



Jan Klír a kol.

Udržitelné hospodaření se živinami a organickými látkami

Metodika pro praxi



**Výzkumný ústav
rostlinné výroby**



2024

Metodika je výsledkem projektu NAZV QK21020155 „Nástroj pro hospodaření se živinami a organickými látkami“ a podpory na Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné instituce na léta 2018–2022 a 2023–2027 Ministerstva zemědělství ČR č. MZE-RO0418 a MZE-RO0423.

Uživatelem metodiky je na základě smlouvy o uplatnění metodiky, uzavřené podle ustanovení § 1746 odst. 2 zákona č. 89/2012 Sb. (občanský zákoník) Ústav zemědělské ekonomiky a informací.

Kolektiv autorů z VÚRV, v.v.i.

Jan Klír – *zástupce autorského kolektivu*

Spoluautoři (*řazeno abecedně*)

Jan Haberle, Lukáš Hlisnikovský, Lada Kozlovská, Eva Kunzová, Helena Kusá,
Mikuláš Madaras, Ladislav Menšík, Gabriela Mühlbachová, Pavel Nerušil,
Ivana Raimanová, Pavel Růžek, Pavel Svoboda, Tomáš Šimon, Jana Wollnerová

Udržitelné hospodaření se živinami a organickými látkami

Metodika pro praxi

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2024

Udržitelné hospodaření se živinami a organickými látkami

Základním principem hospodaření na zemědělské půdě je zajistit optimální podmínky pro růst a vývoj zemědělských plodin, při omezení nepříznivých vlivů hospodaření na půdu, vodu, ovzduší a biodiverzitu. Nedostatek základních živin potřebných pro rostliny nebo nevhodné podmínky pro příjem živin mohou zpomalit jejich růst a produktivitu, zatímco nadbytek živin, které rostliny nespotřebují, bude mít za následek ekonomické a ekologické ztráty. Optimalizace výživy rostlin je nástrojem k omezení těchto ztrát v rostlinné výrobě a hraje důležitou roli v efektivním hospodaření, zejména v době globálního nedostatku a vysoké ceny minerálních hnojiv. Vhodným prostředkem ke sledování účinnosti živin a ověření správnosti zemědělského hospodaření jsou bilance živin a organických látek, resp. jejich bilanční odhady. Bilance mohou poskytnout i přehled o potenciálních environmentálních rizicích používání hnojiv.

Klíčová slova: úrodnost půdy, organické látky, výživa rostlin, hnojení, bilance

Sustainable management of nutrients and organic substances

The basic principle of farming on agricultural land is to ensure optimal conditions for the growth and development of agricultural crops, while limiting the adverse effects of farming on soil, water, air and biodiversity. A lack of essential nutrients needed by plants or unsuitable conditions for nutrient uptake can slow down their growth and productivity, while an excess of nutrients that are not consumed by plants will result in economic and ecological losses. Optimizing plant nutrition is a tool to limit these losses in crop production and plays an important role in efficient management, especially in times of global shortage and high prices of mineral fertilizers. Balances of nutrients and organic substances are suitable tools for monitoring nutrient efficiency, or their balance estimates. The balances can also provide an overview of the potential environmental risks of using fertilizers.

Key words: soil fertility, organic matter, plant nutrition, fertilization, balance

Oponenti:

Ing. Jindřich Černý, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze

Ing. Josef Svoboda, Ph.D., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Metodika byla schválena Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským, (osvědčení č. 099155/2024)

1 CÍL METODIKY	5
2 VLASTNÍ POPIS METODIKY	6
2.1 PŮDNÍ ORGANICKÁ HMOTA.....	6
2.1.1 <i>Vznik a složení půdní organické hmoty.....</i>	6
2.1.2 <i>Vstup uhlíku do půdy a jeho přeměny</i>	10
2.1.3 <i>Potenciál rostlinných zbytků</i>	12
2.1.4 <i>Využití slámy jako statkového hnojiva</i>	15
2.1.5 <i>Vliv způsobů hospodaření na obsah uhlíku v půdě.....</i>	21
2.1.6 <i>Zdroje pro dodání organické hmoty do půdy.....</i>	25
2.1.7 <i>Stanovení potřeby dodání organické hmoty do půdy.....</i>	27
2.2 ŽIVINY V PŮDĚ	34
2.2.1 <i>Stanovení obsahu živin v půdě</i>	34
2.2.2 <i>Vliv zpracování půdy na živinný režim</i>	39
2.3 ODBĚR A VYUŽITÍ ŽIVIN ROSTLINAMI	41
2.3.1 <i>Využití dusíku z hnojiv a půdní zásoby.....</i>	41
2.3.2 <i>Využití dusíku z posklizňových zbytků jetelovin</i>	43
2.3.3 <i>Listová výživa rostlin.....</i>	44
2.3.4 <i>Poznatky z polních výživářských pokusů.....</i>	46
2.4 VÝŽIVA A HNOJENÍ TRAVNÍCH POROSTŮ.....	51
2.5 BILANCE ŽIVIN A PLÁNY HNOJENÍ.....	55
3 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	60
4 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	60
5 EKONOMICKÉ ASPEKTY	61
6 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY	62
7 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE ..	67
8 SOUVISEJÍCÍ LEGISLATIVA	68

1 Cíl metodiky

Metodika řeší problematiku udržování a zvyšování půdní úrodnosti, včetně navazující výživy rostlin a hnojení. Hlavním cílem je vedle zachování zemědělské produkce, nutné pro zabezpečení produkce potravin a krmiv, i ochrana půdy, vody, ovzduší a biodiverzity, vše v podmínkách probíhající klimatické změny. To je plně v souladu s cíli evropské zelené dohody (Green Deal), vyjádřené ve strategiích a legislativě Evropské unie, částečně již přenesené i do prováděcích předpisů jednotlivých členských zemí:

- strategie „od zemědělce ke spotřebiteli“ (Farm to Fork) pro spravedlivé, zdravé a ekologické potravinové systémy
 - požadavek na snížení úniku živin alespoň o 50 % (avšak bez zhoršení úrodnosti půdy)
 - v důsledku snížení ztrát živin pak omezení používání hnojiv alespoň o 20 %, a to do roku 2030
- strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti do roku 2030
- strategie EU ke snížení metanu
- sdělení o udržitelných uhlíkových cyklech
- strategie EU pro půdu do roku 2030
- návrh nařízení EU – rámec pro certifikaci odstraňování uhlíku z ovzduší
 - pohlcování uhlíku – udržitelné postupy v zemědělství podporující vázání organické formy uhlíku do půdy (bezorebné technologie, použití meziplodin, agrolesnictví, ...)
 - snižování emisí skleníkových plynů při hospodaření na půdě
 - CO₂ – způsoby zpracování půdy
 - N₂O – aplikace hnojiv obsahujících dusík, zejména minerálních hnojiv
- evropský klimatický zákon – zavádí právně povinný cíl pro EU snížit emise skleníkových plynů EU o 55 % do roku 2030 a také to, že EU má být klimaticky neutrální do roku 2050
- legislativní balíček FIT for 55 (2021) – revize 14 předpisů
- společná zemědělská politika (SZP) – Strategický plán SZP České republiky na období 2023–2027 a příslušné prováděcí předpisy v ČR.

Metodika s využitím vědeckých poznatků získaných ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. (VÚRV, v.v.i.) shrnuje základní principy hospodaření s organickými látkami a živinami. Z hlediska zemědělské praxe publikace poskytuje návody, jak nakládat s organickými látkami a živinami, včetně doplňujících informací, a to i ve formě webových odkazů. Metodika se odkazuje na legislativu i dotační politiku platnou v době vydání publikace.

2 Vlastní popis metodiky

2.1 Půdní organická hmota

2.1.1 Vznik a složení půdní organické hmoty

V České republice zahrnujeme organické látky v půdě pod celkový pojem **půdní organická hmota** (POH). Přičemž samotný „humus“ (humusové látky), tedy stabilní část organické hmoty s dlouhou dobou rozkladu (desetiletí, staletí, tisíciletí) tvoří jen část půdní organické hmoty. Obsah organického uhlíku (C_{org}) se ve většině orných půd v ČR pohybuje v intervalu 1–2 % C_{org} . V ornici do hloubky 20 cm to představuje 25–60 t organického uhlíku na jeden hektar, v závislosti na objemové hmotnosti půdy (1,3–1,5 g/cm³). Nejméně organické hmoty obvykle nacházíme v lehkých půdách a nejvíce v půdách těžkých, v návaznosti na vyšší obsah jílových minerálů.

Na obsah organické hmoty v půdě mají největší vliv klimatické podmínky, v České republice závislé především na nadmořské výšce, dále pak půdní vlastnosti a způsob obhospodařování půdy. Organická hmota, i přes její malý obsah v půdě významně ovlivňuje řadu vlastností ovlivňujících půdní úrodnost. Úbytek organické hmoty je považován za jeden z nejvýznamnějších faktorů procesu degradace půd.

Základním prvkem půdní organické hmoty je uhlík (C). Pro hodnocení množství půdní organické hmoty je dostačující stanovení obsahu organického uhlíku v půdě. Vedle kvantity je současně důležitá i kvalita organických látek v půdě.

Zvyšování teplot vzduchu a půdy, spojené se změnami klimatu nebo intenzivní hnojení minerálními hnojivy může vést ke snižování obsahu a kvality půdní organické hmoty. Její obsah je 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.

Hodnotit změny obsahu organické hmoty a trendy vývoje má smysl až po více letech (10–40 let). Hodnocení v kratším období není vypovídající vzhledem k organickému hnojení i pěstovaným plodinám.

Optimální poměr organického uhlíku k celkovému dusíku ($C_{org} : N_t$) v ornici je okolo 8–10 : 1. Pokud se však postupně snižuje obsah uhlíku v půdě a zužuje se poměr C : N, snižuje se úrodnost půdy, což má za následek i zhoršování struktury povrchové vrstvy půdy.

S tímto problémem je možné se setkat zejména v zelinářských půdách. Např. na základě odběrů vzorků půd na více než 20 pozemcích s pěstováním zeleniny v oblasti dolního Pojizeří bylo zjištěno, že se obsah uhlíku v ornici pohyboval od 0,4 % do 1,3 % C_{org} a poměr C : N pouze od 3 : 1 do 8 : 1. 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} . Nejnižší hodnoty byly zjištěny na půdách s vyšším obsahem písku, kde byly pěstovány brambory a zelenina pod závlahou, přestože na většině těchto pozemků byla aplikována statková nebo organická hnojiva i pěstovány meziplodiny. K organickému hnojení však byly často používány komposty s úzkým poměrem C : N, pod 10 : 1. 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 podporuje vedle opakované kultivace půdy i intenzivní minerální dusíkaté hnojení. Tento jev se nazývá „priming efekt“. Půdní mikroorganismy 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 (Klír a kol. 2018).

Organická část půdy je tvořena **živou a neživou částí**. Obě složky jsou významné, vzájemně se podmiňují, jsou na sobě závislé a ve svých důsledcích působí na celkovou biologii půdy, mineralizační a imobilizační procesy, včetně transformace organických látek na složité a stabilní sloučeniny v půdě.

Živá část půdy (cca 15 % půdní organické hmoty) je tvořena zejména mikroedafonem (bakterie, houby, aktinomycety, sinice aj.), který se podílí na většině rozkladných, ale i jiných transformačních procesů. V živé části organického podílu půd mají také významné postavení rostliny, které svým kořenovým systémem, jeho utvářením, mohutností a prokořeněním půdního profilu značně ovlivňují biologické i chemické procesy v rhizosféře.

Neživá část půdní organické hmoty (cca 85 %) je tvořena:

- primární organickou hmotou
- humusovými látkami.

Toto základní dělení je důležité z hlediska rozdílného poslání a funkce obou skupin v půdě a nelze je zaměňovat nebo zahrnovat do jedné skupiny.

Primární organická hmota – „potrava“ pro mikroorganismy

Primární organická hmota je tvořena zejména odumřelými částmi rostlin a půdní mikroflóry. Jejimi hlavními zdroji jsou především kořeny rostlin a jejich výměšky (kořenové exudáty), rostlinný opad, neskliditelné rostlinné zbytky (strniště, plevy, pluchy, prázdné šesule, ...), statková hnojiva, včetně na poli ponechaných skliditelných zbytků (sláma, chrást, zelené hnojení, ...), organická hnojiva nebo upravené kaly.

Primární organická hmota podléhá v půdě mineralizaci. Rychlost rozkladu je ovlivněna půdními podmínkami (teplota, vlhkost, provzdušnění, pH apod.) a také složením jednotlivých částí primární organické hmoty.

Primární organická hmota je často označována za dynamickou složku organické hmoty v půdě. Její obsah kolísá v závislosti na přísunu organických látek do půdy a aktivitě mikroorganismů. Význam primární organické hmoty pro úrodnost půdy spočívá v tom, že slouží jako zdroj energie a živin pro půdní mikroflóru. Tím se zvyšuje nejen aktivita, ale i početnost a druhové zastoupení „užitečné“ půdní mikroflóry, a naopak mohou být potlačovány nežádoucí patogeny. Užitečné mikroorganismy rovněž napomáhají rozkladu některých organických polutantů a tím pomáhají detoxikaci půdy. Primární organická hmota je po mineralizaci zdrojem živin pro rostliny. Než dojde k uvolnění živin, umožňuje primární organická hmota jejich zadržování v půdě biologickou sorpcí, čímž brání vyplavení pohyblivějších živin. Primární organická hmota zároveň snižuje objemovou hmotnost půdy, zvyšuje pórovitost a zlepšuje transport vody v půdě. Zvyšuje tak schopnost půdy zadržovat vodu z dešťových srážek a napomáhá její infiltraci.

Humusové látky – stabilní součást půdní organické hmoty

Humusové látky jsou složité vysokomolekulární látky, vznikající dlouhou dobu v procesu humifikace. V průběhu humifikace prochází původní organická hmota řadou rozkladných procesů. Současně však probíhají i syntetické procesy (kondenzace a polymerace), při kterých se spotřebovává energie a tvoří se nové, vysokomolekulární, tmavě zbarvené látky.

Humusové látky jsou obecně rozdělovány do tří skupin, na základě jejich rozpustnosti v kyselinách nebo zásadách:

- fulvokyseliny
- huminové kyseliny
- huminy

Humusové látky jsou v půdě stabilní a odolné mikrobiálnímu rozkladu. Nejsou zdrojem živin z rozkládané organické hmoty, ale mají významné sorpční a iontovýměnné vlastnosti. To znamená, že na svém povrchu mohou poutat ionty, především kationty, čímž vytváří jejich „rezervu“ v půdě. Půdy s vyšším obsahem humusových látek mají obvykle vyšší kationtovou výměnnou kapacitu a vyšší obsah potenciálně přístupných živin. Sorpční vlastnosti významně přispívají k zadržování bazických kationtů (zejména vápníku) a dokážou dlouhodobě stabilizovat (pufrovat) případné změny pH v půdě a půdním roztoku.

Velmi významná je schopnost humusových látek tvořit organominerální komplexy (huminové kyseliny + jílové minerály), které mají vysokou stabilitu, vykazují vysokou pórovitost (velké množství dutin a vnitřních prostorů) a tím vytvářejí předpoklad dobré a stabilní struktury půdy.

Podobně jako primární organická hmota, tak i humusové látky přispívají ke snížení objemové hmotnosti půdy, zvyšují pórovitost, umožňují transport vody v půdě a zvyšují infiltraci vody do půdy. S ohledem na vnitřní strukturu makromolekul humusových látek pak navíc mají schopnost zadržovat vodu. Humusové látky mohou zadržet až dvacetkrát více vody, než je jejich hmotnosti, přičemž většina zadržené vody může být využívána rostlinami. To je rozdíl od minerálního podílu půdy, zejména jílovitých částic, kde značná část vody rostlinami nemůže být využita, neboť zůstává fyzikálně vázána.

Nové pohledy na půdní organickou hmotu

Teorie o vzniku a významu humusových látek v půdě jsou v poslední době zpochybňovány a jsou navrhovány jiné, alternativní teorie a mechanismy vzniku a povahy půdní organické hmoty.

Hlavním argumentem pro revizi zavedených teorií humifikace byla skutečnost, že pro izolaci humusových látek z půdy je používána technika alkalické extrakce. V moderní verzi tento postup zahrnuje přidání roztoku hydroxidu sodného s velmi vysokým pH 13 do vzorku půdy. Kritici teorií humifikace namítají, že alkalická extrakce by měla být nahrazena postupy, které zachycují skutečnou rozpustnost látek v půdě nebo vodě.

V roce 2015 publikovali Lehmann a Kleber tzv. kontinuální model koloběhu organických látek v půdě (model půdního kontinua). Ve svém článku zpochybnili řadu zavedených názorů a koncepcí o půdní organické hmotě, včetně vzniku, a dokonce i existence humusových látek. Model se zaměřuje na schopnost rozkladných organismů získat přístup k organické hmotě v půdě a na ochranu organické hmoty před rozkladem poskytovanou půdními minerály. Autoři tvrdí, že při modelování půdního uhlíku je potřeba přestat používat termíny spojené s humusovými látkami.

Uvedená studie byla v následujících letech podrobena kritickému přezkumu řadou autorů. Např. De Nobili a kol. (2020) pomocí konkrétních zjištění principy modelu půdního kontinua rozporují a model považují za neplatný. Ve vědecké literatuře je dokazována vysoká reaktivita rostlinných a mikrobiálních metabolitů, z nichž v půdě syntézou molekul vznikají humusové látky. Tento klasický pohled na humifikaci je podporován i novými vědeckými důkazy.

Některé nové pohledy na půdní organickou hmotu využívané například v regenerativním zemědělství, založené mimo jiné i na zdůraznění úlohy kořenových exudátů a mykorhizních hub, však mají obecnou platnost. Za určitých podmínek jsou tak využitelné i v konvenčním zemědělství. Základem pro zvyšování obsahu uhlíku v půdě je podpora bohatého půdního života prostřednictvím omezeného zpracování půdy, udržování rostlinného pokryvu po co nejdelší dobu, pěstování druhově bohatých meziplodin, pěstování plodin vzájemných dusík, snížení dávek minerálních N-hnojiv, používání kompostu apod. Cíle zemědělské politiky EU jsou však na jedné straně zaměřeny na zvýšení poutání uhlíku do půdy a na druhé straně na snížení emisí amoniaku. Např. při aplikaci hnoje lze jen obtížně využívat minimalizační technologie zpracování půdy (založení porostu do nezpracované či mělce zpracované půdy, pásové zpracování půdy – strip-till). Pokud se jedná o další bezorebné systémy (hlubší kypření, podrývání), tak vzhledem k nyní používaným nástrojům na zpracování půdy se jejich vliv na provzdušnění půdy a následnou tvorbu CO₂ prakticky již vyrovnává s vlivem orby.

2.1.2 Vstup uhlíku do půdy a jeho přeměny

Půda je největším zásobníkem organického uhlíku na Zemi. Cyklus uhlíku je silně ovlivněn organizmy. Hlavním zdrojem uhlíku pro půdní organickou hmotu jsou však rostliny. Odumřelá biomasa rostlin a dalších organismů je v půdě jak rozkládána, tak na druhou stranu i stabilizována a ukládána. Uhlík vázaný rostlinami v procesu fotosyntézy se již i v době růstu rostlin dostává do půdy kořenovými exudáty, z uvolňovaných povrchových pletiv kořenů nebo odumírajícího kořenového vlášení. Opad listů, např. u řepky (v zimě a po kvetení) pak průběžně obohacuje půdu organickými látkami i živinami. Další část organických látek se do půdy dostává po sklizni plodin, a to ve formě kořenů, strniště, plev, pluch, klasových větven, prázdných šešulí apod.

Přísun organických látek do půdy přímým působením rostlin se obtížně kvantifikuje, může se však jednat až o 40 % z celkového množství rostlinou asimilovaného uhlíku. Z toho asi ¼, tedy 10 % uhlíku z asimilovaného množství může přecházet přímo do půdy ve formě exudátů.

V poslední době se význam kořenových exudátů zvyšuje, a to nejen z hlediska zpřístupnění živin rostlinám, ale i z hlediska zvýšení odolnosti rostlin

vůči biotickému stresu a ukládání uhlíku do půdy (sekvestrace C). Působením kořenových exudátů mohou rostliny potlačovat patogeny, podporovat růst prospěšných organismů i vytvářet vlastní společenstva hub v rhizosféře (mykorhiza). Kořenové exudáty obsahují zejména cukry, aminokyseliny, organické kyseliny, fenolické sloučeniny, proteiny a polysacharidy (sliz). Stabilitu uhlíku z exudátů zvyšuje mykorhiza, využití exudátů jako potravy pro mikroorganismy nebo poutání na půdní částice, jež mají záporný náboj, kdežto u organických sloučenin převládá náboj kladný.

Podobně, jako je tomu u exudátů, produkují i kořeny rostlin v procesu rozkladu stabilnější organické látky, než vznikají při rozkladu nadzemních částí rostlin. Zvláště, pokud kořenové vlášení proroste do půdních agregátů. Vysokou stabilitu vykazují i výměšky trávicího ústrojí žižal (koprolity).

Odumřelé mikroorganismy, části rostlin a exudáty, které nejsou navázány na půdní částice nebo uzavřeny v půdních agregátech jsou však málo stabilní, podléhají rychlému rozkladu a slouží jako „potrava“ pro mikroorganismy.

Dodání organických látek do půdy samotnými rostlinami (bez použití vedlejších produktů, např. slámy, ke hnojení) však většinou nestačí pro plnou náhradu organických látek rozložených v průběhu roku. Proto je nutné dodávat další organické látky ve statkových a organických hnojivech, příp. upravených kalech. Z pěstovaných plodin nejvíce organických látek do půdy dodávají víceleté pícniny, např. vojtěška, jetel nebo travní porosty na orné půdě. Navíc je při jejich pěstování po delší dobu zakrytý povrch půdy ani se neprovádí její zpracování. V důsledku nižších teplot a nižší aerace půdy se tak zpomalují rozkladné, mineralizační procesy. Potřeba dodání dalších organických látek do půdy hnojením však vzniká při pěstování obilnin, olejnin a luskovin. Nejvyšší potřeba je pak spojena s pěstováním okopanin, kukuřice a většiny druhů zeleniny, kde dochází k intenzivnímu zpracování půdy, půda není po delší dobu před zapojením porostů zakrytá rostlinným pokryvem, tedy se může více zahřívat. Po sklizni uvedených plodin se do půdy se vrací jen malé množství rostlinných zbytků.

