je zatím u brambor a běžných druhů zeleniny vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům používána jen v malé míře. Použití této technologie však může výrazně zvýšit výnosy, např. až dvojnásobně, v porovnání s plošnou závlahou.

Při závlaze postřikem je třeba změnit tvar záhonů a hrůbků, včetně úpravy kolekových brázd, aby nedocházelo k odtoku vody do níže položených míst. Na zavlažovaných půdách dochází k vyplavení bazických kationů Ca^{2+} a Mg^{2+} z horní vrstvy půdy. Při jejich nedostatku pak dochází k rozplavení agregátů, zhoršení půdní struktury a snížení infiltrace vody do půdy.

Na zavlažovaných půdách dochází i přes organické hnojení k postupnému snižování obsahu organické hmoty v půdě a zároveň i poměru C : N. Často jsou používána nevhodná organická hnojiva s úzkým poměrem C : N, která podporují mineralizační procesy v půdě. Úbytek půdní organické hmoty vede ke zhoršení půdní struktury a snížení infiltrace závlahové a srážkové vody do půdy. Strukturu půdy nepříznivě ovlivňuje i aplikace některých minerálních hnojiv na povrch půdy (obr. 11).

Nové přístupy k zařazení a využití mezipločin

Hlavní přínosy mezipločin vysévaných po sklizni hlavní plodiny (strniskové mezipločiny) nebo zakládaných do podsevu jsou známy nejméně sto let. Dříve bylo oceňováno hlavně dodávání rostlinné biomasy do půdy, potlačení plevelů, vynášení proplavených živin z podorníci a případně i využití mezipločin jako dodatečného zdroje krmiv. V současnosti se kromě těchto přínosů zdůrazňuje zvláště protierozní efekt, snížení ztrát živin vyplavením z důvodů jejich zadržení v biomase, zvýšení biodiverzity druhově chudých osevních sledů, zlepšení podmínek pro půdní organizmy a tvorba mulče (vymrzající druhy) pro výsev širokořádkových plodin na svazích.

V oblastech pěstování raných brambor, dalších okopanin a zeleniny se rovněž oceňují fytosanitární aspekty, například u čiroku (hád'átka) nebo hořčice hnědé, nazývané též hořčice habešská (houbové patogeny a škůdci).

Pěstováním mezipločin je možno splnit povinnost vyčlenit část orné půdy jako plochu v ekologickém zájmu. Pro tyto účely byly v roce 2018 autorizovány např. čirok súdánský, čirok zrnový, hořčice bílá, hořčice hnědá, peluška (hrách setý rolní), pohanka obecná, ředkev olejná, slunečnice roční, svazenka shloučená a svazenka vratičolistá.

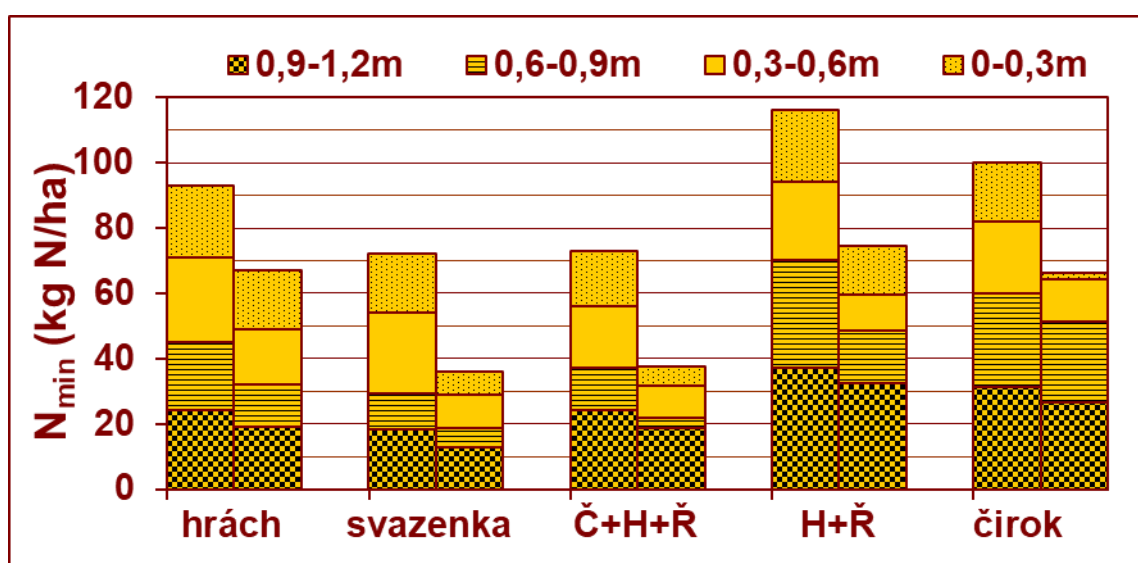
Tab. 6: Přínosy a možné nevýhody zařazení mezipločin v zelinářských oblastech