Mezi statková hnojiva živočišného původu patří např. hnůj nebo kejda. Statkovými hnojivy rostlinného původu jsou sklíditelné rostlinné zbytky použité ke hnojení, tedy vedlejší produkty vznikající při pěstování rostlin (hlavně sláma a chrást) nebo hlavní rostlinné produkty (zelené hnojení). Obecně jsou statkovými hnojivy vedlejší produkty chovu hospodářských zvířat nebo pěstování rostlin, pokud nejsou dále upravovány, přičemž za úpravu se nepovažuje separace kejdy. Organická hnojiva jsou např. kompost nebo digestát. K jejich výrobě je nutná určitá technologie nebo zařízení.

Pro zajištění rozvoje mikroflóry je důležitý poměr uhlíku k dusíku (C : N) v dodávaných látkách, i jejich struktura. Např. ve slámě obilnin je tento poměr 80–100 : 1, v zeleném hnojení 10–25 : 1, ve hnoji podle druhů zvířat 12–24 : 1 a

v kejdě či digestátu pouze 5–8 : 1. Pro mikroorganismy je z hlediska skladby dodávaného substrátu považován za optimální poměr 25 : 1. Proto jsou v praxi vhodné tzv. dvoj- a trojkombinace, např. sláma + kejda nebo sláma + kejda + zelené hnojení. Vzhledem k tomu, že se předpokládá „prodýchání“ cca 2/3 uhlíku, dojde v důsledku mikrobiální aktivity ke snížení poměru C : N z 25 : 1 na 8–10 : 1, což už odpovídá poměru C : N v tělech mikroorganismů (Šimek 2003).

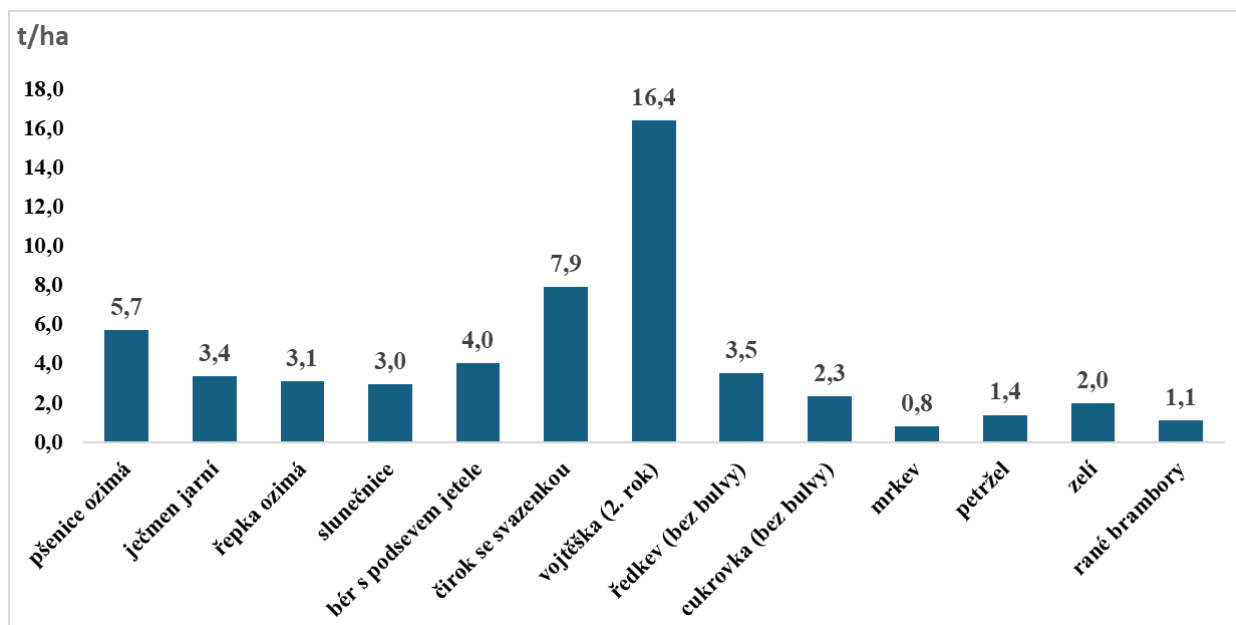
V okolí kořenů rostlin se nachází větší koncentrace mikroorganismů, živících se exudáty a odumřelými částmi kořenů. Význam mají i rozvětvená společenstva hub. To vše zvyšuje stabilitu organických látek pocházejících z kořenů a zpomaluje jejich rozklad. Proto je důležité omezovat zpracování půdy a udržovat po co nejdelší dobu rostlinný pokryv, a to i s využitím meziplodin. Rovněž je třeba permanentně zajistit mikroorganismům dostatek živin a lehce rozložitelných látek, aby se předešlo rozkladu stabilnějších organických látek, které chceme v půdě zachovat po delší dobu.

2.1.3 Potenciál rostlinných zbytků

Pro spolehlivý odhad koloběhu uhlíku, dusíku a dalších živin v půdě je třeba znát údaje o množství posklizňových zbytků, tj. nadzemních částí i kořenové hmoty. Rostlinné zbytky nejsou systematicky v bilancích organické hmoty a živin zohledňovány nebo jsou používány paušální, průměrné, často velmi staré údaje, které nezohledňují nyní pěstované odrůdy, intenzitu pěstování ani např. stále častější vliv sucha. Množství posklizňových zbytků je v bilancích často pouze odhadováno, např. na základě výnosu hlavního produktu. To však neumožňuje spolehlivě posoudit vliv povětrnostních podmínek, agrotechniky nebo technologie sklizně na množství posklizňových zbytků u jednotlivých plodin.

Poznatky výzkumu

Ve VÚRV, v.v.i. bylo řešeno stanovení kořenové biomasy, a to v celé kořenové zóně (do hloubky 100 cm i více). Dále bylo zjišťováno množství látek, vnášených rostlinami v průběhu růstu do půdy formou exudátů, povrchových pletiv kořene a krátkověkých kořenových vlásků. V době zralosti byl u vybraných plodin, včetně zeleniny proveden kovovou sondýrkou odběr vzorků půd s kořeny, a to po vrstvách o mocnosti 10 cm, až do posledního výskytu kořenů dané plodiny v půdním profilu. Byly tak získány cenné údaje o kořenové hmotě plodin, byla určena jejich distribuce v půdním profilu, dosahovaná hloubka a popřípadě i specifická délka kořenů (délka kořenů na jednotku hmotnosti). Dosavadní výsledky odběrů kořenů plodin (obrázek 1) ukazují, že kořeny hrají významnou roli jak z hlediska dodávky organické hmoty do půdy, tak i z hlediska zpřístupnění živin pro následné plodiny.



Obr. 1: Celková hmotnost suché hmoty kořenů a bází rostlin u vybraných plodin (průměrné hodnoty z více odrůd a lokalit)

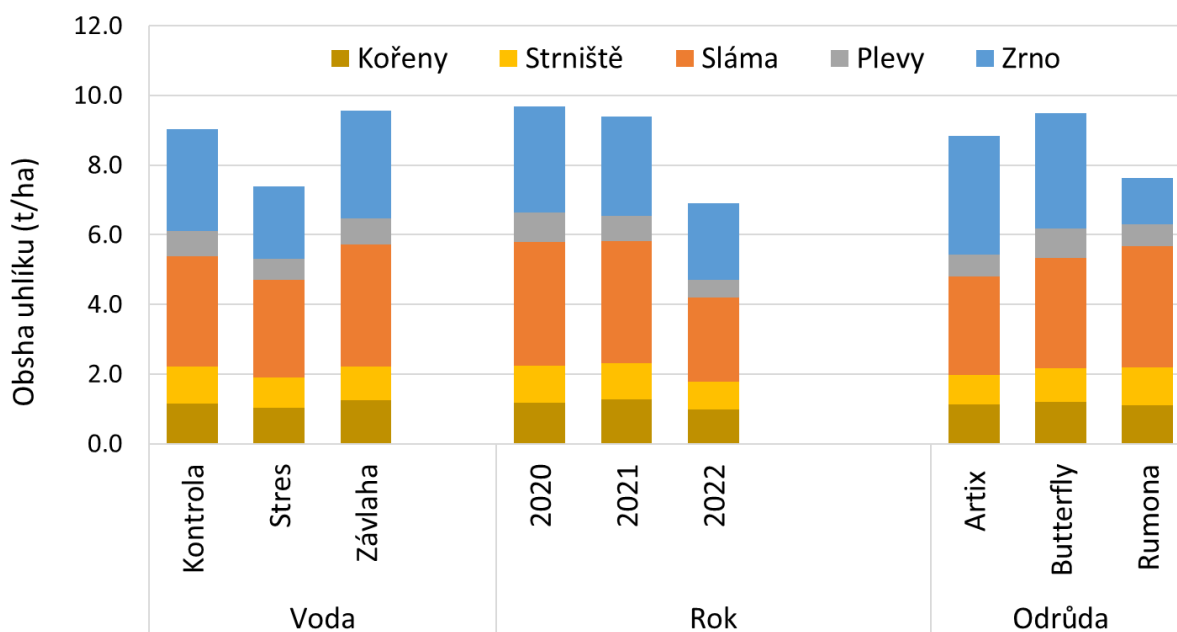
Nejvyšší množství kořenové hmoty (vyjádřeno v tunách sušiny na hektar) bylo zaznamenáno u vojtěšky pěstované druhým rokem. Zde se již vyskytovaly silnější kořeny vojtěšky dosahující do větší hloubky půdního profilu, které přispěly k vysoké hmotnosti kořenové hmoty.

Kořeny jsou považovány za účinný způsob dočasné sekvestrace uhlíku v hlubších vrstvách podorničí, kde současně přispívají k vytváření biopórů, nápravě utužení a k oživení půdy. Je tak otázkou, o jaké množství uhlíku v půdě jsme přišli snížením výměry jetelovin, produkujících velké množství biomasy kořenů v hlubších vrstvách půdy.

Dodání organické hmoty do půdy rostlinami je vhodné přepočítávat na obsah uhlíku, který představuje jednotící bázi pro porovnání různých materiálů. Obvykle se počítá s tím, že uhlík tvoří polovinu suché hmoty biomasy plodin. Není ale známo, zda a do jaké míry ovlivňují obsah uhlíku v rostlinách půdně klimatické podmínky, systém pěstování (například intenzita hnojení) a druh nebo odrůda. U ozimé pšenice jsme zjistili poměrně stabilní obsah uhlíku v nadzemních částech (43–46 % C) i u hmoty kořenů (okolo 35 % C), přičemž rozdíly v obsahu uhlíku vlivem odrůdy, ročníku, dostupnosti vody i hnojení dosahovaly nejvýše 1–5 %. Rozhodující však byl vliv těchto faktorů na množství a vzájemný poměr hmotnosti zrna, slámy, plev, strniště a kořenů. Výrazný rozdíl v množství zbytků a tím i dodání uhlíku ukázalo porovnání moderních odrůd ozimé pšenice (*Triticum aestivum* L.) Butterfly a Asterix a pšenice jednozrnky (*Triticum monococcum* L.), odrůdy Rumona (Obr. 2). Význam těchto rozdílů se bude zvyšovat s tím, jak poroste zájem o druhy a odrůdy odolnější stresům, alternativní postupy pěstování a dieteticky hodnotné produkty.

Část celkového množství uhlíku, které plodiny fixují ze vzdušného CO₂, je exportována ze systému (pole) ve formě hospodářského výnosu. Část uhlíku zůstává na poli ve formě posklizňových zbytků a přispívá k sekvestraci C v půdě. Množství posklizňových zbytků je většinou počítáno pouze jako konstantní podíl z hospodářského výnosu, například u zrnin se výnos slámy odhaduje na základě sklizňového indexu (HI). Naše výsledky ukázaly, že plevy a hmota strniště (včetně části stébla pod povrhem půdy) představují okolo 50 % uhlíku v porovnání se dodáním uhlíku do půdy ve slámě. Hmotnost plev činila v průměru 1,44 až 1,98 t/ha, což u odrůdy Rumona odpovídalo 49,6 % hmotnosti zrna, u Butterfly a Artixu 26,9 % a 19,6 % (Raimanová a kol. 2024).

Průměrná suchá hmotnost kořenů pšenice se pohybovala okolo 2,35 t/ha. Literární údaje o biomase kořenů jednotlivých druhů a poměru kořenové a nadzemní hmoty rostlin se pohybují ve značném rozmezí. Stanovení celkové biomasy kořenů, které pronikají hluboko do podorničí je pracovně a technicky náročné. Uvádí se, že z celkového množství uhlíku fixovaného rostlinami v procesu fotosyntézy, 1/3 i více vytvořených asimilátů je transportována do podzemních částí rostlin a rhizosféry (Pausch a Kuzyakov 2018). Význam kořenů pro půdní organickou hmotu a mikroflóru je tedy významně větší, než ukazuje samotná hmota kořenů.



Poznámka:

Strniště zahrnuje část stébel 10 cm nad povrchem půdy a část stébel pod povrchem půdy.

Obr. 2: Vliv dostupnosti vody (nedostatek vody – stres, závlaha a kontrola závislá pouze na srážkách), odrůdy a ročníku na množství uhlíku v zrna, slámě a posklizňových zbytcích odrůd pšenice (t/ha)

Doporučení pro praxi

Pro zpřesnění obsahu uhlíku u pšenice doporučujeme pro výpočty bilancí uhlíku použít pro zrno obsah 45 % C, pro slámu a strniště 46 % C a pro plevy 43 % C v suché hmotě. U biomasy kořenů pšenice lze pro přepočet použít hodnotu 35 % C. Pro stanovení posklizňových zbytků u ozimé pšenice a výpočet reálné bilance uhlíku a podílu C zadrženého ve zbytcích a exportovaného ve formě zrna je třeba zohlednit i podíl hmoty rostliny (porostu) v plevách, strništi a kořenové hmotě i vliv odlišných podmínek, zvláště sucha. Hodnota sklizňového indexu (HI) se v průměru pohybuje okolo 0,40–0,45 u současných odrůdy ozimé pšenice a 0,20 u pšenice jednozrnky. Zpřesnění těchto bilancí může přispět ke standardizaci fungování certifikačních schémat v případech uhlíkových kreditů.

2.1.4 Využití slámy jako statkového hnojiva

Sláma obilnin představuje jednu z možností, jak vracet organickou hmotu zpět do půdy. Její nevýhodou je vysoký poměr uhlíku k dusíku (C : N). Proto je pro podporu jejího rozkladu používána vyrovnávací dávka dusíku, která tento poměr přibližuje C : N vhodnému pro půdní mikrobiální aktivity (20–30 : 1). Mikroorganismy však mohou pro rozklad slámy využít i dusík obsažený v půdě. V dřívějších odborných publikacích byly uváděny vyrovnávací dávky dusíku na podporu rozkladu slámy v rozmezí 5–10 kg N/t slámy až 10–15 kg N/t slámy (Hlušek 2004). Dávka aplikovaná v současné zemědělské praxi většinou představuje 8–10 kg N/t slámy. Někteří autoři již zvažují i množství N, které se může uvolnit z půdy a doporučují dávky dusíku na slámu v množství 4–6 kg N/t slámy (Vaněk a kol. 2012).

Aplikace tekutých statkových hnojiv (kejda) nebo kapalných organických hnojiv (digestát) je spojena s úniky amoniaku, jež jsou největší při aplikaci na povrch půdy při teplém a větrném počasí, avšak lze je eliminovat okamžitým zapravením do půdy. Kromě toho zde vzniká i riziko následného vyplavení nitrátů.

Probíhající klimatická změna (zejména nárůst teplot) může působit na mineralizační procesy v půdě, a tím ovlivňovat rozklad posklizňových zbytků (Gao a kol. 2016) a zvyšovat emise skleníkových plynů (Wang a kol. 2021). Důležitým faktorem pro rozklad posklizňových zbytků je vlhkost půdy. Vliv povětrnostních podmínek na dynamiku rozkladu posklizňových zbytků je proto zřejmý a zvláště je třeba sledovat mineralizační procesy v půdě ovlivněné dusíkem pocházejícím z hnojiv (Neff a kol. 2002).

Poznatky výzkumu

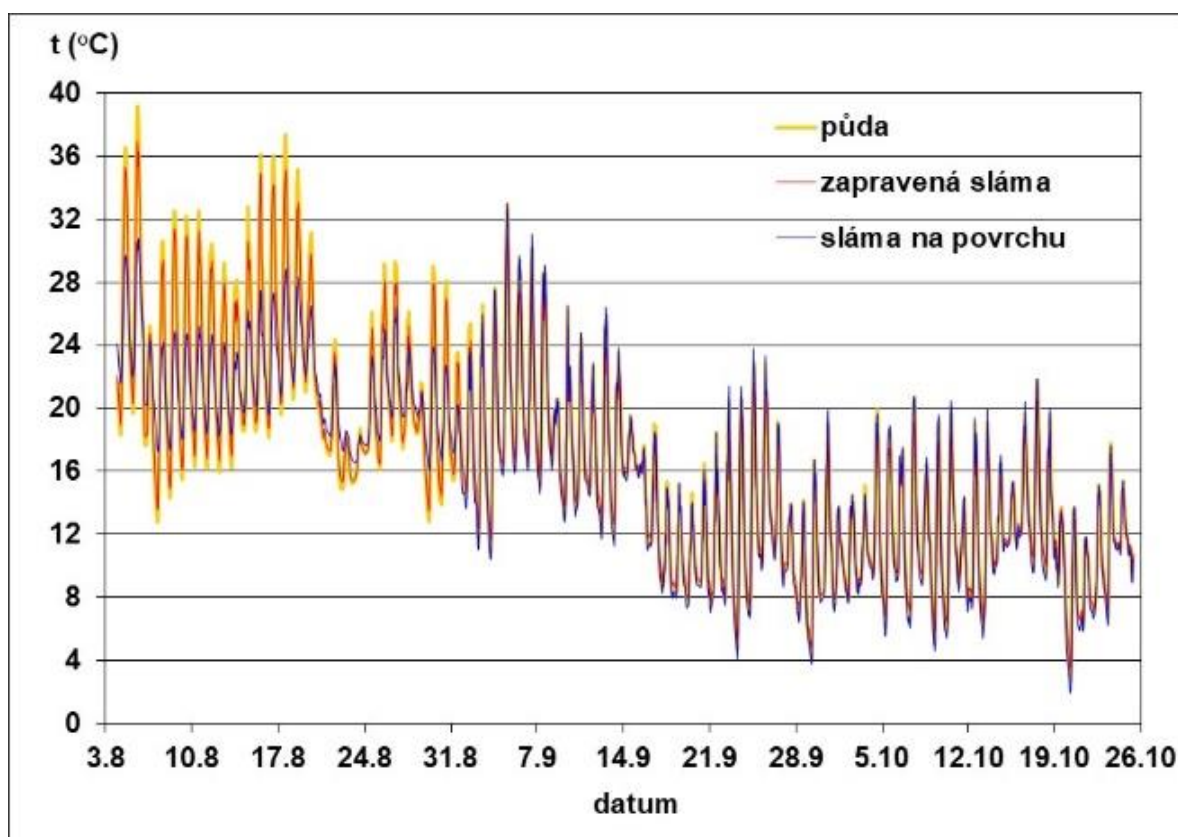
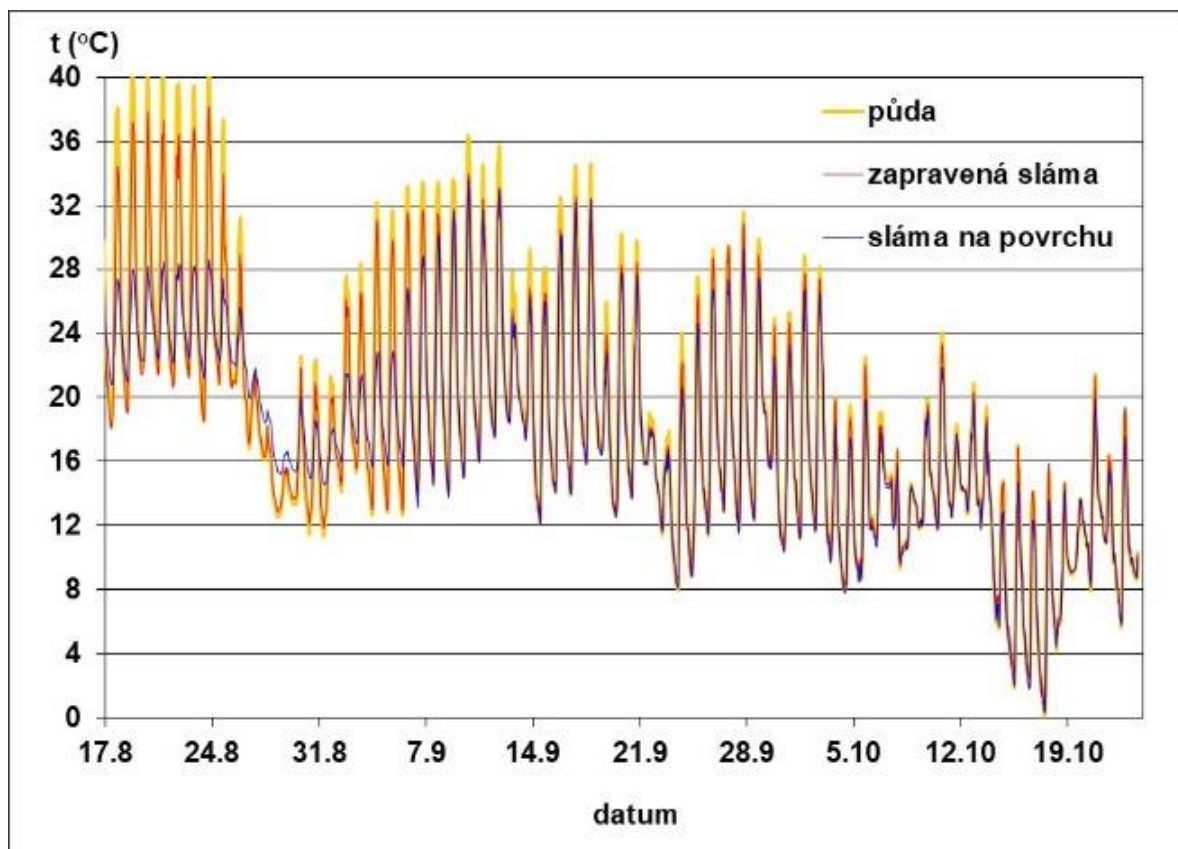
Rozklad slámy v letním a podzimním období je, kromě dalších faktorů, ovlivněn teplotou a především srážkami. Přitom je snahou, aby se větší část slámy rozložila do jara, jinak může rostlinám konkurovat jak o dusík, tak o vodu, což se nepříznivě projevuje zejména v oblastech s jarními přísušky. Při zapravení slámy do půdy po sklizni podmínkou je v teplých letních dnech teplota půdy v hloubce 5 cm vyšší až o 8 °C, v porovnání s mulčem se slámou ponechanou na povrchu (Obr. 3). Pokud není pokryt mulčem může se povrch půdy ohřívat až na teploty vyšší než 50 °C. Proto je žádoucí zapravit slámu až později v období nižších teplot a zamezit tak nadměrnému prohřívání půdy, které navíc vede ke ztrátám vody z půdy.