Druh	Výhody	Nevýhody
Hořčice	rychlé vzcházení a tvorba velkého množství biomasy, hluboký kořen a vynášení proplavených živin, zpřístupňování fosforu	nevhodná při pěstování brukvovité zeleniny, stonky starších rostlin se pomaleji rozkládají, hůře snáší sucho a vysoké teploty
Svazenka	není příbuzná s běžnými polními plodinami a zeleninou, je medonosná, husté prokořenění ornice	možné zaplevelení, v teplých zimách přežívá
Čirok	nematocidní efekt, velké množství biomasy s širokým poměrem C : N (případné využití jako krmiva nebo biomasy pro bioplynové stanice), efektivní využití vody (rostlina C ₄)	velké množství hůře rozložitelných zbytků u starších porostů
Peluška	obohacení půdy o dusík a zpřístupňování fosforu pro následné plodiny	rychlý rozklad biomasy, riziko mineralizace a vyplavení dusičnanů
Další N vázající plodiny	rozšíření biodiverzity, druhy vhodné do sušších i vlhčích podmínek	drahé a méně dostupné osivo, možné horší vzcházení a nižší konkurenceschopnost k plevelům, nevyrovnanost porostů
Slunečnice (málo využívána)	velké množství biomasy, dobré pokrytí půdy, hluboký dosah kořenů, vynášení živin z podorníci	velké množství hůře rozložitelných zbytků

Podmínky zelinářských oblastí umožňují efektivní zařazení meziplodin. Hlavní plodiny brzy uvolňují půdu a umožňují široký výběr druhů, dostatečnou dobu růstu a vytvoření potřebné biomasy pro dosažení významného přínosu (např. Brant a kol. 2008, Vach a kol. 2009). Zvláště v nížinných zelinářských oblastech se u nás však stále častěji vyskytuje sucho. Je tedy nezbytné zvažovat i spotřebu vody v rámci ročníku i celého osevního postupu, včetně meziplodin (např. Brant a kol. 2011). V případě extrémního sucha je vhodné podpořit vzcházení a počáteční růst meziplodin závlahou. Slabý mezerovitý porost totiž nedokáže plně využít ani vodu ze srážek v pozdějším období a tím nezaručí očekávané přínosy.

Na obrázku 13 je znázorněn vliv meziplodin vysetých po raných bramborách na snížení obsahu $N_{\min}$ v půdě. Odběry půdy pro zjištění obsahu $N_{\min}$ ve čtyřech vrstvách půdy, až do hloubky 120 cm, byly v roce 2016 prováděny ve dvou termínech, a to 3. srpna a 1. září. I přes velmi suché počasí bylo zapojení porostu meziplodin dobré. Za sucha také meziplodiny přesunují více látek do kořenů (zvyšuje se podíl kořenů na celkové biomase), což má příznivý vliv na půdní mikroflóru. Lehké a záhřevné půdy v zelinářských oblastech však přispívají k rychlé mineralizaci rostlinných zbytků. Po časném zapravení biomasy meziplodin (zvláště luskovin) na podzim tak může docházet ke zvyšování obsahu dusičnanů v půdě ještě před začátkem jarního období.