V letech, kdy je nízký úhrn srážek, a naopak vysoké teploty, je rozklad slámy velmi pomalý, a to i po aplikaci vyrovnávací dávky dusíku. Nicméně, i v letech, kdy je více srážek, se v letním a podzimním období často rozloží jen okolo 30 % slámy, při dlouhodobém suchu i méně než 20 % (Obr. 4). Vysoký úhrn srážek naopak může způsobit, že část dusíku z hnojiv se proplaví pod vrstvu půdy se zapravenou slámou a nepodpoří její rozklad.

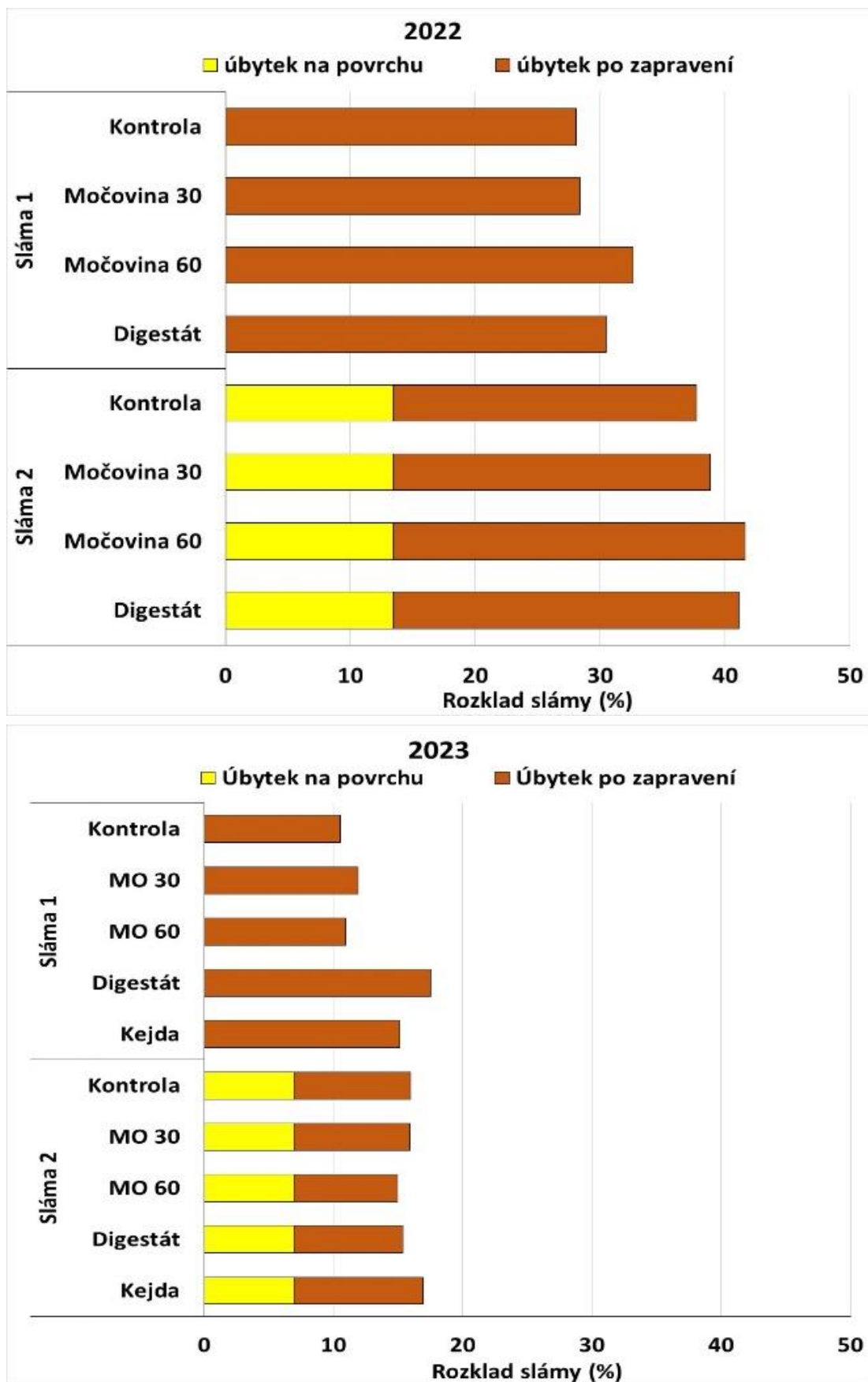
Srážky ovlivňují také vyplavení nitrátů v půdě, kdy u slámy zapravené krátce po sklizni a hnojené močovinou nebo digestátem může dojít k posunu části dusíku do hlubších vrstev půdy. Naopak u slámy zapravené společně s hnojivy až po několika týdnech zůstalo více dusíku ve vrstvě se slámou (Obr. 5).

Většina dusíku je v půdě vázána v organických vazbách, pouze malá část je v podobě minerálního N, tedy dostupná pro rostliny. Hlubší a intenzivnější zpracování půdy, zejména v teplých dnech, kdy dochází ke kypření a provzdušňování půdy, podporuje aerobní mineralizační procesy v půdě, spojené s uvolňováním oxidu uhličitého a živin z půdní organické hmoty.

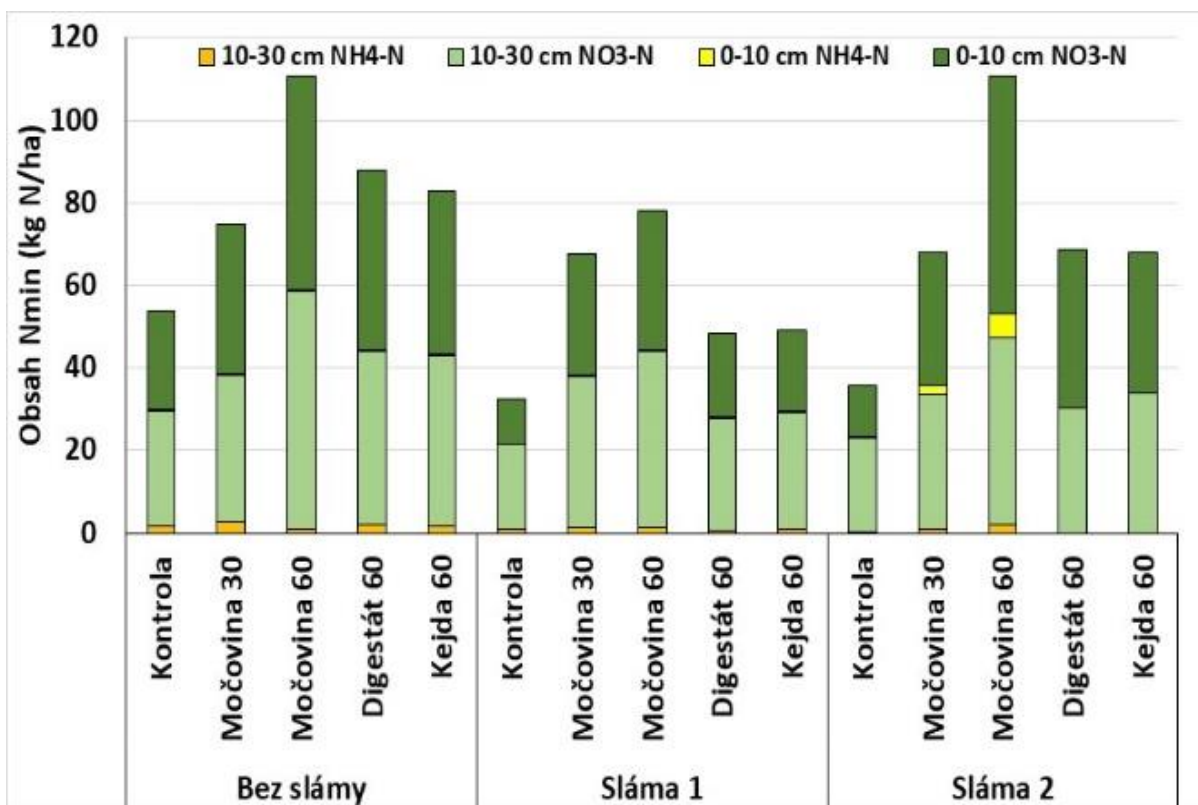
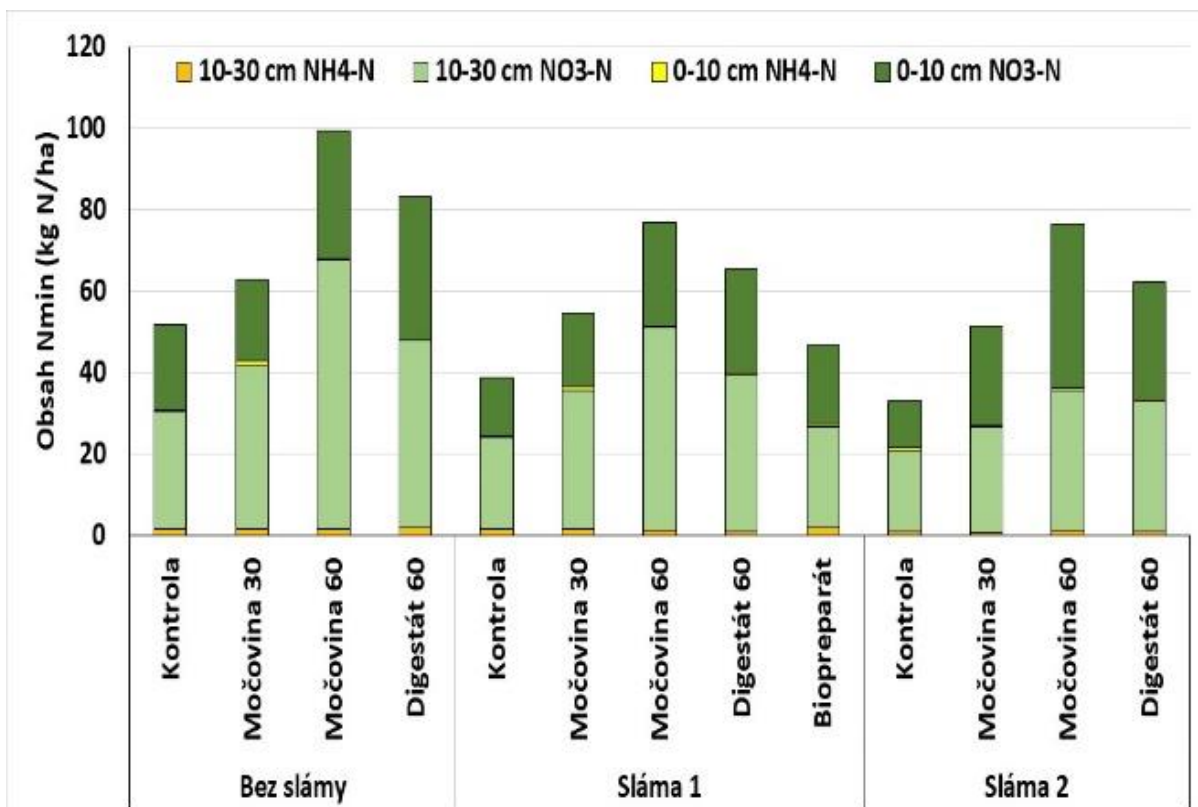
Pokud jde o dusík, při obvyklém poměru C : N v půdě okolo 8–10 : 1 (často spíše užším), se pak na každých 8–10 kg uvolněného C jako CO₂ může uvolnit současně 1 kg N i více. V teplých letních dnech se např. po orbě před setím ozimé řepky nebo meziplodin v odpoledních hodinách, pokud půda nepřeschne, může uvolnit v emisích CO₂ přibližně 5–8 kg C/ha/hod., tedy i několik desítek kg uhlíku za den. Toto množství může znamenat podle poměru C : N v dané půdě uvolnění 5–10 kg N/ha/den. Mělké zpracování v závislosti na poměru C : N, aktuální teplotě a vlhkosti půdy mineralizaci dusíku snižuje na 3–6 kg N/ha/den a po mulčování až na 2–4 kg N/ha/den.



Obr. 3: Teplota půdy v 5 cm v průběhu polního pokusu v Praze-Ruzyni 2022, (nahore) a 2023 (dole)



Obr. 4: Rozklad slámy v letech 2022 (nahore) a 2023 (dole)



Obr. 5: Obsah N_{min} v půdě v Praze-Ruzyni v letech 2022 (nahore) a 2023 (dole)

Doporučení pro praxi

Povětrnostní podmínky daného ročníku jsou určující pro rozklad slámy obilnin. Významnou úlohu v rozkladu slámy proto hraje i termín, kdy je sláma zapravena. Současně se ukazuje, že za sucha jsou rozdíly mezi hnojenými a nehnojenými půdami minimální.

Podobných, často i lepších výsledků, jako po zapravení slámy krátce po sklizni společně s dusíkatými hnojivými, lze dosáhnout i mulčováním slámy na povrchu půdy.

Mulčování slámy, případně ponechání strniště s rozdrčenou slámou s pozdějším zpracováním půdy by pro rozklad slámy mělo být upřednostněno z následujících důvodů:

- půda bez zpracování s mulčem na povrchu se v teplém letním období méně zahřívá a lépe zadržuje vodu,
- půda je více chráněna proti větrné a vodní erozi,
- zpracování půdy, které ovlivňuje rozklad půdní organické hmoty, se provádí později při nižších teplotách a způsobuje nižší emise CO₂, v porovnání se zpracováním půdy bezprostředně po sklizni za vysokých letních teplot,
- pozdější zpracování půdy vede k nižší intenzitě mineralizace organické hmoty a je tedy nižší riziko tvorby nitrátů a jejich následné ztráty vyplavením, zejména po intenzivních letních deštích,
- slámu na povrchu půdy je nutné rovnoměrně rozmístit, aby nedocházelo k jejímu lokálnímu nahromadění, což vytváří vhodný kryt pro hraboše polního, kterého je nutné v případě výskytu včas likvidovat.

Do kalkulace potřeby dusíku na podporu rozkladu slámy je třeba započítat i dusík, který se může uvolnit mineralizací organické hmoty po zpracování půdy, přičemž je třeba počítat i s hloubkou jejího zpracování. V létě toto množství může na úrodných půdách představovat i několik kg N/den, což je třeba zohlednit při korekci nebo vypuštění hnojení dusíkem.

Hnojení minerálními dusíkatými hnojivými (v amonné nebo amidické formě) na podporu rozkladu slámy by nemělo přesáhnout 4–5 kg N na jednu tunu slámy. V období sucha pak hnojiva neaplikovat, nebo aplikovat případně až po zapravení slámy po jejím několikátýdenním mulčování.

Pokud následuje ozimá řepka nebo meziplodina s vyššími nároky na výživu dusíkem, je možné zvýšit dávku N na 6–10 kg N/t slámy. Toto doporučení pro vyšší dávku dusíku se týká také statkových a organických hnojiv, u nichž je část dusíku v organické formě. Přitom nižší dávky výše uvedeného rozmezí se doporučují, pokud následně není zasetá žádná plodina, vyšší je možné aplikovat před setím ozimů nebo meziplodin.

Digestát má díky vyšší vlhkosti a lepším adhezním vlastnostem příznivý vliv na rozklad slámy, zejména pokud byl aplikován na slámu ponechanou několik týdnů na povrchu půdy, s následným zapravením. Tekutá statková i kapalná organická hnojiva by měla být zapravena do půdy co nejdříve po aplikaci na slámu, nejlépe v jedné operaci. Během prvních šesti hodin totiž dochází k největším ztrátám dusíku volatilizací amoniaku. Doba 24 hodin pro zapravení tekutých statkových a kapalných organických hnojiv požadovaná legislativou je neúčinná jak z hlediska ochrany ovzduší, tak i zbytečných ztrát dusíku. Současná legislativa hnojiv po úpravě z roku 2021 již požaduje v případě hnojiv pocházejících ze zařízení podle zákona o integrované prevenci zapravení nejpozději do 12 hodin.

Více informací najdete v metodice „Rizika a přínosy aplikace dusíkatých hnojiv na podporu rozkladu slámy“ (Mühlbachová a kol. 2021).

2.1.5 Vliv způsobů hospodaření na obsah uhlíku v půdě

Sekvestrace uhlíku, tedy jeho ukládání do půdy je v posledních desetiletích nepříznivě ovlivněno zejména klimatickou změnou, projevující se postupným nárůstem průměrných ročních teplot vzduchu, a tedy i zvyšováním teploty půdy.

Poznátky výzkumu

Z hlediska udržování, příp. zvyšování obsahu organické hmoty v půdě má velký význam konzervační zpracování půdy, pěstování vhodných meziplodin, zařazení víceletých píceň a hnojení kvalitními organickými či statkovými hnojivy, jako je vyzrálý a stabilizovaný kompost nebo hnůj.

Střídání plodin a hnojení

Významným zdrojem informací pro hodnocení změn obsahu půdní organické hmoty jsou dlouhodobé polní pokusy. Ve VÚRV, v.v.i. byla provedena studie zabývající se hodnocením vývoje obsahu organického uhlíku v půdách dlouhodobého polního pokusu v Praze-Ruzyni (od roku 1954), na luvizemi (Šimon a kol. 2024).

V polním pokusu jsou provozovány dva odlišné osevňovací postupy:

- dvouletá rotace řepy cukrové a jarní pšenice
- devítileté střídání více plodin, včetně vojtěšky

V rámci vyhodnocení byly sledovány čtyři varianty hnojení:

- nehnojená kontrola
- pouze minerální hnojení (NPK)
- aplikace statkových hnojiv (hnůj)
- aplikace statkových a minerálních hnojiv (hnůj a NPK)

Bylo zjištěno, že zásoba organického uhlíku v půdě na pozemcích dlouhodobého pokusu, kde jsou střídány pouze dvě plodiny se na organicky nehnojených variantách postupně vyčerpává. Naopak, organicky hnojené varianty vykazaly zvyšování obsahu uhlíku. Na variantě organicky a minerálně hnojené (hnůj + NPK) se však zvyšování obsahu uhlíku zpomalilo a v poslední době se obsah uhlíku v půdě zase snižuje. To může souviset s vyšším rozkladem organické hmoty vlivem dodávání minerálního dusíku v kombinaci s dalším nárůstem teplot po roce 2000. Stejný vliv lze sledovat i na variantě pouze minerálně hnojené (NPK). Změny obsahu uhlíku v půdě (C_{org}/ha) jsou hodnoceny tak, že průměrný obsah uhlíku v uvedené dekádě je porovnáván s výchozím obsahem uhlíku v roce 1955 (36 t C_{org}/ha , v půdní vrstvě 0–20 cm):

Sledované období	Nehnojeno	NPK	Hnůj	Hnůj + NPK
1991–2000	-4,37	-1,57	+3,14	+4,71
2011–2020	-5,11	-3,70	+4,86	+0,92

Na pozemcích se střídáním více plodin, se zařazení vojtěšky bylo na všech hnojených variantách zjištěno zvyšování zásob uhlíku, i když se mezi způsoby hnojení projevily významné rozdíly. Na rozdíl od pozemků se střídáním pouze dvou plodin byl i v případě samotné aplikace minerálních hnojiv pozorován pozvolný nárůst obsahu uhlíku. Při organickém hnojení i při kombinovaném organickém a minerálním hnojení se sekvestrace uhlíku zvýšila výrazněji, i když se v průběhu poslední dekády její trend zastavil a stabilizoval. Změny obsahu uhlíku v půdě (C_{org}/ha) jsou hodnoceny tak, že průměrný obsah uhlíku v uvedené dekádě je porovnáván s výchozím obsahem uhlíku v roce 1955 (35 t C_{org}/ha , v půdní vrstvě 0–20 cm):

Sledované období	Nehnojeno	NPK	Hnůj	Hnůj + NPK
1991–2000	-1,82	+1,01	+2,84	+5,58
2011–2020	-0,33	+1,55	+4,67	+7,55

Nárůst teplot vzduchu a půdy v posledních třech desetiletích měl ve sledovaném dlouhodobém polním pokusu významný vliv na vývoj půdního organického uhlíku. Změny obsahu organického uhlíku a jeho sekvestrace v půdě byly závislé na způsobu hnojení i struktuře pěstovaných plodin. Bylo zjištěno, že i negativní vliv oteplování lze omezit zejména pravidelnou aplikací hnoje a částečně i diverzifikovaným osevním postupem se zařazením víceleté pícniny.

Z mnoha polních pokusů, i sledování v praxi vyplývá, že pro udržení obsahu a kvality organické hmoty v půdě je nejvhodnější používání hnoje skotu v kombinaci s minerálním hnojením (NPK), zvláště na méně úrodných půdách (kambizemě) ve vyšších polohách. Při používání jiných hnojiv (kejda, digestát, sláma) jsou pozorovány tendence ke snižování obsahu C_{org} i kvality organické hmoty. Tyto organické látky je třeba používat vhodným způsobem, zejména v kombinacích.