Z meziplodin je do zelinářských oblastí vhodný např. čirok, který je schopen odebrat více reziduálního dusíku po sklizni brambor a zeleniny a zároveň vyprodukovat větší množství biomasy s širším poměrem C : N. Některé odrůdy čiroku (např. Ruzrok) mají účinky proti fytopatogenním hád'átkům. Jejich zařazení do osevního postupu snižuje riziko napadení kořenů u pěstované zeleniny. Po zaorání čiroku se totiž rozkladem alkaloidu durrhinu vytváří kyanovodík, který dokáže likvidovat některé patogeny (hád'átka, spory hub) a tím má ozdravný vliv na půdu (Hermuth a kol. 2018). Vzhledem k vyššímu fumigačnímu efektu v ranějších stádiích růstu čiroku (např. do výšky 60 cm) je snahou zemědělců zapravit čirok do půdy dříve, než by zase bylo žádoucí z hlediska zvýšení nebo stabilizace obsahu organické hmoty v půdě.



Obr. 13: Porovnání obsahu $N_{\min}$ na počátku růstu (03.08.2016, levý sloupec) a před zaorávkou meziplodin (01.09.2016, pravý sloupec); Č=čirok, H=hořčice, Ř=ředkev

5. Závěrečná doporučení pro správné hospodaření s dusíkem a vodou

Základní pravidla

- Zpracování bilance živin v zemědělském závodě (bilanční přebytek nad 60 kg N/ha indikuje zvýšené riziko ztrát), viz výpočetní program na www.vurv.cz.
- Stanovení obsahu minerálního dusíku ($N_{\min}$) v půdě před zimou, podle lokality od počátku listopadu do počátku prosince, nejméně do hloubky 60 cm.
- Orientační výpočet rizika vyplavení dusičnanů na základě obsahu $N_{\min}$ a podílu dusičnanů v půdě, nasycení půdy vodou na podzim a úhrnu srážek.
- Zařazení strniskových mezipločin po sklizni hlavní plodiny.
- Analýza obsahu $N_{\min}$ (na hlubokých půdách až do hloubky 90 cm) na konci zimy nebo v předjaří; u pozdě setých/sázených druhů (slunečnice, kukuřice, čirok, brambory, zelenina) provést odběr později, ale vždy před aplikací hnojiv.
- Úprava dávek dusíku podle plánovaného výnosu, potřeby dusíku, obsahu a distribuce $N_{\min}$ v půdě na jaře i dle odhadu podmínek pro mineralizaci (podle předplodiny, množství a kvality statkových a organických hnojiv i posklizňových zbytků), s přihlédnutím ke hloubce prokořenění a schopnosti plodin využít dusík z podorničních vrstev.

Nevhodné postupy

- Dávka a forma dusíku neodpovídá potřebě plodiny, dostupné zásobě N v půdě, odhadu mineralizace N z rostlinných zbytků, statkových a organických hnojiv.
- Nezohledňuje se dusík v nesklizené produkci zeleniny, která často zůstává na poli, ani ve snadno rozložitelných posklizňových zbytcích bohatých na dusík.
- Nezjišťuje se obsah $N_{\min}$ v podorničí.
- Nepřihlíží se k případným rozdílům v půdních vlastnostech, vč. půdního profilu v rámci jednoho zemědělského pozemku.
- Závlahové dávky dostatečně nezohledňují obsah dostupné vody v kořenové zóně.
- Nevyužívá se předpovědi srážek pro snížení rizika souběhu závlahy a přívalových srážek.
- Při závlaze dochází k významnému stékání vody mezi hrůbky, záhony nebo koleji (z hrůbek a záhonů do brázd a kolejí a následnému transportu vody do níže položených míst).
- Aplikace minerálních hnojiv s jednomocnými kationty (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , ...) na povrch půdy.

III. Srovnání „novosti postupů“

Metodika prezentuje postupy monitoringu obsahu minerálního N v půdě, odhad rizika ztrát dusíku vyplavením dusičnanů do vod a agrotechnické postupy, které zlepšují hospodaření s dusíkem při pěstování zeleniny, brambor a dalších plodin. Jsou popsány nové technologie pro pěstování brambor, při jejichž pěstování zvláště při závlaze hrozí zvýšené riziko ztrát dusíku a znečištění vod. Jedním z hlavních cílů inovované agrotechniky při pěstování brambor je lepší využití aplikovaných hnojiv cestou modifikace zasakování vody v profilu hrůbků. Zpracování půdy musí zajistit rovnoměrné vsakování a zabránit stékání a hromadění vody a tím i případné erozi půdy.

Inovace dále spočívá v přesnějším určení rizika vyplavení dusičnanů na základě údajů dostupných v provozních podmínkách, s využitím nových poznatků o hloubce prokořenění půdy u zeleniny a brambor z hlediska potenciálu pro odčerpání dusičnanů z podorničí. Výsledkem řešeného projektu bylo i potvrzení významu racionálních závlahových dávek nejen pro úsporu závlahové vody, ale i pro redukci rizika vyplavení dusičnanů mimo kořenovou zónu po sklizni a v mimovegetačním období. Metodika přináší argumenty pro inovaci a zavedení nových metod zpracování půdy a hnojení v zemědělských závodech i pro lepší charakterizaci půdních vlastností a jejich variability v rámci zemědělského pozemku.

IV. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena především pěstitelům zeleniny a brambor. Je však vhodná i pro další zemědělce hospodařící v oblastech se zvýšenou zranitelností půdního prostředí, např. v ochranných pásmech vodních zdrojů nebo ve zranitelných oblastech. Uplatnění se tedy neomezuje pouze na podmínky v zájmovém území, s převahou propustných půd. Navržené postupy pro snížení ztrát dusíku a udržování půdní úrodnosti jsou platné při hospodaření na orné půdě obecně.

Metodika popisuje hlavní faktory ovlivňující riziko vyplavení dusičnanů a možné postupy pro jeho snížení, v návaznosti na způsoby zpracování půdy a hospodaření s vodou. Tyto informace jsou využitelné nejen zemědělci a zemědělskými poradci, ale i pracovníky v oblasti životního prostředí, vodárenství a podniků povodí.

Uplatnění metodiky je založeno na aplikaci poznatků popsaných v metodice, ve spojení se znalostmi agronoma o půdních podmínkách konkrétního zemědělského pozemku, lokálním průběhu počasí a stavu porostu.

Metodika v tištěné formě je šířena na odborných seminářích a dalších akcích. V elektronické verzi je zveřejněna na webových stránkách VÚRV, v.v.i. www.vurv.cz a webové stránce nitrátové směrnice www.nitrat.cz. Získané poznatky jsou šířeny i další vhodnou formou (školení, přednášky, letáky, apod.). Pěstitelům, pracovníkům v poradenství i dalším osobám se zájmem o využití popsaných opatření pro snížení ztrát dusíku z půdy lze doporučit přímou spolupráci s autory metodiky.

Toto první vydání metodiky vychází z předpisů platných v době jejího tisku, tedy na konci roku 2018. Do budoucna je však možné očekávat úpravy některých v metodice zmíněných legislativních požadavků (5. AP NS a revize ZOD od roku 2020, nová pravidla pro zapravování hnojiv, nové podmínky pro dotace po roce 2020 apod.).