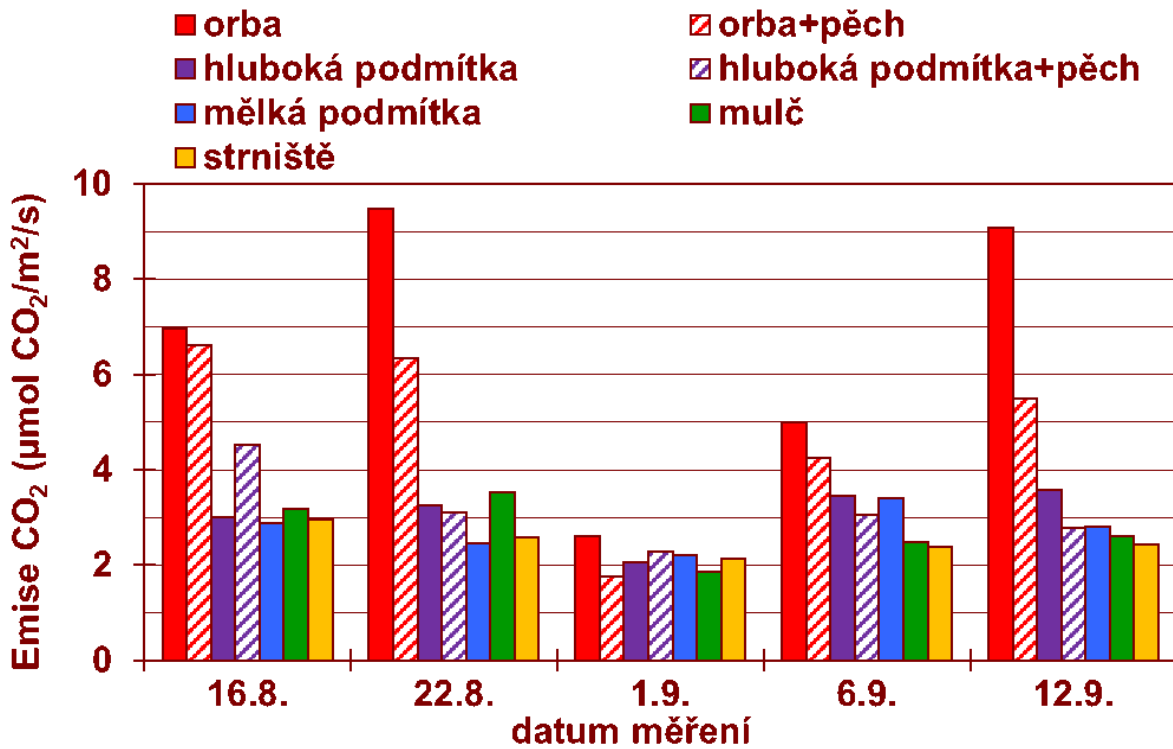
Způsoby zpracování půdy

Systémy hospodaření na půdě by do budoucna měly být více spojeny s lepším zadržováním uhlíku, živin a vody v půdě, než tomu je při používání většiny současných pěstitelských postupů. Jen v důsledku zvyšování teplot, častějšího výskytu teplejších podzimů a zim bez sněhu bychom měli do půdy vracet více organických látek než například před 40 lety. V osevních postupech chybí víceleté pícniny, které jsou stabilizátorem půdní úrodnosti a zlepšují mimo jiné i půdní strukturu v prokořeněném půdním profilu.

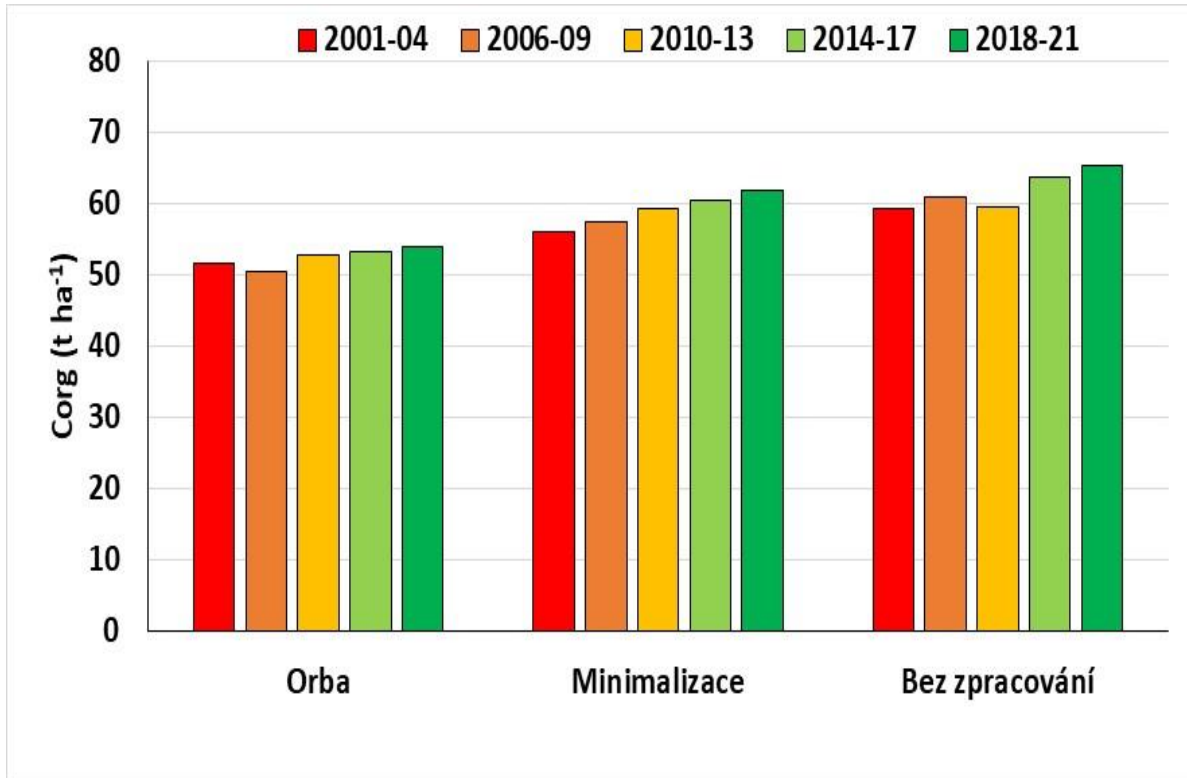
Půdy s horší strukturou a následným utužením se sice snažíme dočasně řešit podrýváním a hlubokým kypřením, ale tím současně podporujeme rozklad organických látek. Bez jejich dostatečného navracení zpět do půdy nejsou tyto technologie trvale udržitelné a kvalita půdy včetně obsahu C_{org} a schopnosti zadržení vody ze srážek se bude dále zhoršovat.

Zpracování půdy je důležitým faktorem významně ovlivňujícím půdní vlastnosti. Při orbě a hlubokém kypření dochází k vyšším ztrátám uhlíku ve formě emisí CO_2 v důsledku intenzivnějšího rozkladu organických látek. Ty je třeba vzhledem k udržitelnosti půdní úrodnosti vracet do půdy ve větším množství, než např. při pásovém nebo redukovaném (mělkém) plošném zpracování, popř. při přímém setí do mulče nebo strniště bez zpracování půdy. Největší riziko větších emisí CO_2 a ztrát uhlíku vzniká v teplém letním až podzimním období při zpracování půdy před setím ozimů a meziplodin. V grafu na obrázku 6 jsou znázorněny emise CO_2 po orbě, mělké (do 5–6 cm) a hlubší (do 10–12 cm) podmítce, v porovnání s mulčováním a ponecháním strniště. Po orbě nebo hlubokém kypření a podrývání jsou emise zpravidla vyšší. Tyto ztráty uhlíku způsobené intenzivním provzdušněním půdy je však možné snížit, zejména použitím půdních pěchů. Emise CO_2 omezuje i chladnější počasí s častými dešťovými srážkami (viz měření k 1. 9.). Proto bychom měli orbu a podrývání půdy, pokud je to možné, provádět až v pozdějším období. V letním období při vysokých teplotách vzduchu by povrch půdy neměl zůstat bez pěstovaných plodin nebo ponechaných rostlinných zbytků.

Z výsledků dlouhodobých pokusů v Praze-Ruzyni s různým zpracováním půdy od roku 1995 vyplývá, že při osevním postupu ozimá pšenice – ozimá řepka – ozimá pšenice – hrách s ponecháním veškeré slámy, ale bez dalšího organického hnojení dochází u bezorebných technologií v půdní vrstvě 0–30 cm k vyšší sekvestraci uhlíku v půdě než po orbě (obr. 7). U orby zpočátku docházelo ke snižování obsahu C_{org} , což se ale změnilo snížením hloubky orby na 20 cm, použitím pěchů v suchých letech a pěstováním vyšších hybridů ozimé řepky, s větší hmotností rostlinné biomasy.



Obr. 6: Emise CO₂ z půdy při různém zpracování po ozimé pšenici (Praha-Ruzyně, 2023)



Obr. 7: Obsah C_{org} v půdní vrstvě 0–30 cm po různém zpracování (orba, minimalizace do 10 cm, bez zpracování, Praha-Ruzyně)

2.1.6 Zdroje pro dodání organické hmoty do půdy

Organickou hmotu lze do půdy vracet různými způsoby, rovněž je vhodné pomoci konzervačních technologií zpracování půdy omezovat její rozklad.

Významným zdrojem organických látek a živin potřebných při pěstování plodin jsou statková a organická hnojiva. Pozitivně ovlivňují řadu půdních vlastností, čímž udržují půdní úrodnost. Vzhledem k tomu, že používání těchto hnojiv je sezónní, ale jejich produkce probíhá kontinuálně po celý rok, je nutné zajistit pro tato hnojiva dostatečnou skladovací kapacitu na období, kdy není možná jejich aplikace na půdu. V případě tuhých statkových hnojiv (čerstvá chlévská mrva / hnůj od různých druhů zvířat, drůbeží trus s podestýlkou či bez podestýlky, separát kejdy) a organických hnojiv (kompost, separát digestátu) legislativa umožňuje uložení na zemědělské půdě před jejich použitím.

Hnůj vzniká zráním neboli fermentací chlévské mrvy na pevném hnojišti, polním složišti nebo ve stáji s hlubokou podestýlkou. Pro vznik a využití kvalitního hnoje je důležité uchování co největšího množství organických látek a živin. Působením mikroorganismů dochází průběžně k rozkladu organických látek, přičemž největší intenzita probíhá za přístupu vzduchu (aerobní podmínky). Za těchto podmínek dochází k značným ztrátám organických látek i živin. Při skladování hnoje je proto důležité vytěsnit vzduch, čehož můžeme v praxi dosáhnout vrstvením hnoje do výšky, a to jak na pevných hnojištích, tak i na polních složištích. Při ukládání hnoje na polních složištích bez vrstvení bývá úbytek organických látek velmi vysoký, často i 50 až 60 %.

I při skladování hnoje správným způsobem dochází k redukci jeho hmotnosti a ke ztrátám cenných organických látek a živin. Hmotnost hnoje se snižuje v průměru cca o 30 %. Živinové ztráty jsou tvořeny zejména dusíkem (23–36 %). Ztráty draslíku a fosforu jsou výrazně nižší, u draslíku v průměru 12 %, u fosforu 14 %. K nejvyšším ztrátám hmoty a živin dochází v teplejším období roku, kdy dochází především k vyšším emisím látek do ovzduší. Určitou část z celkových ztrát tvoří také únik způsobený průsakem hnojůvky do půdy v místě složiště a v určitých případech i mimo složiště, odtokem hnojůvky do okolí. Pak vzniká i riziko ohrožení kvality povrchových a podzemních vod. Správným ukládáním a ošetřováním uloženého hnoje na poli lze však dosáhnout toho, že ztráty organických látek a živin budou téměř srovnatelné se ztrátami na pevných hnojištích (Svoboda a kol. 2022).

Základní požadavky na nakládání s organickou hmotou a jejími zdroji:

- zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech) a prováděcí vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv (*produkce statkových hnojiv, skladování a používání hnojiv, evidence hnojení*)

- zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a prováděcí nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu (*skladování a používání statkových a organických hnojiv*)
- nařízení vlády č. 73/2023 Sb., o stanovení pravidel podmíněnosti plateb zemědělcům (*povinné požadavky na hospodaření č. 1 a 2, podmínky pro zachování dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy: půdoochranné technologie, úhory, meziplodiny, ...*)
- nařízení vlády č. 83/2023 Sb., o stanovení podmínek poskytování přímých plateb zemědělcům (*hospodaření s organickou hmotou v půdě, v rámci základní celofaremní ekoplatby*)
- zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech a prováděcí vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (*nakládání s upravenými kaly atd.*)

Hlavní zdroje organických látek (podle platné terminologie a číselníků):

- **statková hnojiva rostlinného původu**
 - vedlejší rostlinné produkty (skliditelné rostlinné zbytky)
 - sláma z obilnin, olejnin a luskovin
 - sláma ostatních plodin pěstovaných na zrno nebo semeno
 - rostlinný zbytek po sklizni jetelovin nebo trav na semeno
 - chrást, nať
 - zbytky po sklizni zeleniny apod.
 - rostlinný zbytek po sklizni chmele (kultura C)
 - hlavní rostlinné produkty
 - zelené hnojení (meziplodina, příp. i hlavní plodina)
 - tráva (kultury T, G, příp. R)
 - poslední obrost víceletých píceň
 - nesklizená hlavní plodina (např. neprodaná zelenina)
 - zelená hmota na úhoru (kultura U)
- **statková hnojiva živočišného původu**
 - tuhá: hnůj, separát kejdy, drůbeží trus
 - tekutá: kejda (skotu, prasat), fugát kejdy
- **organická hnojiva**
 - tuhá: kompost, separát digestátu, tuhý digestát, sušený hnůj
 - kapalná: digestát, fugát digestátu, melasové výpalky
- **organominerální hnojiva**, např. výpalky obohacené
- **upravené kaly**

2.1.7 Stanovení potřeby dodání organické hmoty do půdy

Základní principy

Hlavní princip stanovení potřeby dodání organické hmoty do půdy je založen na zásobách a tocích uhlíku a dusíku v systému půda-rostlina. Udržování zásob organického uhlíku v půdě je klíčový faktor dlouhodobé úrodnosti půdy. Pro hodnocení hospodaření s půdní organickou hmotou v zemědělské praxi jsou vhodné nástroje pracující s běžně dostupnými vstupními daty, jako je střídání plodin, výnosy, druh a množství aplikovaného hnojiva (Brock a kol. 2012). Bilance organické hmoty v půdě slouží jako praktický nástroj pro hodnocení dopadů na životní prostředí, péči o půdní úrodnost a podporu řízení procesů v zemědělství (Brock a kol. 2017).

Dnes jsou již na internetu nebo v rámci různých systémů evidencí hnojení k dispozici různé nástroje a programy pro snadné bilancování organické hmoty i živin na úrovni pozemků a osevních postupů (Tilman a kol. 2002), zemědělských závodů nebo regionů (Klír a Wollnerová 2022).

Ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. byl vytvořen prakticky využitelný model pro výpočet bilance organické hmoty (Model OH) na úrovni zemědělského závodu a následně i na úrovni víceletého osevního sledu na dílu půdního bloku. K dispozici je rovněž komplexní výpočet bilance organické hmoty a živin N, P, K, s korekcí na výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd. Tyto programy jsou ke stažení na webu www.vurv.cz: Poradenství – Software (bilance). Na základě vývoje a změn aktuálních legislativních požadavků jsou průběžně upravovány. Je třeba zdůraznit, že modely připravované v přímé návaznosti na novou legislativu byly s ohledem na její aktuálnost vytvořeny jako provizorní a vyžadují „ruční“ vkládání dat z podnikových evidencí. Cílem však je připravit aplikaci pro automatický výpočet bilancí organické hmoty a živin přímo v návaznosti na údaje z elektronické evidence hnojení, s realizací v roce 2024, pod garancí MZe.

Ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. byl vypracován prakticky využitelný komplexní model pro hodnocení bilance organické hmoty a živin na úrovni pozemků a zemědělských závodů, s využitím mapových podkladů LPIS (výpočet bilance on-line, na webu www.organickahmota.cz).

Model OH pro ekoplatbu

Jednou z podmínek celofaremní ekoplatby v rámci režimů pro klima a životní prostředí je udržitelné hospodaření s organickou hmotou v orné půdě, chmelnicích i plochách s víceletými produkčními plodinami. Tyto podmínky stanoví nařízení vlády č. 83/2023 Sb., o stanovení podmínek poskytování přímých plateb zemědělcům (§ 13, 18 a 20).

Model OH vychází z dlouhodobých výzkumů VÚRV, metoda byla pouze aktualizována na současné podmínky. Princip vychází z potřeby dodání 30–40 t hnoje jednou za 3–4 roky, v základním schématu bez zohlednění pěstování okopanin a víceletých píceň. Samozřejmě ne každý zemědělec má k dispozici hnůj a řada zemědělců je i bez chovu hospodářských zvířat. Pro široké využití tedy byly nastaveny přepočtové koeficienty pro další hnojiva i vybrané agrotechnické operace.

V rámci ověření byly vyhodnoceny vypočtené bilance organické hmoty pro různé typy a velikosti farem, nejen s hodnocením přínosů pro půdu, ale i přijatelnosti pro plnění zemědělci. Vzhledem k tomu, že se jedná o princip hodnocení hospodaření pouze v jednom roce, nemohou být dostatečně zohledněny víceleté cykly organického hnojení.

Pro praktické využití byla vytvořena tabulka pro nápočet vstupů organické hmoty a její bilanci (Model OH v aplikaci MS Excel), pomocí které lze v zemědělském závodě otestovat plnění tohoto požadavku ekoplatby.

V bilanci organické hmoty jsou z hlediska vlivu na půdní organickou hmotu hodnoceny všechny pěstované plodiny, včetně meziplodin a doprovodných plodin. Jsou zohledněny i technologie redukováného zpracování půdy, strip-till (kukuřice, řepa cukrová, ...), přímé setí do meziplodiny apod., které vedou ke snížení odbourávání organické hmoty v důsledku omezené mineralizace.

Podmínka celofaremní ekoplatby z hlediska udržitelného hospodaření s organickou hmotou v orné půdě se vztahuje jen na žadatele s výměrou orné půdy nad 30 hektarů. Hodnotí se výměra půdy ke dni podání žádosti, celkem za zemědělské kultury: standardní orná půda, travní porost a úhor. Pravidelné doplňování organické hmoty do půdy je klíčové z hlediska udržení kvality půdy a snížení erozní ohroženosti. U menších farem však lze jen obtížně hodnotit udržitelnost v ročním intervalu, např. s ohledem na víceleté cykly organického hnojení. Proto se až do výměry 30 ha orné půdy považuje podmínka za splněnou.

Pro hodnocení hospodaření s organickou hmotou v rámci ekoplatby na rok 2025 začíná hospodářský rok v létě 2024. Po sklizni předchozích plodin se obvykle do půdy zapraví sláma, začínají se aplikovat statková nebo organická hnojiva, sejí se meziplodiny. Pro účely dodání organické hmoty je důležité, i když obecně v menším rozsahu, i následné jarní organické hnojení (aplikace zbývajícího hnoje, hnojení kejdou ke kukuřici apod.). U meziplodin je rozhodující, zda po nich následují ozimé nebo jarní plodiny, uvedené do jednotné žádosti 2025.

Z této žádosti se odvozuje i zastoupení plodin zvyšujících nebo snižujících potřebu dodání organické hmoty a rovněž výměra úhorů a deklarované neprodukční plochy ochranných pásů (ochranný pás kolem evidovaného krajinného prvku, ozeleněný kolejový řádek, ochranný pás typu souvat',

ochranný pás podél vody typu základní, ochranný pás podél vody typu prémiový, ochranný pás založený půdoochrannými technologiemi, ochranný dělicí pás, ochranný pás založený v rámci agrolesnictví, biopás).

Za účelem vyhodnocení hospodaření s organickou hmotou provádí žadatel výpočet na základě koeficientů uvedených v nařízení vlády č. 83/2023 Sb., o stanovení podmínek poskytování přímých plateb zemědělcům. Výpočet je nutné zpracovat do 30. září roku podání žádosti a předložit pracovníkům Státního zemědělského intervenčního fondu při případné kontrole na místě. Výsledek výpočtu tedy není zapotřebí zasílat nikam elektronicky. Kladný výsledek výpočtu znamená splnění požadavku na hospodaření s organickou hmotou na standardní orné půdě, záporná hodnota znamená nesplnění tohoto požadavku.

Údaje potřebné pro výpočet Modelu OH (příklad pro ekoplátku 2025)

- Jednotná žádost (2025) – výměra půdy (kultury R, G, U); výměra úhorů a ochranných pásů deklarováných jako neprodukční plochy.
- Registr půdy (Portál farmáře) – součet výměr DPB zařazených podle převažujícího půdní druhu.
- Evidence hnojení (období od 1. 7. 2024 do 30. 6. 2025) – spotřeba hnojiv a upravených kalů; plocha, kde byla použita statková hnojiva rostlinného původu (sláma, chrást apod.); plocha, kde byly pěstovány meziplodiny.
- Vlastní evidence agrotechnických operací – použití technologií strip-till a přímého setí do nezpracované půdy, meziplodin nebo rostlinných zbytků.

Praktické informace k Modelu OH (příklad pro ekoplátku 2025)

- Výměra půdy (kultury R, G, U) se uvádí na základě údajů v žádosti o dotace v roce 2025. Pokud předtím došlo k vydání nebo převzetí půdy, všechna opatření se již musí vztahovat k této nové výměře. Např. pokud byla před vydáním půda na podzim 2024 organicky pohnojena, nelze tato hnojiva použít pro výpočet. U převzaté půdy je možné zohlednit organické hnojení pouze v případě, že bude žadatelem prokazatelně doloženo (výpis či kopie evidence hnojení).
- Po vložení údaje o výměře půdy se objeví grafické znázornění potřeby opatření (červený sloupec, jedno políčko = 10 % výměry orné půdy) a výzva k doplnění údajů o provedených opatřeních.
- Základní rozsah potřebných opatření (nejméně na 35 % orné půdy) je nastaven pro střední půdu. Na lehkých nebo těžkých půdy je nutno opatření provést nejméně na 30 % výměry orné půdy. Informace

o zařazení jednotlivých DPB (kultury R, G, U) podle převažujícího půdní druhu naleznete v Registru půdy na Portálu farmáře (Tisk: Základní, tabulka „Součet výměr účinných dle kultur a režimů EZ“).