V. Ekonomické aspekty

Uplatnění většiny popsaných postupů v oblasti bilance dusíku a vody, monitoringu obsahu minerálního dusíku v půdním profilu a dodržování pravidel pro udržování kvality půdního prostředí by mělo být běžnou součástí agrotechniky plodin na orné půdě a nevyžaduje dodatečné (investiční) náklady. Náklady na pořízení automatické meteorologické stanice pro získání spolehlivých údajů v místě jsou jednorázové a údaje pak jsou využitelné i pro další účely – signalizaci a předpověď vývoje chorob a škůdců, nebo odhad vývoje a zralosti plodin. Odběry půdy pro stanovení obsahu $N_{\min}$ v půdě na podzim a na jaře v ornici i v hlubších vrstvách půdy, prováděné specializovanými pracovišti, zvyšují náklady o několik desítek korun na hektar. Úspora dusíkatých hnojiv pak tyto náklady plně kompenzuje.

Investičně náročná zemědělská technika nezbytná pro inovaci technologie pěstování plodin, zpracování půdy, aplikace hnojiv nebo výsevu směsných kultur, včetně technologie pro uplatnění precizního zemědělství je nezbytná nejen pro snížení ztrát dusíku, ale má pozitivní dopady i na ekonomiku pěstování plodin, produkci a její kvalitu i udržení kvality půdy.

Získání podrobnějších údajů o půdních a agrochemických podmínkách dílů půdních bloků, nad rámec běžně dostupných dat (např. z LPIS), zahrnuje především analýzu zrnitostního složení půdy. Cena analýzy jednoho vzorku je okolo 400 Kč (např. <http://www.vumop.cz/>). Pro plochu (zemědělský pozemek) o velikosti do 10 ha lze doporučit analýzu směsných vzorků z více míst, až pro tři vrstvy půdy, celkem za 100–120 Kč/ha. Jde o jednorázovou částku, avšak u větších ploch podle míry plošné variability bude potřebný větší počet vzorků. Podobně je vhodné zahustit síť monitoringu agrochemických vlastností, včetně obsahu a kvality organické hmoty v půdě.

Přínosy použití metodiky se projeví zejména při systematickém využívání všech doporučených možností a agrotechnických opatření. Vzhledem ke komplexnímu charakteru vzájemně propojených procesů v půdě, porostu a atmosféře nelze očekávat zlepšení při aplikaci pouze dílčích opatření. Používání postupů dle metodiky by mělo zvýšit efektivnost využití dusíku, při současném snížení spotřeby minerálních dusíkatých hnojiv, stabilizaci výnosů a zvýšení kvality produkce. Hlavní přínos při dlouhodobém systematickém využívání navržených doporučení a postupů spočívá ve snížení ztrát dusíku do vod, a tím i v postupném snižování obsahu dusičnanů v povrchových a podzemních vodách.