- Rozsah potřebných opatření se dále zvýší nebo sníží podle výměry vybraných plodin zvyšujících nebo snižujících potřebu.
- Pokud se uvedené plodiny (brambory, kukuřice, jetel, ...) nepěstují, zůstává základní nastavení pro obilniny (mimo kukuřice), olejniny apod.
- Po stanovení potřeby se hodnotí její plnění dodáním organické hmoty i prostřednictvím dalších opatření (grafické vyjádření – modrý sloupec).
- Pro hodnocení vlivu použitých hnojiv a upravených kalů se uvedou údaje o celkové spotřebě na výměře orné půdy žadatele za hospodářský rok. V Modelu OH jsou uvedeny tzv. směrné dávky, jako optimální s ohledem na přívod dusíku a účinnost organického hnojení. Např. u hnoje 30 t/ha, u kejdy či digestátu 20 t/ha, u drůbežího trusu 5 t/ha.
- Na jednotlivých pozemcích lze samozřejmě používat i odlišné dávky, s přihlédnutím k požadavkům rostlin i pravidlům daným jinými předpisy. Při vysokých dávkách hnojiv se však snižuje účinnost dodaných organických látek a vzrůstá riziko ztrát dusíku.
- Statková hnojiva rostlinného původu (sláma, chrást apod.) pocházejí z plodin sklizených v roce 2024. Do evidence hnojení se zapisují bez množství a živin, tedy se zde uvádějí pouze výměrou.
- Plochy zasetých a vzešlých meziplodin se vztahují k období od léta 2024 do jara 2025.
- Doba pěstování meziplodiny musí být delší než 8 týdnů (zápis a ověření v evidenci hnojení), přitom nerozhoduje, zda jsou „dotační“ či „nedotační“. Za meziplodinu však pro účely dotací nelze uznat vzešlý výdrol.
- Agrotechnická opatření (strip-till, přímé setí) se vztahují k období od 1. 7. 2024 do 30. 6. 2025. Informace je třeba doplnit do samostatného listu.
- V zásadě platí, že při použití různých hnojiv nebo opatření na stejné ploše se tyto plochy započtou vícekrát. Překryvy a kombinace jsou tedy nejen možné, ale i doporučované (např. sláma + kejda + meziplodina).
- Doporučujeme vytvoření určité rezervy pro případ nepříznivých podmínek (vysoké teploty, sucho, intenzivní zpracování půdy, organické hnojení v nevhodnou dobu, slabé porosty meziplodin apod.). Tedy je vhodné hospodařit tak, aby při výpočtu pro ornou půdu bylo dosaženo „zlepšující“ bilance (rozdíl mezi plněním a potřebou je větší než 10 procentních bodů, což představuje jeden dílek grafu v Modelu OH).

Hodnocení hospodaření s organickou hmotou na standardní orné půdě, s příkladem vyplnění pro ekoplatbu v roce 2025

Tab. 1: Základní údaje

Obchodní závod	ZD Lhota
Hospodářský rok	2024/2025

Tab. 2: Výměra půdy a rozdělení podle půdního druhu

Obhospodařovaná plocha	Výměra (ha)	Rozsah potřebných opatření (% , ha)
Standardní orná půda (R), travní porost (G), úhor (U)	105,00	
z toho: lehká půda	2,00	30,0 %
střední půda	53,00	35,0 %
těžká půda	50,00	30,0 %
Základní rozsah potřebných opatření (vážený průměr, %)		32,5 %
Základní rozsah potřebných opatření (přepočítáno na hektary)		34,15

Tab. 3: Upřesnění rozsahu potřebných opatření podle výměry vybraných plodin

Hlavní plodiny	Váhový koeficient (na 1 ha)	Výměra (ha)	Přepočtená plocha (ha)
Brambory, řepa cukrová, řepa krmná, brokolice, celer, cuketa, meloun, okurka, pór, rajče, tykev, zelí	0,45	21,00	9,45
Kukuřice, česnek, křen selský jednoletý, květák, mrkev, paprika, pastinák	0,25	11,00	2,75
Jetel nebo vojtěška, včetně semenářských porostů	-0,90	2,00	-1,80
Ostatní víceleté pícniny na standardní orné půdě, trávy na semeno, travní porost	-0,70	5,00	-3,50
Vliv plodin na rozsah potřebných opatření, celkem			6,90
Základní rozsah potřebných opatření podle půdního druhu (výsledná hodnota z tabulky č. 2)			34,15
Výsledný rozsah potřebných opatření po upřesnění podle půdního druhu a plodin			41,05

Tab. 4: Dodání organické hmoty do půdy

Použití hnojiv a upravených kalů	Směrná dávka (t/ha)	Váhový koeficient	Celková spotřeba (t)	Přepočtená plocha ¹⁾ (ha)
Hněj, separát kejdy	30	1,00	100	3,33
Separát digestátu, tuhý digestát	25	0,75		
Kompost	15	1,00		
Upravený kal (ve 100% sušině)	5	0,40		
Kejda skotu	20	0,18		
Fugát kejdy skotu	20	0,15		
Kejda prasat	20	0,10		
Fugát kejdy prasat	20	0,07		
Digestát	20	0,15	500	3,75
Fugát digestátu	20	0,10		
Výpalky melasové zahuštěné	5	0,15		
Výpalky lihovarnické	20	0,10		
Drůbeží trus sušený	5	0,30		
Drůbeží trus s podestýlkou	5	0,17		
Drůbeží trus uleželý	5	0,13		
Celkem				7,08

¹⁾ Pro zjištění přepočtené plochy se celková spotřeba vydělí směrnou dávkou a vynásobí váhovým koeficientem

Tab. 5: Dodání organické hmoty do půdy a další opatření

Použití statkových hnojiv rostlinného původu a půdoochranných technologií	Váhový koeficient	Výměra (ha)	Přepočtená plocha (ha)
Zapravení do půdy, případně ponechání na povrchu slámy obilnin (včetně kukuřice sklizené děleným způsobem), olejnin, luskovin (pěstovaných i jako zelenina) a ostatních plodin pěstovaných na zrno či semeno nebo rostlinných zbytků po sklizni jetelovin a trav na semeno	0,50	50,00	25,00
z toho zapravení slámy obilnin v kombinaci se souběžnou nebo následnou aplikací kejdy, digestátu nebo výpalků	1,00	0,10	
Zapravení chrástu, případně nesklizených hlavních plodin	0,25	2,00	0,50

Použití statkových hnojiv rostlinného původu a půdoochranných technologií	Váhový koeficient	Výměra (ha)	Přepočtená plocha (ha)
Zapravení nesklizeného posledního obrostu víceletých pícnin	0,20	3,00	0,60
Meziplodiny (nad 8 týdnů, bez odvozu zelené hmoty), po kterých následuje ozimá plodina	0,20	4,00	0,80
Meziplodiny (nad 8 týdnů, bez odvozu zelené hmoty), po kterých následuje jarní plodina	0,35	5,00	1,75
Meziplodiny (nad 8 týdnů) pěstované současně s hlavní plodinou	0,20	6,00	1,20
Plodiny na úhoru, bez odvozu zelené hmoty	0,45	8,00	3,60
Meziplodiny (nad 8 týdnů) nebo plodiny na úhoru, s odvozem zelené hmoty	0,10	16,00	1,60
Strip-till	0,20	10,00	2,00
Přímé setí do nezpracované půdy, meziplodin nebo rostlinných zbytků	0,20	50,00	10,00
Celkem			47,15

Tab. 6: Vyhodnocení hospodaření s organickou hmotou na standardní orné půdě

Položka	Přepočtená plocha (ha)	Podíl z rozsahu potřebných opatření (%)
Rozsah provedených opatření (součet celkových hodnot z tabulek č. 4 a 5)	54,23	
Rozsah potřebných opatření (závěrečná hodnota z tabulky č. 3)	41,05	
Rozdíl (od rozsahu provedených opatření se odečte rozsah potřebných opatření a případná záporná hodnota se převede na % z rozsahu potřebných opatření)	13,18	

podmínka splněna

2.2 Živiny v půdě

2.2.1 Stanovení obsahu živin v půdě

Využití diagnostických metod pro hodnocení agrochemických vlastností půdy je důležitým bodem v procesu optimalizace hnojení. Agrochemické složení půdy je třeba znát před výběrem plodin, dávek a způsobu aplikace hnojiv.

Mezi nejdůležitější živiny pro zemědělské plodiny patří kromě dusíku také další makroživiny, jako je fosfor, draslík, hořčík a vápník. Agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP) je prováděno Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským, který v šestiletých cyklech stanovuje a hodnotí obsah živin v půdách České republiky. Široce používanou metodou je metoda Mehlich 3 (Mehlich 1984, Zbíral 2017), pro kterou byla zpracována kritéria pro hodnocení obsahů jednotlivých živin. Kritéria jsou uvedena ve vyhlášce č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků (tabulka 7) a v Pracovních postupech pro agrochemické zkoušení zemědělských půd (Smatanová a Florián 2022).

Metoda Mehlich 3 má z pohledu agronoma některé nevýhody, mezi které patří fakt, že činidlo Mehlich 3 má nízkou hodnotu pH (okolo 2,5), a proto jsou z půdy extrahovány i méně přístupné podíly některých živin. Z tohoto pohledu je metodou Mehlich 3 v půdě stanovováno větší množství živin, než je rostlinám reálně dostupné.

Pro zpřesnění odhadu živin dostupných pro rostliny je vhodné používat některé další metody stanovení obsahu živin s menší extrakční silou, a tedy více odpovídající reálným potřebám rostlin. Mezi ně patří například metoda KVK-UF (Matula 2007). Tato metoda spočívá v extrakci výměnných podílů živin při pH 7, které jsou pro rostliny v půdním sorpčním komplexu snadněji dostupné a tvoří tzv. pohotovostní zásobu živin v půdě.

Tab. 7: Kritéria hodnocení obsahu fosforu, draslíku a hořčíku na orné půdě (Mehlich 3) podle vyhlášky č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků

Obsah	Fosfor (mg P/kg)		Draslík (mg K/kg)			Hořčík (mg Mg/kg)		
	SP ¹⁾	ICP-OES ²⁾	půda			půda		
			lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
Nízký	do 50	do 55	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120
Vyhovující	51–80	56–85	101–160	106–170	171–260	81–135	106–160	121–220
Dobrý	81–115	86–125	161–275	171–310	261–350	136–200	161–265	221–330
Vysoký	116–185	126–200	276–380	311–420	351–510	201–285	266–330	331–460
Velmi vysoký	nad 185	nad 200	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460

¹⁾ Stanovení spektrofotometricky, ²⁾ Stanovení metodou ICP-OES

V poslední době se vedou diskuze o interpretaci obsahů živin v půdě a jejich využití pro stanovení dávek hnojiv. Podle metodiky ÚKZÚZ (Trávník a kol. 2020) se při dobré zásobenosti (kategorie „D“) jedná o příznivý obsah přístupného P a K, jehož udržení je potřeba zajistit nahrazovacím hnojením, tedy dodávat fosfor a draslík podle odběrových normativů. Při vyhovující zásobenosti (kategorie „VH“) je potřeba mírného dosycení (vypočtená dávka + 20–30 %) a v případě nízkého obsahu (kategorie „N“) je potřeba většího dosycení (vypočtená dávka + 50 %). Je třeba si však uvědomit, že tato doporučení vycházela ze zcela jiných podmínek (jiná struktura plodin, sklizeň vedlejšího produktu, vyšší zastoupení pícnin, jiné odrůdy).

V současné době se při hospodaření se živinami s výhodou využívá bilančního principu. Na základě údajů z elektronické evidence hnojení a výnosů je dnes snadné vypočítat bilanci živin, a to i na úrovni jednotlivých pozemků a v delším časovém horizontu, a z ní odvodit průměrný odběr živin z půdy ve sklizených produktech. Při vysokých zásobách přístupného fosforu nebo draslíku v půdě lze hospodařit i několik let se zápornou bilancí uvedených živin. Velmi vysoký obsah je však nadměrný, další zvyšování tohoto obsahu je nevhodné z ekologického hlediska a hnojení příslušnou živinou je nepřípustné (Klement a kol. 2012). V případě fosforu totiž jeho dlouhodobá akumulace v půdě představuje zvýšené riziko pro životní prostředí (vyplavování nebo povrchový smyv do vod). Naopak, přetrvávající deficit fosforu naznačuje potenciální riziko poklesu úrodnosti půdy.

Z hlediska hnojení fosforem dochází v současné době k posunu hodnocení kritérií, kdy vedle dobrého obsahu fosforu (kategorie „D“) již i vyhovující obsah fosforu (kategorie „VH“) reprezentuje optimální zásobu, kterou je třeba pravidelným hnojením pouze udržovat (Smatanová 2021), tedy hnojit s ohledem na průměrný odběr P (nahrazovací způsob). V rámci ekoplatby na udržitelné hospodaření se živinami (§ 24a nařízení vlády č. 83/2023 Sb., o stanovení podmínek poskytování přímých plateb zemědělcům) se při stanovení potřeby navrácení odebraného fosforu na úrovni celkové výměry orné půdy zemědělského závodu postupuje takto: v kategorii „VH“ (a na neprozkoušené půdě) se stanoví potřeba dodání fosforu na úrovni průměrného odběru P (nahrazovací koeficient 1,0), při nízkém obsahu fosforu (kategorie „N“) se potřeba dodání fosforu do půdy zvyšuje o 50 % (nahrazovací koeficient 1,5) a při dobrém obsahu (kategorie „D“) se naopak o 50 % snižuje (nahrazovací koeficient 0,5). Nahrazovací koeficient v kategoriích „V“ a „VV“ má hodnotu 0.

Pro zvýšení účinnosti fosforu dodávaného do půdy a jeho využitelnosti rostlinami je především nutné upravit půdní reakci tak, aby se pohybovala ideálně v rozpětí pH 6–7. V kyselých půdách je fosfor chemicky sorbován v důsledku srážení rozpuštěných fosfátových iontů ionty železa a hliníku. Průběžně je tedy třeba provádět úpravu půdní reakce vápněním, a to v dostatečném časovém předstihu před aplikací fosforečných hnojiv. Na

kyselých půdách lze využít opatření pro omezení přeměn fosforu na méně rozpustné formy – pravidelné organické hnojení, pěstování plodin vázajících dusík, použití minerálních hnojiv vhodných do těchto podmínek, např. granulovaných forem hnojiv typu superfosfátů nebo ve vodě nerozpustných fosforečných hnojiv – fosfátů.

Pokud jde o draslík, tak Balík a kol. (2022) doporučují, aby se v kategorii „D“ hnojilo s ohledem na odběr K z pozemku, a to v dlouhodobém časovém horizontu. Ani v kategoriích „VH“ a „N“ není třeba zvyšovat dávky draslíku a stačí tedy hnojit pouze na odběr K. Výjimku mohou tvořit pouze velmi lehké půdy s promyvným podorničím, kde vynechání hnojení draslíkem může snižovat výnosy, zejména při nízkém obsahu draslíku v ornici (kategorie „N“). V kategoriích „V“ a „VV“ je možno zcela vynechat minerální hnojení draslíkem na dobu, než budou známy další výsledky AZZP.

Mühlbachová a kol. (2023) na základě výsledků dlouhodobých pokusů a z provozních honů i s ohledem na výměnné podíly živin zjištěné metodou KVK-UF navrhli úpravu interpretace a kategorií obsahu K podle metody Mehlich 3. Mírná úprava se týká i obsahu hořčíku, kde obsah Mg lépe odpovídá požadovanému poměru Mg : K. Autoři doporučují optimální rozmezí (mg K/kg) pro hnojení na odběr K na nižší než současné úrovni, s částečným překryvem se současnou kategorií „VH“:

- pro lehkou půdu 111–210 mg K/kg (nyní 161–275 mg K/kg)
- pro střední půdu 126–260 mg K/kg (nyní 171–310 mg K/kg)
- pro těžkou půdu 171–320 mg K/kg (nyní 261–350 mg K/kg).

Vhodné poměry živin v půdě

V rámci hodnocení AZZP (Smatanová a Florián 2022) je sledován i vzájemný hmotnostní poměr K : Mg, kde při hodnotě nižší než 1,6 : 1 (K/Mg 1,6) není třeba očekávat problémy s výživou hořčíkem. Je-li hodnota K/Mg v rozmezí 1,6–3,2, je třeba ke hnojení draslíkem přistupovat opatrně. Hodnota K/Mg vyšší než 3,2 je podle ÚKZÚZ již nevyhovující. Je důsledkem nevyvážené výživy těmito prvky, zejména nadměrným příjmem draslíku, a proto je třeba vynechat draselné hnojení. Tyto hodnoty byly propočteny na základě výsledků obsahů živin v půdách (mg K/kg) stanovených metodou Mehlich 3.

Vzhledem k nízké hodnotě pH extrakčního činidla u metody Mehlich 3 je vhodnější při stanovení vzájemných poměrů živin používat metodu KVK-UF. Podle Matuly (2007) a Vaňka a kol. (2012) by poměr K : Mg v ekvivalentním (nikoliv hmotnostním) vyjádření měl být 1 : 2–3. Tento poměr lze propočítat podle ekvivalentů výměnných podílů živin, které lze stanovit metodou KVK-UF, neboli extrakcí 0,5 M octanem amonným v neutrálním prostředí.

Stanovení poměru živin v ekvivalentním vyjádření

Do výpočtu vstupují hodnoty obsahu prvků v půdě (mg/kg), stanovené metodou KVK-UF, atomová hmotnost prvků a jejich valence.

Zjištěné obsahy živin (příklad):

- draslík 163 mg K/kg $150 : (39,098 : 1) = 4,17 (5,3 \%)$
- hořčík 152 mg Mg/kg $150 : (24,305 : 2) = 12,51 (15,8 \%)$
- vápník 1 253 mg Ca/kg ... $1\ 200 : (40,078 : 2) = 62,53 (78,9 \%)$

Vzájemný poměr živin:

- draslík 1,00
- hořčík $12,51 : 4,17 = 3,00$
- vápník $62,53 : 4,17 = 15,00$

Zjištěný poměr K : Mg : Ca v ekvivalentním vyjádření je tedy 1 : 3 : 15. 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. Zastoupení živin v sorpčním komplexu uvedené v příkladu je u draslíku 5,3 %, hořčíku 15,8 % a vápníku 78,9 %. 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 %).

Správný vzájemný poměr mezi živinami je důležitý, protože při zvýšené koncentraci monovalentních kationtů (např. K^+) může docházet k vymývání některých jiných živin (např. Mg^{2+} , Ca^{2+}) do hlubších vrstev půdy, zhoršení půdní struktury a rozplavení povrchové vrstvy půdy. Dodržení správných poměrů živin je zvláště významné u stále častěji používaných bezorebných technologií zpracování půdy, kde vlivem hnojení a většího množství rostlinných zbytků může docházet ke zvýšení obsahu draslíku v povrchové vrstvě půdy.

Mezi nejčastější příčiny špatného stavu půdy v posledních letech patří nedostatečné vápnění, vyšší obsah draslíku v půdě, nevhodný poměr draslíku (K^+) k dvojmocným kationtům (Mg^{2+} , Ca^{2+}) i nízký obsah organického uhlíku v půdě (Růžek a kol. 2023).

Kritéria hodnocení pro fosfor, draslík a hořčík podle metody KVK-UF

Na základě výsledků obsahu živin stanovených v polních pokusech a provozních honech byly ve VÚRV, v.v.i. ověřeny výsledky obsahu živin stanovené metodou KVK-UF.

Kritéria hodnocení zásoby fosforu v půdách na základě metody KVK-UF vycházejí z dlouhodobého sledování, kdy bylo zjištěno, že na mírně kyselých lehčích půdách se procento extrahovaného fosforu pohybuje okolo 20 % v porovnání s metodou Mehlich 3. Naopak u alkalických půd s vyšším obsahem

vápníku se toto procento snižuje až na hodnoty okolo 10–13 %, v některých případech i nižší. Pokud se v půdách vyskytuje více vápníku, lze předpokládat, že část fosforu je navázána na hydrogenfosforečnanové vazby s vápníkem, které se v čase mohou uvolňovat a stávají se pro rostliny dostupné. V tomto případě i nižší množství fosforu extrahovatelné metodou KVK-UF může být dostatečné. U půd s nižším obsahem vápníku, jako jsou například u kambizemě, je extrakční schopnost metody KVK-UF v poměru k metodě Mehlich 3 vyšší a je třeba s tím počítat. Navržená kritéria hodnocení zásoby fosforu v půdách podle metody KVK-UF jsou uvedena v tabulce 8.

Tab. 8: Kritéria hodnocení obsahu fosforu podle metody KVK-UF

Obsah	Fosfor (mg P/kg)	
	lehká a střední	těžká
Nízký	do 10	do 6
Dobrý	11–23	7–14
Vysoký	24–37	15–21
Velmi vysoký	38 a více	22 a více

Dlouhodobé zjišťování obsahu živin v půdách metodami Mehlich 3 a KVK-UF ukazuje na rozdíly v obsahu draslíku a hořčíku stanoveném oběma metodami. V případě draslíku se metodou KVK-UF extrahuje podíl, který se blíží jeho obsahu stanovenému metodou Mehlich 3 (85–95 %). I zde lze pozorovat vliv pH a sorpční kapacity půdy, kde se na lehčích půdách s nižší hodnotou pH zpravidla extrahuje mírně vyšší procento draslíku než na těžkých půdách. Podobně lze charakterizovat obsah hořčíku, kde se na lehčích půdách stanoví až 75 % Mg, zatímco na těžkých jen okolo 60 % v porovnání s metodou Mehlich 3. U vápníku rozhoduje, zda je půda kyselější a lehká, kde se stanoví až 60 % Ca v porovnání s metodou Mehlich 3, zatímco na těžších půdách s vyšší hodnotou pH se stanoví pouze okolo 30 %, v některých případech i méně.

Na základě výsledků obsahu draslíku a hořčíku a s ohledem na vhodné poměry živin mezi draslíkem a hořčíkem (K : Mg), který by v ekvivalentním vyjádření měl být v rozmezí 1 : 2–3, bylo pro metodu KVK-UF navrženo následující rozpětí vhodných obsahů draslíku a hořčíku pro kategorie „Nízký“, „Dobrý“, „Vysoký“ a „Velmi vysoký“ (tabulka 9).