VI. Seznam použité související literatury

- Brant V., Balík J., Fuksa P., Hakl J., Holec J., Kasal P., Neckář K., Pivec J., Prokinová E. 2008. Meziplodiny. Kurent s.r.o., ČB, 86 s., ISBN 978-80-87111-10-9.
- Brant V., Pivec J., Fuksa P., Neckář K., Kocourková D., Venclová V. 2011. Biomass and energy production of catch crops in areas with deficiency of precipitation during summer period in central Bohemia. *Biomass and Bioenergy* 35, s. 1286–1294.
- Fučík P., Zajíček A., Kaplická M., Duffková R., Peterková J., Maxová J., Takáčová Š. 2017. Incorporating rainfall-runoff events into nitrate-nitrogen and phosphorus load assessments for small tile-drained catchments. *Water* 9 (9), 712.
- Haberle J., Svoboda P. 2014. The simulated impact of different fertilization system on yield and the utilization of nitrogen from wheat root zone layers under shortage of water. In: Cordovil, C. (ed.). Proc. 18th Nitrogen Workshop – The nitrogen challenge: building a blueprint for nitrogen use efficiency and food security. Instituto Superior de Agronomia of the Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal, s. 113–114.
- Haberle J., Svoboda P., Vlček V., Kohut M. 2015a. Bilance a určení dostupné zásoby vody v kořenové zóně plodin. SW, VÚRV, v.v.i., <http://svt.pi.gin.cz/vuzt/koreny.php>.
- Haberle J., Vlček V., Kohut M., Středa T., Dostál J., Svoboda P. 2015b. Bilance a určení dostupné zásoby vody v kořenové zóně plodin. Certifikovaná metodika, VÚRV, v.v.i., 38 s., ISBN 978-80-7427-173-1.
- Hermuth J., Kosová K., Podrábský M., Trávníček P., Frydrych J., Hladík J., Král L. 2018. Pěstební technologie zrnového čiroku odrůdy Ruzrok. Ověřená technologie. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., ISBN 978-80-7427-259-2.
- Hrabánková A. 2016. Ochrana vod před dusičnany ze zemědělství. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace (VTEI), 5/2016, s. 1–6.
- Hrabánková A., Klír J., Datel J. V. 2017. Ochrana povrchových a podzemních vod před znečištěním dusičnany ze zemědělství. XV. HG kongres a III. IG kongres, Brno.
- Jandák K., Pokorný E., Prax A. 2014. Půdoznalectví. MU Brno. 3. vyd., 143 s.
- Káš M., Haberle J. 2015. Meziplodiny. In: Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství (ed. Konvalina P.), kap. 10. JČU, s. 267–284.
- Klír J. 2018a. Orientační bilance živin a organických látek v zemědělském závodě. SW, VÚRV, v.v.i., ke stažení na webové stránce <https://www.vurv.cz>
- Klír J., Kozlovská L. 2017. Ochrana vody, půdy a ovzduší při zemědělské činnosti. Sborník ze semináře. IVVZ o.p.s., 44 s., ISBN 978-80-87262-84-9.
- Křivánek O., Kněžek M. 2001. Zdroje pitné vody v Káraném. Principy získávání vody v oblasti kárané vodárny PVK a.s.
- Kubát J., Cerhanová D., Mikanová O., Šimon T. 2008. Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Metodika pro praxi. VÚRV, v.v.i., 35 s., ISBN 978-80-87011-65-2.
- Květoň V., Haberle J., Žák M. 2016. New indicator for classification of agro climatic conditions for the cultivation of catch crops. *Arch. Agron. Soil Sci.* 63 (2), s. 250–260.

- Matula J. 1984. Kationtová výměnná kapacita půdy a její využití ke hnojení. *Agrochémia* 24, 11, s. 333–337.
- Matula J. 2007. Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Metodika pro praxi. VÚRV, v.v.i., 47 s., ISBN 978-80-87011-16-4.
- Spitz P., Zavadil J., Duffková R., Korsuň S., Nechvátal M., Hemerka I. 2011. Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem IRRIPROG. VÚMOP, v.v.i., 41 s., ISBN 978-80-87361-11-5.
- Středa T., Haberle J., Klimešová J., Svoboda P., Středová H., Khel T. 2017. Metodika odběru a hodnocení kořenového systému polních plodin. Certifikovaná metodika. Mendelova Univerzita v Brně, VÚRV, v.v.i. ISBN 978-80-7427-261-5.
- Svoboda P., Haberle J. 2014. Hloubka kořenů polních plodin. *Úroda* 62 (12) (CD).
- Svoboda P., Haberle J., Kurešová G. 2014. Root growth and depletion of nitrogen from root zone of winter wheat under drought and ample water supply. In: Fekete, Á. (ed.). 13th Alps – Adria Sci. Workshop, Hungarian Academy of Sciences, s. 299–302.
- Škarda M. 1990. Bilance potřeby organických látek (OL). In: Komplexní metodika výživy rostlin (ed. Neuberger J.), kap. 4.3.1., ÚVTIZ Praha, s. 41–45.
- Tolasz a kol. 2007. Atlas podnebí Česka. Praha, Český hydrometeorologický ústav a Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 254 s., ISBN 978-80-86690-26-1.
- Vach M., Haberle J., Procházka J., Procházková B., Hermuth J., Květoň V., Káš M., Javůrek J., Svoboda P., Dvořáček V. 2009. Pěstování strniskových meziplodin. Certifikovaná metodika, VÚRV, v.v.i., 32 s., ISBN 978-80-7427-009-3.
- Vaněk V. a kol. 2012. Výživa a hnojení zahradních plodin, Academia, 2012.
- Vopravil J. a kol. 2010. Půda a její hodnocení v ČR (I). 2. vyd., VÚMOP, v.v.i.
- Vopravil J. a kol. 2011. Půda a její hodnocení v ČR (II). 1. vyd., VÚMOP, v.v.i.
- Weaver J. E., Bruner W. E. 1927. Root development of vegetable crops. McGraw-Hill Book Co., Inc. New York – London.