Tab. 9: Kategorie obsahu K a Mg podle metody KVK-UF

Obsah živin	Draslík (mg K/kg)			Hořčík (mg Mg/kg)		
	půda			půda		
	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
Nízký	do 105	do 110	do 145	do 75	do 80	do 150
Dobrý	106–200	111–225	146–270	76–150	81–180	151–230
Vysoký	201–285	226–315	271–380	151–230	181–270	231–330
Velmi	nad 285	nad 315	nad 380	nad 230	nad 270	nad 330

Při používání bezorebných technologií je třeba počítat s tím, že větší část draslíku a fosforu zůstává v povrchové vrstvě půdy, což potvrzují nejen výsledky dlouhodobých pokusů, ale i výsledky z provozních honů. Do hlubší části půdního horizontu se živiny dostávají pozvolně makropóry, které se v půdách při bezorebném zpracování vytvářejí. Při vyšším úhrnu srážek a vysokých koncentracích draslíku v půdě může docházet k proplavení vápníku a hořčíku a tím ke zhoršení povrchové struktury půdy. Při povrchové aplikaci minerálních draselných hnojiv nebo organických a statkových hnojiv s vyšším obsahem draslíku (digestát, fugát, kejda) je proto třeba zvážit vhodnou dávku hnojiva i s ohledem na obsah živin ve svrchní vrstvě půdy.

Svrchní vrstva půdy může být při intenzivním hnojení půd hnojivy s monovalentními kationty (např. K^+ , dočasně i NH_4^+) zranitelná, neboť může docházet k jejich zvýšené koncentraci na povrchu půdy. Tím se zvýší jejich poměr k dvojmocným kationtům (např. Mg^{2+} , Ca^{2+}), což má většinou za následek zhoršení půdní struktury a její rozplavení.

Avšak pro plodiny, které v krátké době přijímají značné množství draslíku (např. brambory, řepa cukrová) je možné aplikovat dostatečnou dávku K odpovídající plánovanému výnosu.

Pro půdy s vyšším přirozeným obsahem draslíku, které se častěji vyskytují například v Ústeckém a Jihomoravském kraji je vhodné hnojit maximálně na odběr draslíku plodinami, a především udržovat vhodný poměr mezi draslíkem a hořčíkem.

Více informací najdete v metodice „Použití diagnostických metod pro hodnocení přijatelných živin v půdě“ (Mühlbachová a kol. 2023).

2.2.2 Vliv zpracování půdy na živinný režim

Minimální zpracování půdy a technologie bez zpracování s ponecháním různého množství posklizňových zbytků na povrchu jsou v posledních letech v zemědělské praxi stále častěji využívány. Většinou se jedná o postupy s mělkým (omezeným), případně středně hlubokým zpracováním půdy kypřením, bez obracení půdy klasickou orbou.

Zpracováním půdy ovlivňujeme její vodní, vzdušný a tepelný režim a zároveň i biologické, chemické a fyzikální vlastnosti. Čím hlouběji a intenzivněji se půda kypří (orba, podrývání apod.) a provzdušňuje, tím více se zpravidla podporuje mineralizace dusíku a dalších živin z organických látek v půdě, které jsou následně k dispozici rostlinám (Růžek a kol. 2023).

Poznátky výzkumu

Při změnách vyvolaných použitím bezorebných technologií zpracování půdy je ovlivněna přijatelnost živin pro rostliny včetně těch z rozložených posklizňových zbytků a půdní organické hmoty v povrchové vrstvě půdy, což v důsledku ovlivňuje i produkční schopnosti půdy a výnosy plodin. Na pozemcích, kde jsou využívány bezorebné technologie, se ve svrchním půdním horizontu zvyšuje obsah živin z aplikovaných hnojiv, které se ale hůře dostávají ve větším množství do hlubších částí půdního profilu. Pro rozhodování o vhodném zapravení hnojiv vzhledem ke konkrétním půdním podmínkám, použité technologii a pěstované plodině je proto důležité diagnostikovat úroveň obsahu živin v půdě v různých vrstvách půdního profilu.

Živiny méně pohyblivé v půdě jako P a K (u draslíku transport v půdním profilu omezen v důsledku vysokého stupně nasycení půdy bazickým kationtem Ca^{2+} a tím i vysoké adsorpce K^+ na jílové minerály) jsou orbou zapraveny do hlubších vrstev půdy, a naopak spodní vrstva půdy obohacená vápníkem a případně i hořčíkem se obracením půdy dostává na povrch.

Při použití bezorebných technologií zpracování půdy dochází ke kumulování obsahu zejména fosforu a draslíku v povrchových vrstvách půdy, nejvíce ve vrstvě 0–2 cm. Naopak, obsah těchto živin v hlubších vrstvách půdy se snižuje. Po dlouhodobém používání technologie bez zpracování půdy je ale zřejmé, že se živiny postupně dostávají do hlubších vrstev půdy vytvořenými makropóry (obr. 8). Opačný trend byl zaznamenán u vápníku, který se z povrchové vrstvy půdy postupně vymývá a koncentruje se v hlubších vrstvách půdního profilu. Tím se povrchová vrstva půdy postupně okyseluje, čemuž je nutné u minimalizačních technologií zpracování půdy věnovat zvláštní pozornost a v případě potřeby doplňovat zásobu vápníku v půdě dolomitickým vápencem (střední zrnitost), který se postupně uvolňuje. Vápník má nezastupitelnou úlohu v tvorbě půdní struktury a významně ovlivňuje retenční schopnost půdy. Této skutečnosti je třeba do budoucna věnovat pozornost a současně sledovat i hodnoty pH v povrchové vrstvě půdy.

Při podpovrchové lokální nebo zonální aplikaci hnojiv je třeba zjistit chemické a biologické (zejména u fosforu) vlastnosti půdy v místě uložení hnojiv, aby živiny byly přijatelné rostlinami (např. vliv nepříznivého pH). Aplikace hnojiv do větší hloubky (např. 20–30 cm) dláty, radličkami apod. u bezorebných technologií zpravidla narušuje nebo zcela likviduje dříve vytvořené biopóry po makroedafonu v půdním profilu. Ty mají mimo jiné drenážní funkci a u bezorebného zpracování půdy sehrávají významnou roli při infiltraci vody ze srážek, transportu živin do hlubších vrstev, provzdušnění půdy a její mikrobiologické aktivitě (nejvyšší je v okolí biopórů).



Obr. 8: Stav půdy po zimě na minimalizaci do 10 cm (vlevo) a orbě (vpravo, Praha-Ruzyně, 2024)

2.3 Odběr a využití živin rostlinami

2.3.1 Využití dusíku z hnojiv a půdní zásoby

Splnění požadavků na snížení ztrát dusíku a dalších živin až o 50 % (strategie „od zemědělce ke spotřebiteli“) je reálné jen při současném využití různých postupů. Mezi ně patří především

- započtení dostupné zásoby N v celé kořenové zóně,
- volba hnojení v pozdějších fázích vývoje (např. kvalitativní u obilnin) podle dostupnosti vody a znalosti dynamiky příjmu N v průběhu růstu,
- důsledná diagnostika výživného stavu půdy a rostlin,
- uplatnění listové výživy podle jejich výsledků a stavu rostlin/porostů,
- použití ověřených látek stimulační a regulační povahy a
- aplikace uvedených postupů pro agrotechniku v rámci jednoho pozemku a kultury (precizní zemědělství).

Poznatky výzkumu

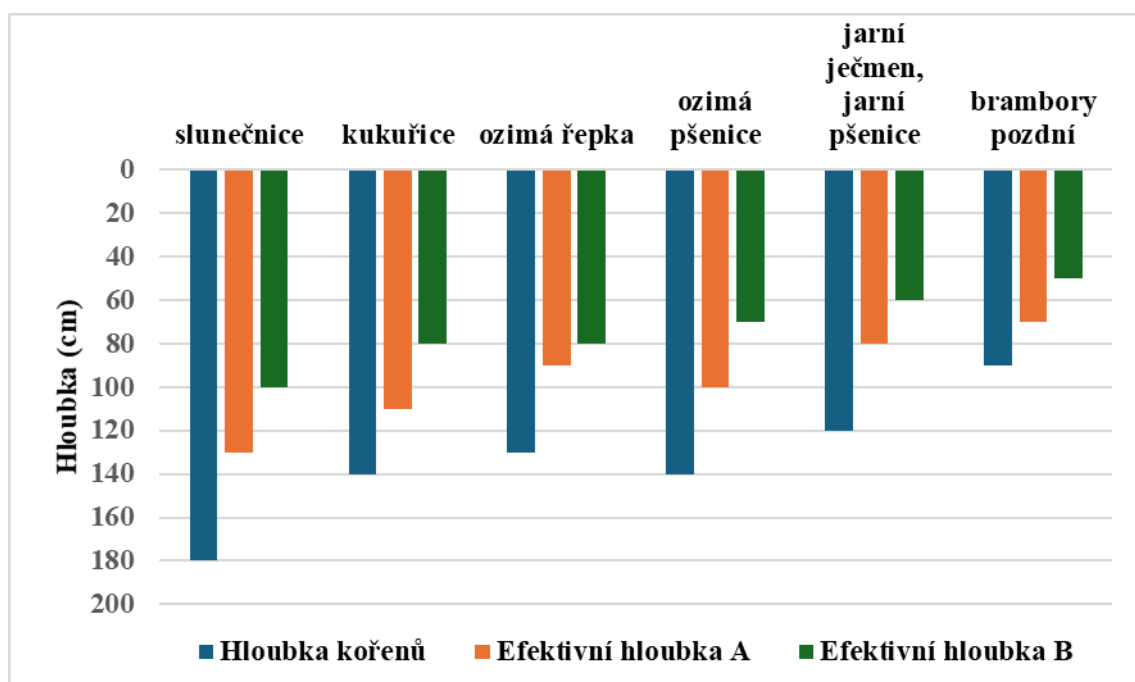
Rostlinami nevyužitý (reziduální) dusík, v nitrátové formě, je při odhlédnutí od eroze a povrchového smyvu hlavním zdrojem znečištění povrchových a podzemních vod. Pohyblivý nitrátový N se spolu s dalšími živinami postupně posunuje s prosakující vodou půdním profilem do drenážní sítě, vyplavuje do vodotečí nebo až do podzemních vod. Nejvyšší úroveň vyplavení je

v mimovegetačním období, rizikové je i časně jaro, kdy plodiny ještě neodčerpávají vodu ani dusík nebo jen malou rychlostí.

Využití dusíku posunutého/vyplaveného do hlubších vrstev plodinami snižuje náklady na hnojiva a redukuje znečištění vod. Kromě zařazování hluboce kořenících druhů lze k lepšímu využití přispět i snížením dávek N na základě započtení podílu dostupné zásoby N v dosahu kořenů a na základě dynamiky příjmu (potřeby) N v průběhu růstu u různých skupin plodin. V průběhu růstu se zvyšuje hloubka a hustota kořenů ve vrstvách ornice a podorničí. Celková hustota kořenů rostlin se pohybuje v kilometrech na čtvereční metr, s hloubkou se snižuje, ale v případě potřeby (požadavek na N) kořeny odčerpávají dusík a vodu i z hlubších vrstev podorničí, kde je hustota kořenů nižší (pod 1–2 cm/cm³). Hloubka kořenů odpovídá hloubce, odkud plodiny mohou přijímat vodu a živiny, ale procento využití závisí na hustotě kořenů a stavu půdy. V době dozrávání se potřeba N snižuje, část N se například u obilnin reutilizuje z vegetativních orgánů, menší listová plocha snižuje spolu s transpirací i příjem vody s živinami. Plodiny s dlouhou vegetační dobou a trváním listové plochy (kukuřice, čirok) nebo dvouleté (řepa cukrová, čekanka, mrkev, ředkev) přijímají dusík i na podzim. Velmi efektivní v příjmu N jsou brukvovité rostliny (ozimá řepka, ředkev).

Při vysokých dávkách N v minerálních, statkových nebo organických hnojivech je dusík kořeny odebírán přednostně z hustě prokořeněné ornice a teprve při vyčerpání snadno dostupné zásoby se zvyšuje příjem z hlubšího podorničí, většinou současně s příjmem vody.

Na obrázku 9 je na základě víceletého sledování kořenů u hlavních plodin a literárních údajů znázorněna maximální hloubka kořenů (největší hloubka proniknutí kořenů) a tzv. efektivní hloubka kořenů, tedy hloubka, ze které rostliny dokáží odčerpat významný podíl, až 70–90 % ze zásoby dostupného minerálního dusíku. Příjem N kořeny přitom závisí kromě hustoty kořenů i na dostatečné vlhkosti a chemických vlastnostech půdy nebo potřebě dusíku v pozdějších fázích růstu. Méně příznivé podmínky pro odčerpání N v grafu představuje efektivní hloubka B. Podle rozsáhlého souboru dat z monitoringu obsahu N_{\min} v pokusech a v zemědělských závodech u různých plodin, před nástupem zimy a na jaře, obsah N_{\min} v podorničí dosahuje běžně i vyšší desítky kilogramů na hektar. Z hlediska výpočtu potřeby N, dávek i termínů hnojiv, pro danou kulturu z grafu vyplývá, že stanovením dostupné zásoby N_{\min} v návaznosti na hloubku kořenů daného druhu můžeme ušetřit značné množství hnojiv. Odběry půdy na určení N_{\min} jsou standardním postupem, ale je nutné zaměřit se nejen na povrchovou, orniční vrstvu, ale na hlubokých půdách u plodin s rozsáhlým kořenovým systémem určit obsah půdního N nejméně do 60 cm, u našich hlavních plodin s hlubokými kořeny optimálně až do 80–90 cm.



Obr. 9: Maximální hloubka kořenů, efektivní hloubka A (příznivé podmínky pro růst kořenů, delší doba růstu a příjmu N) a efektivní hloubka B (méně příznivé půdní a růstové podmínky pro příjem N)

Do skupiny plodin, které na hlubokých půdách pronikají kořeny až pod 1 m hloubky, patří ozimá pšenice, řepa cukrová, ozimá řepka, kukuřice, slunečnice, čirok. Jarní obilniny, jarní řepka a další brukvovité druhy včetně zelenin, dosahují hloubky okolo 80 cm. I u plodin, jako jsou luskoviny, trávy, některé zeleniny (petržel, mrkev, celer), cibuloviny nebo len pozorujeme kořeny až ve hloubce okolo 60 cm. Skutečně mělce kořenicí jsou jen zeleniny s krátkou dobou růstu, např. ředkvička, špenát nebo některé saláty. Samostatnou skupinu představují víceleté pícniny, zvláště vojtěška, které svými kořeny pronikají hluboko pod 1 m.

2.3.2 Využití dusíku z posklizňových zbytků jetelovin

Jednou z významných funkcí meziplodin, která v současné době získává na důležitosti, je schopnost vázat a zadržovat ve své biomase dusík a další prvky, či vázat vzdušný dusík pomocí symbiotických bakterií u jetelovin a luskovin (Kintl a kol. 2022, Schulz a kol. 2020, Vogeler a kol. 2019). Meziplodiny zabudováním živin z půdy do své biomasy snižují riziko jejich ztráty erozním smyvem a odtokem z povrchu půdy či vyplavením, čímž rovněž snižují riziko kontaminace povrchových i podzemních vod. Zbytky biomasy meziplodin, ať již kořenové či nadzemní, prochází mineralizací, díky čemuž získává následná plodina živiny v dobře přístupné formě.

Efektivní využití dusíku vázaného meziplodinou vyžaduje synchronizaci mezi uvolňováním dusíku ze zbytků meziplodiny a poptávkou po dusíku následnou plodinou (Schipanski a kol. 2014). Mineralizace dusíku ze zbytků biomasy meziplodiny v krátkodobém horizontu po zapravení do půdy se pohybuje mezi 20 a 50 % obsahu N v meziplodině, přičemž tato hodnota závisí na klimatických podmínkách, způsobu zpracování půdy či biochemických vlastnostech rostlinných zbytků, jako například poměr C : N (Chaves a kol. 2004; Nicolardot a kol. 2001; Thomsen a kol. 2016).

Poznatky z výzkumu

Cílem výzkumu bylo získat nové poznatky a přesnější údaje o využití dusíku z biomasy (vojtěška) následnou plodinou (ječmen jarní).

Dusík ze zapravených zbytků biomasy vojtěšky (obohacené o ^{15}N) byl již v jarních měsících dobře dostupný pro vyvíjecí se rostliny ječmene. Ve fázi odnožování (BBCH 23–25) bylo v rostlinách ječmene nalezeno více než 38 % N pocházejícího z biomasy vojtěšky. Z velké části byl tento kořeny přijatý dusík translokován do nadzemních částí a využit pro jejich růst a další vývoj (téměř 95 % z přijatého dusíku). Jen malá část byla nalezena v biomase kořenů (5,5 %).

Obdobný podíl dusíku přijatého z mineralizovaných zbytků biomasy vojtěšky byl v rostlinách jarního ječmene nalezen i v době sklizně (v průměru 36,3 %). Přijatý dusík byl z velké části využit pro tvorbu zrna, a měl tak vliv na výnos. V zrně a plevách bylo nalezeno téměř 85 % z přijatého dusíku. Menší podíl zůstal uložen ve slámě, zhruba 15 %.

Ječmen již v době odnožování využil více než jednu třetinu N z biomasy vojtěšky, což svědčí o tom, že biomasa vojtěšky byla do značné míry rozložena již v časných fázích vývoje ječmene. Z hlediska rozkladu měla zapravená biomasa vojtěšky příznivý poměr C : N (okolo 13,5 : 1), k rozložení zbytků přispěla i dostatečně dlouhá doba (půl roku) mezi zapravením zbytků a růstem ječmene. Vysoký podíl dusíku vojtěšky v zrně z celkově přijatého množství (v průměru 78,5 %) svědčí o úspěšné redistribuci přijatého dusíku z vegetativních částí rostlin ječmene do zrna v průběhu vývoje.

2.3.3 Listová výživa rostlin

Listová výživa zažívá v posledních letech velký rozmach a je široce uplatňována u mnoha plodin. Během poslední dekády lze výrazně častěji zaznamenat extrémní klimatické jevy (např. delší období sucha, vysoké teploty či přivalové srážky). Současně se zhoršuje kvalita půdy a snižuje rozmanitost mikrobiální populace (Rillig a kol. 2019). Všechny tyto faktory negativně ovlivňují příjem a využití živin z půdy plodinami. Listová výživa může

roślinám pomoci překlenout tato kritická období během jejich vývoje, kdy je příjem živin z půdy výrazně omezen. Zároveň představuje rychlou, cílenou a environmentálně přijatelnou možnost zlepšení produktivity plodin. Může pozitivně ovlivnit výnos a jeho kvalitu i snížit rizika spojená s aplikací živin do půdy, ať už jejich vyplavování či ztrátu volatilizací v období nepříznivých půdně klimatických podmínek.

Rychlost příjmu a následného využití živin je u foliární aplikace dána rychlostí jejich průchodu přes kutikulu. Kutikula, jakožto lipofilní vrstva kryjící povrch listu představuje hlavní bariéru pro látky, které jsou na list aplikovány. Hnojiva či látky na ochranu rostlin prochází přes kutikulu dvěma různými cestami – lipofilní nebo polární (Eichert a Goldbach, 2008), a to dle svého chemického složení, podrobněji uvádí metodika (Trčková a kol. 2009). Následný příjem do listových buněk a následný transport na místo potřeby již funguje obdobně, jako tomu je při příjmu kořeny.

Pro příjem foliárně aplikovaných živin platí:

- malé molekuly jsou přijímány rychleji než velké,
- nepolární molekuly (např. močovina) jsou přijímány lépe než látky iontové povahy,
- kationty (např. K^+ , NH_4^+) jsou přijímány lépe než anionty,
- jednomocné ionty (K^+) jsou přijímány lépe než dvojmocné (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+}) či trojmocné ionty.

Hnojení na list doplňuje hnojení do půdy a pro určité živiny, půdně klimatické podmínky, druhy rostlin a fenologická stadia může být účinnější a zároveň šetrnější k životnímu prostředí než hnojení půdy (Eichert a kol. 2012). Běžně se využívá pro korekci či udržení požadované úrovně živin v rostlině, v období omezené dostupnosti živin v půdě (např. v období sucha), pro dodání stopových živin s nízkou pohyblivostí ve floému (jako je mangan či železo) či v období zvýšené poptávky po živinách během vegetačního období.

Poznátky výzkumu a doporučení pro praxi

Samostatnou kapitolou je využití listové výživy v období tvorby zrna u obilnin. V tomto období dochází k výraznému poklesu příjmu živin kořeny. Nedostatek srážek v tomto období tento pokles dále umocňuje. Za těchto podmínek se listová výživa, zvláště dusíkem, stává jedinou možností, jak ovlivnit výnos zrna a jeho některé kvalitativní parametry. Pro příjem živin aplikovaných na list, účinnost jejich asimilace a následného využití pro rostoucí zrno je důležitá metabolická aktivita listů. Agrometeorologické podmínky v období před a během tvorby zrna mají rozhodující vliv nejen na dostupnost živin z půdy, ale i rychlost stárnutí listů a tím i jejich schopnost být zdrojem asimilátů pro vyvíjející se zrno. Současně mají vliv i na délku období, kdy je rostlina schopna uložené asimiláty přenést ze stárnoucích listů do zrna. Sucho a

zvýšená teplota v době před koncem plnění zrna mají za následek zkrácení tohoto období a tím pokles výnosu zrna.

Při hodnocení účinnosti příjmu a využití listově aplikované močoviny ve třech termínech aplikace (metání, kvetení a 10 dní po kvetení) za odlišné dostupnosti vody (sucho, optimální dostupnost) bylo zjištěno, že vhodně časovaná foliární aplikace optimalizuje využití dusíku rostlinou a pozitivně ovlivňuje výnos zrna. Při optimálních vláhových podmínkách byl aplikovaný dusík nejúčinněji využit při aplikaci až po odkvětu (přijato kolem 70 % z aplikovaného množství). V období sucha je vhodnější listovou aplikaci posunout blíže termínu kvetení dané odrůdy, kdy je menší riziko ztráty metabolické aktivity listů během senescence. Využití přijatého dusíku pro vlastní tvorbu zrna bylo nejvyšší až po odkvětu, kdy bylo více než 95 % z přijatého množství nalezeno v zrně.

2.3.4 Poznatky z polních výživářských pokusů

Optimalizace dusíkatého hnojení je vždy místně specifická, v precizním zemědělství se zohledňují i odlišnosti v rámci pozemku. Při stanovení obecné závislosti výnosů na hnojení se obvykle vychází z výživářských pokusů, ve kterých se aplikují stupňované dávky minerálních hnojiv. Pro hodnocení výsledků se pak využívají různé statistické analýzy a metody. Jednou z nich je kvadratický model (tzv. výnosová křivka). Ten umožňuje stanovit maximální průměrný výnos, spjatý s konkrétní vypočtenou dávkou minerálního hnojiva. Charakteristický průběh výnosové křivky nacházíme u obilnin – s rostoucí dávkou N zpočátku výnosy rostou, ale po dosažení lokálního maxima funkce pak začnou klesat, zejména z důvodu zkrácení kořenového systému i poléhání obilnin. Nevýhodou kvadratického modelu je fakt, že maximální vypočtený průměrný výnos může být spjat se zbytečně vysokou dávkou dusíku. Podle jiných, neparametrických modelů však může být, bez statisticky významných rozdílů, dosaženo výnosu zrna s nižšími dávkami N. Tyto modely dokáží stanovit bod výnosové křivky, od kterého pak při dalším stupňování dávek N již nejsou výnosy příliš rozdílné (Hlisnikovský a kol. 2022, 2024). Pomocí různých modelů lze stanovit i tzv. ekologické optimum nebo i ekonomické optimum, které se bude v jednotlivých letech lišit podle ceny hnojiv a rostlinných komodit.

Pšenice ozimá

Pšenice ozimá je v České republice nejvíce pěstovanou plodinou, následovaná řepkou ozimou. V porovnání např. s ječmenem vyžaduje vyšší úroveň hnojení dusíkem (N), neboť efektivita využití N je u pšenice nižší. Proto vyžaduje pšenice pro tvorbu srovnatelného výnosu vyšší dávky N. Výnosy pšenice a kvalita zrna jsou významně závislé na široké škále parametrů, jako je

způsob hnojení, předplodina, systém zpracování půdy, odrůda, nebo půdně klimatické podmínky.

Z dlouhodobých časových řad vyplývá, že průměrný výnos zrna ozimé pšenice byl v dlouhodobém polním pokusu v Praze-Ruzyni (Iuvizem) na úrovni 4,6 t/ha a po nástupu krátkostébelných odrůd se postupně zvýšil na 6,2 t/ha. Důležitou roli v případě výnosů ozimé pšenice hrají předplodiny. Velmi vhodnou předplodinou jsou víceleté pícniny, nejméně vhodnou předplodinou pak jsou pro pšenici obilniny, po kterých jsme zaznamenali nejnižší průměrné výnosy. Vojtěška a jetel dokážou poutat vzdušný N a poskytnout jej i následujícím plodinám. Při hodnocení výnosů pšenice ozimé následující v osevním postupu po vojtěšce jsme nezaznamenali významné rozdíly ve výnosech zrna mezi nehnojenou kontrolou a variantami hnojení s dávkami minerálního N pohybujícími se od 40 do 75 kg N/ha. U nehnojené kontroly bylo dosaženo průměrných výnosů na úrovni 6,8 t/ha. V případě variant s minerální formou N byly průměrné výnosy 7,4 až 7,5 t/ha. Tento poznatek je důležitý nejen např. pro ekologické zemědělství, ale i pro klasické konvenční, a to z hlediska možností redukce dávky minerálních N-hnojiv. Na základě použitého neparametrického modelu (Hlisnikovský a kol. 2022, 2024) se při pěstování pšenice po vojtěšce ukázala jako optimální dávka pouze 44 kg N/ha, korespondující

s vypočteným průměrným výnosem zrna 7,4 t/ha. Nižší výnosy pšenice jsme zaznamenali při jejím pěstování po organicky hnojených bramborách. U dusíkem nehnojené kontroly bylo dosaženo průměrného výnosu 4,7 t/ha, s rostoucí dávkou minerálního N výnos zrna pšenice dosáhl až na 6,9 t/ha. V případě brambor jako předplodiny byla na základě neparametrického modelu jako racionální stanovena dávka dusíku 66 kg N/ha, odpovídající vypočtenému průměrnému výnosu zrna 6,9 t/ha.

Avšak na pokusném stanovišti v Lukavci, kde jsou dlouhodobé pokusy provozovány na méně úrodné kambizemi, byly výsledky zcela odlišné. Pšenice velice dobře reagovala na dodaná minerální hnojiva, ve všech stupňovaných dávkách N. Na nehnojené kontrole bylo v letech 2019 až 2022 dosaženo průměrného výnosu 4,2 t/ha. S rostoucími dávkami N (max. 140 kg N/ha) se výnos zvýšil na 8,2 t/ha (předplodinou byla vojtěška). Na základě neparametrického modelu byla jako racionální dávka stanovena úroveň hnojení 131 kg N/ha, při vypočteném odpovídajícím obdobném výnosu, tedy 8,2 t/ha.

Ječmen jarní

Ječmen jarní se v České republice pěstuje pro produkci sladu i pro krmivářské účely. Výnosy a kvalita ječmene jsou podobně jako u pšenice významně ovlivněny především odrůdou, technologií zpracování půdy, předplodinou, použitím hnojiv, půdně klimatickými podmínkami i jinými faktory.

Nejdůležitější živinou je pro ječmen, obdobně jako pro všechny ostatní plodiny, dusík. V porovnání s pšenicí má ječmen mnohem vyšší efektivitu jeho využití, proto není tolik náročný na hnojení. V ČR se doporučené hnojení minerálním dusíkem pohybuje od 30 do 60 kg N/ha, v závislosti na způsobu využití produkce. Při pěstování sladovnického ječmene je nutné hnojení upravit, zejména s ohledem na obsah bílkovin v zrně. Pro takový typ produkce je hnojení někdy vhodné i úplně vynechat, zvláště pokud ječmen následuje pro víceletých pícevinách, organicky hnojené předplodině nebo cukrovce se zapraveným chrástem.

V rámci hodnocení výsledků z dlouhodobých pokusů jsme analyzovali, jak rozdílné hnojení (stupňované dávky N – 30, 60, 90 kg N/ha, hnojení jen N nebo živinami NPK) ovlivnilo výnosy ječmene jarního v různých půdně klimatických podmínkách ČR (Čáslav – degradovaná černozem, Ivanovice na Hané – černozem, Lukavec – kambizem). Předplodinou pro ječmen byla silážní kukuřice, hnojená hnojem skotu. V Čáslavi byly výnosy ječmene ovlivněny povětrnostními podmínkami jednotlivých let i hnojením. Oba faktory ovlivnily výnosy stejnou mírou (49 %). V jednotlivých letech byly nejnižší průměrné výnosy na úrovni 5,2 t/ha, nejvyšší pak 7,2 t/ha. Nejvyšší agronomickou efektivitu poskytly varianty hnojení s nízkými dávkami minerálního N (30 kg N/ha), kdy se účinnost dodaného N pohybovala od 72 do 83 kg zrna na 1 kg aplikovaného N. V případě dávek 60 a 90 kg N/ha se agronomická efektivita pohybovala od 39 do 27 kg zrna na 1 kg N. Na základě neparаметrického modelu byla jako racionální pro dané půdně klimatické podmínky stanovena dávka minerálního dusíku 32 kg N/ha, která korespondovala s průměrným výnosem 6,7 t/ha.

V Ivanovicích na Hané byly výnosy ovlivněny především hnojením (95 %). V jednotlivých letech byly nejnižší výnosy na úrovni 7,1 t/ha, nejvyšší 7,4 t/ha. Agronomická efektivita byla v Ivanovicích nejvyšší ze všech tří porovnávaných lokalit a pohybovala se od 102 do 113 kg zrna na 1 kg minerálního N u dávky 30 kg N/ha. Zvyšování dávky minerálního N pak efektivitu postupně snižovalo na 52–56 kg zrna (60 kg N/ha) a 38 kg zrna (90 kg N/ha) na 1 kg minerálního N. Jako racionální byla na základě neparаметrického modelu stanovena dávka minerálního dusíku 31 kg N/ha, odpovídající průměrnému výnosu 7,9 t/ha.

V Lukavci byly výnosy rovněž ovlivněny především způsobem hnojení, který ovlivnil výnosy z 84 %. V jednotlivých letech byly nejnižší výnosy na úrovni 4,3 t/ha, nejvyšší pak 5,4 t/ha. Agronomická efektivita byla srovnatelná se stanovištěm v Čáslavi. Dávka 30 kg N/ha poskytla průměrně 75–76 kg zrna na 1 kg minerálního N. Zvyšující se dávka minerálního N pak vedla ke snížení efektivity. S ohledem na méně vhodné půdně klimatické podmínky je v Lukavci nutné aplikovat vyšší dávky minerálního N. Jako racionální byla na základě neparаметrického modelu stanovena dávka 46 kg N/ha, čemuž odpovídal průměrný výnos 5,9 t/ha.

V Praze-Ruzyni (půdní typ luvizem) jsme hodnotili výsledky dlouhodobého pokusu, založeného v roce 1955. Pro analýzu racionální dávky minerálního N byly v rámci dlouhodobého pokusu využity výsledky z hnojení ječmene odrůdy *Sebastián*. Na základě neparametrického modelu byla jako racionální stanovena dávka dusíku 55 kg N/ha, korespondující s výnosem 6,7 t/ha.

Řepa cukrová

Řepa cukrová je významnou plodinou, která je velice vhodná pro přerušení obilnin v osevním postupu. Díky tomu, že je hnojena statkovými hnojivy, působí její zařazení do osevního postupu jako faktor pozitivně ovlivňující půdní vlastnosti. V rámci dlouhodobého pokusu v Praze-Ruzyni jsme hodnotili výnosovou reakci řepy cukrové na minerální hnojení (čtyři varianty hnojení v rozpětí 80 až 200 kg N/ha) a používání statkových hnojiv (hnůj skotu v dávce 21 t/ha), včetně jejich kombinací, a to v letech 2016 až 2018. Pokud byl hnůj aplikován samostatně, tedy bez přídatku minerálních hnojiv, poskytl navýšení výnosů v porovnání s nehnojenou kontrolou u bulev přibližně o 10 t/ha a u chrástu o 2 t/ha. K významnému navýšení výnosů bulev a chrástu vedla rovněž aplikace minerálních hnojiv. Nicméně rozdíly mezi různou úrovní minerálního hnojení (80, 120, 160 a 200 kg N/ha) nebyly statisticky významné a pohybovaly se od 61,3 t/ha (80 kg N/ha) po 67,7 t/ha (200 kg N/h) u bulev a od 22,6 t/ha (80 kg N/ha) po 26,8 t/ha (200 kg N/ha) u chrástu. Pavlů a kol. (2023) v sérii polních pokusů zjistili nejvyšší výnos po dávce 80 kg N/ha, přičemž změny výnosu v rozpětí dávek 40–120 kg N/ha byly nepatrné a náklady na vyšší hnojení se ve výnosu nevracely.

Na základě neparametrického modelu byla pro podmínky stanoviště v Praze-Ruzyni jako racionální stanovena dávka minerálního dusíku na úrovni 112 kg N/ha, korespondující s průměrným výnosem bulev 66 t/ha. Na rozdíl od našeho pokusu se v praxi doporučují dávky obvykle nižší, a to s ohledem na obsah minerálního dusíku v půdě i na další uvolňování dusíku v procesu mineralizace. V předjaří bývá v rámci monitorování zásoby dusíku v české řepařské oblasti zjišťováno i značné množství minerálního dusíku, vzniklého mineralizací organických látek na podzim i víceletou kumulací zbytkového dusíku nevyčerpaného předplodinami. Po suchých zimách nebo i celých ročnicích s nízkým úhrnem srážek narůstala v ČR zásoba minerálního N v půdě a tím klesala doporučovaná dávka, v průměru až na 27 kg N/ha. Po vlhčí zimě se na jaře 2024 doporučovalo minerálně hnojit více, v průměru 88 kg N/ha (rozmezí 34–128 kg N/ha). Znalost obsahu minerálního dusíku v půdě tedy pomůže agronomovi ušetřit i 30–40 kg N/ha proti obvyklému hnojení „na jistotu“ (Pavlů a kol. 2023). Uvedení autoři ve svých pokusech rovněž zjistili nejvyšší výnos polarizačního cukru při dávce 80 kg N/ha. Ani v pokuse v Praze-Ruzyni nebyl obsah cukru v bulvách variantou hnojení významně ovlivněn a pohyboval se od 19,7 % (200 kg N/ha) po 21,9 % (80 kg N/ha).

Společná aplikace hnoje a minerálních hnojiv (NPK) pak pozitivně ovlivnila i půdní chemické vlastnosti, především obsah půdního organického uhlíku a přístupných živin. Zatímco u dlouhodobě nehnojené kontrolní varianty pokusu byl obsah organického uhlíku v půdě 0,99 %, u variant s kombinací hnůj + minerální hnojiva se jeho koncentrace pohybovala od 1,26 % do 1,35 %.

Obsah přístupného fosforu se pohyboval od 20 mg P/kg u nehnojené kontroly po 93 mg P/kg (hnůj+NPK4) a draslíku od 150 mg K/kg (kontrola) po 254 mg K/kg (hnůj+NPK4).

Zaznamenali jsme i významné rozdíly v hodnotě pH půdy, která byla nejvyšší u varianty s aplikací hnoje (pH 6,6) a nehnojené kontroly (pH 6,4). Nejnižší pak byly hodnoty pH půdy u variant hnojených pouze minerálními hnojivy, a to v průměru pH 6,2. Společná aplikace hnoje a minerálních hnojiv pak poskytla průměrnou hodnotu pH 6,3.

Hnůj má vysoký poměr C : N, jeho mineralizace tedy trvá déle, než v případě statkových hnojiv s nízkým poměrem C : N (kejda). Kejda v prvním roce uvolní větší množství N, její účinek je tedy krátkodobější. Mineralizace živin ze hnoje trvá déle a hnůj tak poskytuje živiny i dalším plodinám v osevním postupu. Na základě výsledků dlouhodobých pokusů lze potvrdit, že pozitivní účinek hnoje na následné plodiny a jejich výnosy se projeví až tři roky po jeho aplikaci, kdy jsme zaznamenali významně vyšší výnosy u pšenice následující tři roky po hnojem hnojené okopaně. Hnůj působí na plodiny nejen tím, že jim poskytuje živiny, uvolněné procesem mineralizace, ale také nepřímo tím, že příznivě ovlivňuje půdní chemické, fyzikální a biologické vlastnosti půdy. Díky statkovým hnojivům se do půdy dostává organická hmota, což je základní stavební kámen zdraví a úrodnosti půdy. Je to důležitý faktor podporující mikrobiální složku půdy a její diverzitu. Současně se snižuje i negativní vliv minerálních hnojiv na chemické vlastnosti půdy, především pak na její pH.

2.4 Výživa a hnojení travních porostů

Pěstování travních porostů na orné půdě (TP) a trvalých travních porostů (TTP) přináší v agroekosystémech velmi cenný hospodářský prvek. Význam TP roste nejen z pohledu obhospodařování půdy, výnosu a kvality píce, ale i v oblasti jejich mimoprodukčních (ostatních) funkcí včetně ochrany životního prostředí (Menšík a Nerušil 2019).

Vzhledem k výraznému poklesu stavů skotu a ovcí může docházet k nežádoucímu nadbytku nutričně méně hodnotné píce a zhoršování porostové skladby s nízkým zastoupením pícninářsky hodnotných druhů trav a jetelovin. Důsledkem snížených stavů skotu a jejich zatížení na jednotku plochy TTP je i snížená produkce statkových hnojiv, což se kvůli sníženému vstupu živin do půdy z exkrementů pasoucích se zvířat projevuje ve snížení produkce píce a v nedostatečném využití produkčního potenciálu TP. Dalším limitujícím a mnohdy zcela zásadním faktorem při zajištění dostatečné produkce kvalitní píce z TTP v posledních letech sehrávají klimatické změny počasí doprovázené opakujícími se periodami sucha a vysokých teplot vzduchu v letních měsících (Rožnovský 2022). Problémy rovněž nastávají v důsledku nedostatku vody nejen v období intenzivního nárůstu píce první seče, ale i nerovnoměrnou distribucí srážek v průběhu celého vegetačního období (Menšík a kol. 2022).

Produkční význam TP, resp. TTP spočívá v tom, že při správně načasované sklizni poskytují důležitý zdroj kvalitního objemného glycido-bílkovinného krmiva. Kvalita píce je založena na vysoké stravitelnosti, koncentraci živin a jejich vzájemném poměru. V posledním desetiletí nachází vyprodukovaná a konzervovaná píce své potenciální využití rovněž jako velmi kvalitní substrát pro bioplynové stanice (BPS), náhradou za kukuřiči setou. Nejméně nákladnou cestou, jak smysluplně využít produkčního potenciálu TTP a zajistit dostatek kvalitní píce s vysokou užitnou hodnotou je možnost jejich intenzivního obhospodařování s vyšším počtem sečí a úrovní zatížení pastvou skotem.

Z pohledu výživy a hnojení travních porostů jsou pro produkci píce a její kvalitu nejvýznamnějšími živinami dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík (Fiala a kol. 2007), popř. síra (Ryant a Skládanka 2009).

Dusík je nejvýznamnější výnosotvornou živinou, podporuje dlouhivý růst rostlin, zvyšuje počet odnoží, a tím hustotu porostu. Nepřímo však snižuje podíl jetelovin a podporuje vzrůstné druhy trav a ostatních bylin. Ovlivnění kvality píce dusíkem spočívá v nárůstu dusíkatých látek v sušině a její stravitelnosti. Nadměrné dávky N snižují obsah sušiny píce, zvyšují koncentraci vlákniny (Noller a Rhykerd 1974, Míka 1986), ale nemají vliv na koncentraci vodorozpustných cukrů (Pelletier a kol. 2009). Koncentrace dusíku v píci travních porostů se pohybuje v rozmezí 20–35 g N/kg sušiny. Pravidelné dusíkaté hnojení vede k redukci počtu druhů o 50–60 %. Soustavné hnojení sečných porostů ročními dávkami dusíku nad 60 až 70 kg/ha eliminuje

jeteloviny (Neružil a kol. 2008). Dávky N nad 100 až 150 kg/ha způsobují postupné rozšiřování výběžkatých trav. Ty jsou lépe přizpůsobeny pro využití vyšších nárazových dávek lehce přijatelného dusíku než volně trsnaté trávy, které po počátečním rozšíření pozvolna ustupují. Nejčastějšími superdominantními druhy trav jsou psárka luční, lipnice luční či pýr plazivý.

Hnojení fosforem podporuje především rozvoj jetelovin v travním porostu a zvyšuje koncentraci P v píci (Oelmann a kol. 2011, Dindová a kol. 2019). Tím přispívá ke zvýšení kvality luční a pastevní píce a je tedy obecně hodnocen jako živina kvalitativní. Koncentrace fosforu v luční píci má být 3,0–3,5 g P/kg sušiny. V případě hnojení travních porostů statkovými a organickými hnojivy s nízkým obsahem fosforu je vhodné případný deficit této živiny v půdě doplňovat minerálními hnojivy. Při použití fosforečných hnojiv je nutno sledovat, popř. upravit půdní reakci, neboť v kyselém prostředí dochází k vazbám fosforu na ionty kovů (Al, Fe) a tím snížení využitelnosti pro rostliny (Opitz von Boberfeld 1994). Dostatek fosforu a draslíku v půdě působí příznivě na rozvoj jetelovin – mají nižší schopnost pro jeho příjem, takže trávy při nižším obsahu draslíku v půdě jetelovinám konkurují (Whitehead 2000).

Při přehnojení draslíkem v interakci s dusíkem (často po jednostranném a opakovaném močůvkování) dochází k hromadění draslíku v sušině trav (Holúbek a kol. 1990) a k ústupu jetelovin. Později jsou z porostu širokolistými rostlinami, hlavně šťovíky vytlačovány i trávy (Poulík 1996, Křišťálová a kol. 2011, Hejcman a kol. 2014). Nepřímá podpora produkce píce při hnojení draslíkem spočívá ve vyšší odolnosti rostlin proti nízkým teplotám a zvýšené odolnosti proti chorobám. Koncentrace draslíku nad 25 g K/kg sušiny píce může být příčinou metabolických a reprodukčních poruch zvířat a snižuje chutnost píce (Míka 1986, Ryant a Skládanka 2004).

Hořčík je limitujícím prvkem zejména v mladé píci na počátku vegetace v jarním období. Nedostatek hořčíku a současný přebytek draslíku vyvolává tzv. pastevní tetanii, která se vyznačuje sníženou koncentrací hořčíku v krvi a způsobuje poruchy v trávení a tympanii (Kudrna a kol. 1998). Hodnotí se proto tzv. tetanický poměr $(Ca + Mg) : K$, který by měl být 1 : 2,2 [meq] a užší (Míka 1983, Mrkvička 2004).

Intenzívně obhospodařované luční (travní) porosty jsou velmi náročné na živiny. Odběr živin nadzemní biomasou kolísá v závislosti na půdně klimatických podmínkách stanoviště, botanickém složení porostu, úrovni hnojení, frekvenci využívání, termínu sklizně a dalších faktorech. Výnosem 1 t sena čerpá luční porost v kosné zralosti (fáze metání 50 % v porostu dominujících druhů) 16–22 kg N, 2,5–3 kg P, 18–25 kg K, 5–8 kg Ca a 1,5–3 kg Mg (Lichner a kol. 1983; Ryant a Skládanka 2004, Holúbek a kol. 2007). Při produkci píce na úrovni 7 t sušiny z jednoho hektaru odebere travní porost 130–150 kg N, 17–20 kg P a 140–160 kg K (Hrabě a Buchgraber 2004). Ovlivnění kvality píce dusíkem spočívá v nárůstu dusíkatých látek v sušině a její

stravitelnosti (Noller a Rhykerd 1974, Butkute a kol. 2014). Hlavní podíl na navrácení živin do půdy, odebraných sklizněmi travních porostů, by mělo tvořit hnojení minerálními, statkovými nebo organickými hnojivy.