ČSN 75 0434. Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. 2017

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu
Režim hospodaření zemědělských organizací v pásmech hygienické ochrany vodních zdrojů Káraný, Agroprojekt Praha, 1982

Rozhodnutí o vyhlášení pásem hygienické ochrany vodního zdroje Káraný
(č.j. VLHZ 4090/85-233), Středočeský KNV v Praze, 1986

Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv

Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

Vybrané publikace z let 2014–2018, s dedikací na projekt NAZV QJ1320213

Bruthans J., Kůrková I., Kadlecová R. 2017b. Problematika dusičnanů v Káraným–detektivka o mnoha dějstvích. Seminář UHIGUG PřF UK 08.01.2017.

Bruthans J., Kůrková I., Kadlecová R. 2018. Factors controlling nitrate concentration in space and time in wells distributed along an aquifer/river interface (Káraný, Czechia). *Hydrogeology Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1854-7>.

Bruthans J., Kůrková I., Kadlecová R. 2018. Spatial and temporal distribution of nitrate in alluvial aquifer and controlling factors. *Hydrogeology Journal* (v tisku).

Bruthans J., Kůrková I., Kadlecová R., Grundloch J. 2017a. Proudění vody, chemizmus a znečištění dusičnanů v násoskových řadech jímacího území Káraný. In: Podzemní voda a společnost. Sborník příspěvků XV.

Bruthans J., Kůrková I., Rybářová M., Grundloch J., Kadlecová R. 2016. Hydrogeologie fluválních sedimentů v prostoru skorkovského a sojovického jímacího řadu: zhodnocení proudění a chemizmu ve světle nových údajů z průzkumných vrtů. Zprávy o geologických průzkumech. Vol. 49, 2016. Čes. geol. služba. ISSN 054-8057.

Haberle J., Svoboda P., Šimon T., Kurešová G., Henzlová A., Klír J. 2018. Distribution of mineral nitrogen in soil in relation to risk of nitrate leaching in farms with irrigated vegetables and early potatoes. *Journal of Horticultural Research* 45.

Haberle J., Svoboda P., Šimon T., Kurešová G., Neumannová A., Klír J. 2016a. Distribuce minerálního dusíku v půdě v podnicích se zavlažovanou zeleninou. *Úroda* 64 (12), 4 s. (CD).

Haberle J., Žák M., Káš M., Svoboda P. 2017. Strniskové meziploidy a nízké teploty v podzimním období (eds. Rožnovský J. a kol.). In: Mrazy a jejich dopady, 26.–27.04. Hrubá voda, 12 s. (CD). ISBN 978-80-87577-69-1.

Haberle J., Žák M., Svoboda P., Klír J. 2016b. Trendy srážek v meziporostním období v letech 2000–2015. *Úroda* 64 (11), s. 23–28.

Kadlecová R., Bruthans J., Grundloch J., Gvoždík L., Haberle J., Klír J., Kůrková I., Milický M., Růžek P., Herčík L. 2018. Kvarterní sedimenty, podzemní voda a zemědělství. Česká geologická služba, Praha, 50 s. ISBN 978-80-7075-936-3.

Kadlecová R., Gvoždík L., Grundloch J. 2016. Hydrogeologická mapa území mezi Předměřicemi nad Jizerou a Sojovicemi. Česká geolog. služba. 978-80-7075-916-5.

Kadlecová R., Hroch T., Gvoždík L. 2016. Účelová geologická mapa území mezi Předměřicemi nad Jizerou – Lipníkem – Ostrou a Čelákovici. Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-917-2.

Kadlecová R., Hroch T., Gvoždík L. 2016. Účelová geologická mapa území mezi Předměřicemi nad Jizerou – Lipníkem – Ostrou a Čelákovici. Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-918-9.

Klír J. 2018b. Správné hospodaření na půdě. Podzemní vody ve vodoprávním řízení XIV, 24.10.2018, Praha. ISBN 978-80-02-02835-2

- Klír J., Haberle J. 2017. Snížení rizika ztrát dusíku z půdy v zelinářské výrobě. *Zahradnictví*, 5, s. 60–62.
- Klír J., Kozlovská L. 2016. Zásady hospodaření pro ochranu vod před znečištěním dusičnany. Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i., 23 s., ISBN 978-80-7427-218-9.
- Klír J., Kozlovská L., Haberle J., Mühlbachová G. 2018. Metodický návod pro hospodaření ve zranitelných oblastech (2. aktualizované vydání). Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i., 60 s., ISBN 978-80-7427-275-2.
- Klír J., Šimon T., Svoboda P., Kurešová G., Haberle J. 2017. The distribution of mineral nitrogen in soil in relation to risk of nitrogen leaching in farms with irrigated vegetables. In: „Innovative solutions for sustainable management of Nitrogen“ (Dalgaard T. a kol.) Copenhagen, Aarhus University, June 2017, s. 79, ISBN 978-87-93398-82-5.
- Milický M., Gvoždík L., Kadlecová R., Klír J. 2017. Dusičnany v podzemní vodě v kvartérních sedimentech jímacího území Káraný. Podzemní vody ve vodoprávním řízení XIII, 25.10.2017, Praha.
- Růžek P., Kusá H. 2017. Inovace pěstební technologie u brambor s ohledem na ochranu vod. *Agromanuál*, 12 (1), s. 122–123.
- Růžek P., Kusá H., Vavera R., Kasal P. 2018. Inovace pěstování brambor pro lepší zadržení vody v hrůbcích. *Úroda* 66 (4), s. 97–101.
- Svoboda P., Kurešová G., Neumannová A., Haberle J. 2017. Riziko vyplavení nitrátů u zelenin a plodin s různou hloubkou kořenů. *Úroda* 65 (12), s. 493–496 (CD).
- Wollnerová J., Klír J., Haberle J. 2015. Ochrana vod před dusičnany pocházejícími ze zemědělství. *SOVAK* 10, s. 18–20.
- Wollnerová J., Klír J., Haberle J. 2015. Pěstování polní zeleniny a brambor s ohledem na ochranu vod. *Úroda* 63 (3), s. 78–80.
- Workshopy k výsledkům monitoringu čerpaných vod a průběžným výsledkům řešení projektu (Káraný 17.02.2016, 31.03.2016, 05.04.2017, 17.04.2018).

Poznámky

Autoři: Ing. Jan Klír, CSc.
Ing. Jan Haberle, CSc.
Ing. Pavel Růžek, CSc.
Ing. Tomáš Šimon, CSc.
Ing. Pavel Svoboda

Kontakt: klir@vurv.cz

Pracoviště: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha-Ruzyně

Název: Postupy hospodaření pro efektivní
využití dusíku a snížení jeho ztrát

Vydal: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.,
Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně

Vydáno bez jazykové úpravy.

Autoři fotografií: P. Svoboda, J. Haberle, P. Růžek, J. Klír

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2018

ISBN 978-80-7427-273-8



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2018