Významnou část potřebného dusíku mohou také zabezpečit hlízkové bakterie při symbiotické fixaci vzdušného dusíku na kořenech jetelovin. Hrabě a Buchgraber (2004) uvádí, že množství takto získaného dusíku, potenciálně využitelného pro další složky travního porostu se pohybuje v rozsahu 1,9–3,0 kg N na 1 % dominance jetelové složky. Určitý podíl dusíku může být ročně dodán do půdy rovněž nesymbiotickou fixací, tj. mykorhizou hub a trav v porostu (cca 10 kg N/ha), a také z ovzduší (15–30 kg N/ha podle výskytu atmosférických výbojů a znečištění ovzduší).

Poznátky z výzkumu a doporučení pro praxi

Intenzivní (čtyřsečné) i středně intenzivní (třísečné) využití TTP v kombinaci s modelovým zatížením pastviny dvěma, resp. 1,4 DJ/ha zajistí srovnatelné množství píce jako u dvousečného využití a zatížení 0,9 DJ/ha, avšak s vyšší dosaženou kvalitou píce. Včasná sklizeň, provedená za příznivých podmínek v optimální fenofázi v porostu dominujících hodnotných druhů trav poskytuje krmivo s vysokou kvalitou píce a umožňuje tak zvířeti zkrmovat jeho větší množství při nižší spotřebě koncentrátů. U krmiva z TTP s vysokou krmnou hodnotou a stravitelností lze také očekávat zvýšený dobrovolný příjem zvířaty, což má pozitivní vliv zejména na celkovou bilanci příjmu sušiny, plnivost bachoru, podíl strukturální vlákniny, stimulaci bachorové mikroflory apod. Při extenzivním způsobu obhospodařování TTP naopak může docházet k přebytkům hůře zkrmitelné píce o nižší krmné hodnotě, se zvýšenými nároky na potřebu jaderných krmiv a koncentrátů. Tato skutečnost pak v konečném důsledku zvyšuje celkové náklady na mléčnou i masnou produkci.

První seč má stěžejní podíl na celkovém úhrnu produkce píce včetně kvalitativních parametrů píce, těžištěm výnosu je proto včasná jarní aplikace dávky dusíku. Po první a dalších sečích volíme dávku dusíku podle stavu porostu, vláhý a obsahu N_{min} v půdě. Kejdou a digestátem hnojíme bezprostředně po seči a odklizení hmoty z pozemku, aby hnojiva neulpěla na obrůstajících listech rostlin. Větší obezřetnosti je nutno dbát při hnojení vyššími dávkami kejdy, kdy hrozí nebezpečí šíření semen šťovíku a jiných invazivních druhů. Aplikaci kejdy nebo digestátu je nezbytné provádět se současným zapravením do půdy např. pomocí adaptéru s diskovými jednotkami (zamezení ztrát amonné formy N). Výhody diskového aplikátoru: (1) předností aplikace digestátu nebo kejdy do diskem prořezané drážky oproti povrchové aplikaci hadicovým aplikátorem spočívá především v omezení ztrát amonné formy dusíku, (2) při aplikaci hnojiva do drážky nedochází v případě větší prodlevy od provedené sklizně k potřísnění a kontaminaci obrůstajícího travního porostu (obrázek 10).

Při použití a aplikaci statkových a organických hnojiv na TTP se vychází ze znalosti půdně klimatických podmínek stanoviště, přičemž je nutné respektovat potřeby rostlin, požadavky na hospodaření ve zranitelných oblastech (informace na webové stránce www.nitrat.cz) a další omezující podmínky, vyplývající z platné legislativy (např. zákon o hnojivech, zákon o vodách, vyhláška o skladování a způsobu používání hnojiv, dotační předpisy – DZES, ekoplatba, minimální požadavky na použití hnojiv).

V zemědělských podnicích s volným bezstelivovým ustájením skotu, popř. provozem bioplynových stanic (BPS), lze pro jejich pozitivní efekt na dosaženou produkci, k hnojení TTP výhodně využít tekutá statková hnojiva nebo kapalná organická hnojiva s vyšší účinností a lepší přijatelností amonné formy dusíku rostlinami (kejda, digestát). Hnojení TTP hnojem v kombinaci s močůvkou má pozitivní dopady na kvalitu půdního prostředí a lze je rovněž v případě dostatku využít, ovšem v praxi bývá více upřednostňováno k hnojení polních plodin na orných půdách, zejména okopanin.



Obr. 10: Aplikace kapalných organických hnojiv (digestát) do travních porostů v oblasti Malé Hané /Chornice/ (aplikátor Terra Gator + Eurojet 3500), jaro 2017 (foto P. Nerušil)

2.5 Bilance živin a plány hnojení

Bilancování živin a nepřímé sledování jejich účinnosti je vhodným prostředkem pro rychlou diagnostiku situace v hospodaření se živinami na různých úrovních agroekosystému. Při výpočtu bilance živin je nutné zohlednit hranice vstupů a výstupů, kdy jsou sledovány toky dusíku a fosforu dovnitř a ven ze systému půda – rostlina.

Pro bilancování dusíku existují různé postupy, např. faremní bilance, povrchová bilance (OECD), hrubá / čistá bilance (EUROSTAT) a zemědělská bilance.

Tab. 10: Bilanční položky zemědělské bilance

VSTUPY	VÝSTUPY
minerální hnojiva	sklizené hlavní i vedlejší produkty (<i>sláma</i>)
statková hnojiva živočišného původu, vč. steliva (<i>hnůj kejda, drůbeží trus, ...</i>)	
organická hnojiva (<i>digestát, kompost, ...</i>)	BILANČNÍ ROZDÍL
upravené kaly	ztráty živin do ovzduší (aplikace hnojiv, procesy v půdě)
symbiotická fixace dusíku	ztráty do vody (vyplavení), ztráty erozí půdy
	akumulace živin nebo ochuzení půdy

Výpočetní program pro bilanci dusíku, fosforu a draslíku naleznete např. na www.vurv.cz (Poradenství – Software (bilance) nebo www.organickahmota.cz (výpočet bilance organické hmoty a živin on-line).

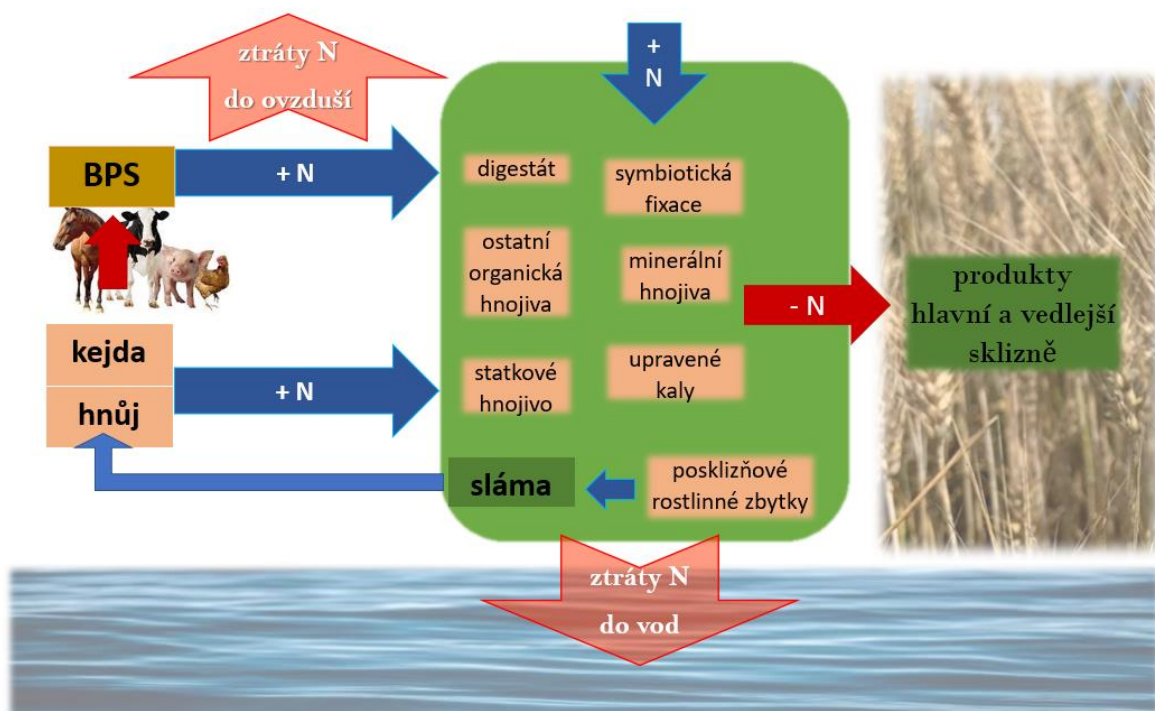
Kladný výsledek bilance dusíku, tedy jeho bilanční přebytek většinou představuje ztráty do vod i ovzduší, spojené s procesy koloběhu dusíku (emise, vyplavování, eroze). Kladná bilance však může znamenat i cílenou akumulaci N v půdě při zvyšování obsahu půdní organické hmoty. V zásadě by z hlediska správné interpretace výsledku bilance měly být zohledněny i změny stavu půdy.

Výsledek bilance dusíku v praxi ovlivňuje řada faktorů, jako jsou struktura využití půdy (% zornění, kultury, plodiny), stavy hospodářských zvířat, spotřeba minerálních hnojiv, poměr dodávaných živin, půdně klimatické podmínky, průběh počasí v konkrétním roce (teplota, srážky) a s tím související dosahované výnosy atd.

Pokud je dosaženo příznivého výsledku bilance N, znamená to, že finanční prostředky použité na nákup minerálních hnojiv byly využity racionálně. Při dodržování všech pravidel a zásad správné zemědělské praxe může být dosahován bilanční přebytek dusíku na úrovni 20–40 kg N/ha. U závodů bez

hospodářských zvířat bývá přebytek nižší. Ekologicky hospodařící zemědělci mohou vykazovat vyrovnanou bilanci či dokonce bilanční nedostatek. Při vyšším zatížení půdy hospodářskými zvířaty je přebytek N většinou vyšší, v důsledku ztrát dusíku při používání statkových hnojiv. Možné příčiny vysokého bilančního přebytku dusíku:

- nízké výnosy plodin z důvodů nepříznivého průběhu povětrnosti (sucho),
- nízké výnosy v delším období, jejichž příčinou mohou být nepříznivé půdní podmínky
 - struktura půdy,
 - pH půdy,
 - množství a kvalita půdní organické hmoty,
 - nízký obsah přístupného fosforu,
 - nevhodný poměr kationtů apod.
- nízká hnojivá účinnost statkových a organických hnojiv (hlavně kejda a digestát), aplikovaných v létě a na podzim (vysoké ztráty N) – využití tohoto dusíku lze zlepšit přesunutím části aplikace na jaro (to vyžaduje investice do stavby skladů) nebo agrotechnickým opatřením (hnojení k ozimům, meziplodinám, ke slámě; využití inhibitorů nitrifikace; nehnojení po kukuřici apod.).



Obr. 11: Schéma zemědělské bilance dusíku

Kromě bilance dusíku je vhodné současně počítat i bilance dalších živin, zejména fosforu a draslíku. Zde je nutné upozornit na to, že základní bilance P a K v některých programech jsou pouze orientační a nelze je hodnotit bez znalostí o stavu zásob přístupných živin v půdě, jejich poměru, rozdělení v různých vrstvách ornice apod. Zejména při vysokých zásobách přístupného fosforu nebo draslíku v půdě lze hospodařit i několik let se zápornou bilancí uvedených živin.

Pro účely bilance živin i plánů hnojení je třeba znát odběr živin ve sklizených produktech. Příklady odběru živin na 1 ha uvádí tabulka 11 (vyhláška č. 377/2013 Sb.; Klír a kol. 2008). Pro udržování optimální zásoby živin (P, K, Mg, ...) je doporučováno v rámci osevního sledu navracet do půdy živiny, a to zhruba na úrovni jejich dlouhodobého exportu sklizněmi. V postupech precizního zemědělství je vhodné doplňovat fosfor např. podle výnosových map, signalizujících odlišný odběr fosforu z půdy na různých částech pozemku.

Tab. 11: Průměrný odvoz živin ve sklizených produktech

Plodina	Výnos (t/ha)	Dusík (kg N/ha)	Fosfor (kg P/ha)	Draslík (kg K/ha)	Hořčík (kg Mg/ha)	Síra (kg S/ha)
Pšenice ozimá	7,0	143	20	25	9	14
<i>vč. sklizené slámy</i>		172	24	94	15	23
Žito	6,0	97	21	31	8	12
<i>vč. sklizené slámy</i>		124	28	95	14	21
Ječmen ozimý	7,0	120	24	36	9	14
<i>vč. sklizené slámy</i>		149	29	93	14	21
Ječmen jarní	6,0	91	17	23	8	12
<i>vč. sklizené slámy</i>		112	20	73	11	17
Oves	4,0	74	16	20	5	8
<i>vč. sklizené slámy</i>		102	23	104	10	15
Tritikále	6,0	107	23	28	8	12
<i>vč. sklizené slámy</i>		139	29	100	13	20
Hrách na zrno	3,0	108	11	25	3	6
Řepka	3,5	123	25	28	9	18
Brambory	35,0	126	18	158	7	11
Řepa cukrová	70,0	120	21	140	28	21
Kukuřice na siláž	40,0	188	28	176	12	20
Jetel (v seně)	6,0	145	12	107	22	24
Vojtěška (v seně)	7,0	198	16	127	13	28
Trávy (v seně)	4,0	87	10	83	10	10

V poslední době dochází k posunu hodnocení kritérií Agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP). Za optimální obsah lze u fosforu vedle dobré zásoby považovat již i vyhovující zásobu P (Smatanová 2022), z ekologického hlediska uplatněnou i pro tzv. nahrazovací hnojení v rámci ekoplatby (§ 24a nařízení vlády č. 83/2023 Sb.). U draslíku se za optimum považuje jeho dobrá zásoba (Balík a kol. 2022), kterou však Mühlbachová a kol. (2023) doporučují na nižší než současné úrovni, s částečným překryvem se současnou kategorií vyhovující zásoby (kapitola 2.2.1).

Navracení živin, zejména fosforu a draslíku do půdy je třeba realizovat v průběhu osevního sledu, přičemž je vhodné reagovat na zvýšenou potřebu a dobrou reakci určitých plodin na jednotlivé živiny. Např. hnojení draslíkem je vhodné směřovat k okopaninám, hnojení fosforem ke kukuřici apod. (Trávník a kol. 2020).

Tab. 12: Průměrné dodání živin ve statkových hnojivech

Hnojivo	Dávka (t/ha)	Dusík (kg N/ha)	Fosfor (kg P/ha)	Draslík (kg K/ha)	Hořčík (kg Mg/ha)	Síra (kg S/ha)
Hněj skotu	30	201	42	189	27	30
Kejda skotu	20	78	14	51	8	8
Kejda prasat	20	82	21	35	8	8
Drůbeží trus sušený	5	175	73	96	14	20

Při bilancování živin se postupuje jinak než při stanovení potřeby hnojení plodin:

- V bilanci se započítává export živin ve vedlejším produktu, jen pokud je odvážen z pozemku. Při stanovení potřeby hnojení plodin se zohledňuje potřeba dusíku (=odběr živin) nejen pro tvorbu hlavního produktu, ale i vedlejšího produktu, a to i když nebude odvážen z pozemku.
- V bilanci na úrovni regionu se přímo započítává vstup N v osivu a sadbě a rovněž přívod při nesymbiotické fixaci N a ve srážkách; na úrovni zemědělského závodu / DPB / pozemku se však tyto vstupy nezapočítávají a o to se pak snižuje akceptovatelný bilanční přebytek. Při stanovení potřeby hnojení se na základě půdně klimatických podmínek stanoviště odhadují pravděpodobné ztráty dusíku či jeho „zisky“ ze zdrojů mimo hnojení. Tato tzv. korekce na dusíkový režim stanoviště vlastně zohledňuje působení dusíku ze „staré půdní síly“. V optimálních podmínkách bez vyplavování dusíku korekce odpovídá přínosu dusíku v osivu a sadbě a rovněž přívodu při nesymbiotické fixaci a ve srážkách, tedy v minoritních položkách nezapočítávaných na úrovni závodu či pozemku ani do bilance dusíku.

- V bilanci se započítává celkový přívod N ve statkových hnojivech (např. 6,7 kg N/t hnoje), organických a organominerálních hnojivech, příp. upravených kalech. V plánech hnojení se místo celkového přívodu živin do půdy započítávají tzv. účinné živiny využitelné rostlinami v prvním nebo dalších letech po organickém hnojení:
 - 30 % z celkového dusíku hnojiv s pomalu uvolnitelným dusíkem (hnůj, kompost, ...) a upravených kalů (a 20 % ve druhém roce – nepovinné dle akčního programu nitrátové směrnice),
 - 60 % z celkového dusíku hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem (kejda skotu, drůbeží trus, digestát, ...),
 - 70 % z celkového dusíku hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem (kejda prasat).
- Do bilance se také započítává celková hodnota každoroční symbiotické fixace dusíku (nové hodnoty dle 6. akčního programu nitrátové směrnice uvedeného v novele nařízení vlády č. 262/2012 Sb., schválené v roce 2024)
 - 180 kg N/ha jetele nebo vojtěšky,
 - 120 kg N/ha hrachu, bobu a sóji pěstovaných na semeno,
 - 80 kg N/ha ostatních plodin vázajících vzdušný dusík nebo směsí plodin vázajících vzdušný dusík s jinými plodinami.
- Pro účely plánů hnojení se z přívodu N symbiotickou fixací započítává jen část tohoto dusíku uvolňovaná pro potřeby následné plodiny z kořenových i nadzemních rostlinných zbytků luskovin a jetelovin (upraveno dle 6. akčního programu nitrátové směrnice uvedeného v novele nařízení vlády č. 262/2012 Sb., schválené v roce 2024):
 - 50 kg N/ha po jeteli nebo vojtěšce, nebo
 - 25 kg N/ha po ostatních plodinách vázajících vzdušný dusík nebo směsích plodin vázajících vzdušný dusík s jinými plodinami.

3 Srovnání novosti postupů

Z důvodu vývoje a změn způsobů zemědělského hospodaření, i s přihlédnutím ke změnám klimatu a novým požadavkům na ochranu prostředí je nutné změnit dříve doporučované postupy i metody bilancování a plánování hospodaření a opřít je o nové poznatky. Metodika vychází z výsledků výzkumu za poslední období, kdy byly vyhodnoceny dlouhodobé i nově založené pokusy, na jejichž základě byly analyzovány dosavadní postupy hospodaření a navrženy nové přístupy pro udržitelné hospodaření v podmínkách ČR.

4 Popis uplatnění metodiky

Publikace bude prakticky využitelná pro plánování hnojení a bilancování živin a organických látek na základě nových poznatků vycházející z aktuálních výsledků výzkumu. Na základě nových dat jsou zemědělské praxi předkládány informace o možných dopadech konkrétních způsobů hospodaření, a to především vzhledem k udržitelnosti hospodaření se živinami a organickými látkami v půdě.

Uplatnění metodiky je dáno i potřebou získávání nových odborných podkladů a nástrojů hodnocení v rámci NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2021/2115, kterým se stanoví pravidla podpory pro strategické plány, jež mají být vypracovány členskými státy v rámci společné zemědělské politiky (strategické plány SZP). Za účelem podpory agronomické i environmentální výkonnosti zemědělských podniků by měly být zemědělcům poskytovány nástroje a informace o hospodaření s živinami (dusík a fosfor), které mohou být z environmentálního hlediska mimořádně problematické, a vyžadují zvláštní pozornost.

Metodika je v tištěné formě šířena na odborných seminářích a prezentacích a je k dispozici pracovníkům zemědělského poradenství. V elektronické podobě je zveřejněna na webových stránkách Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. (www.vurv.cz) a na stránkách nitrátové směrnice (www.nitrat.cz), kde jsou formou webových odkazů k dispozici i doplňující informace a zajímavosti k jednotlivým tématům. Metodika je uplatněna v rámci poradenského systému MZe, prostřednictvím Ústavu zemědělské ekonomiky a informací.

5 Ekonomické aspekty

Nezbytným úkolem udržitelného hospodaření v zemědělství je činit správná rozhodnutí na úrovni farmy vzhledem k efektivnímu využívání všech vstupů pro produktivitu plodin a rentabilitu hospodaření při zachování kvality životního prostředí a udržitelnosti agroekosystému.

Nastavení optimálního hnojení plodin je nezbytným článkem k dosažení ekonomických a ekologických přínosů při udržitelném pěstování plodin. Předpokládané ekonomické úspory při dodržení správných zásad mohou dosahovat úrovně až 5 % ušetřených nákladů na minerální dusíkatá hnojiva, tedy zhruba 130 mil. Kč ročně. Úspora souvisí s využíváním minerálních hnojiv ve vhodných obdobích a dávkách při zavedení správných agrotechnických zásad do zemědělské praxe.

Pokud by se cíleným hnojením ušetřilo přibližně 5 % fosforečných a draselných hnojiv, celková úspora by při zohlednění potřeb rostlin mohla činit přibližně 57 milionů Kč ve fosforečných hnojivech a 30 milionů Kč v draselných hnojivech. Největší úspora vznikne v podnicích, kde je uplatňováno organické hnojení. Nekvantifikovatelným faktorem je kromě finanční úspory v aplikaci hnojiv také omezení ztrát živin z půdy, zlepšení půdní struktury a snížení rizika vodní eroze a eutrofizace vod.

Udržitelné hospodaření se živinami a organickými látkami v půdě založené na správné zemědělské praxi může přinášet nejen finanční úsporu, ale i zlepšení kvality životního prostředí omezením znečištění vod a ovzduší.

6 Seznam použité související literatury

Balík J., Vaněk V., Suran P., Pavlíková D. (2022). Zásoba živin v půdě s akcentem na problematiku draslíku. In: Sborník z 28. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku hnojení rostlin v době hospodářské krize, s. 17-26.

Brock C., Oberholzer H.-R., & Franko U. (2017). Soil organic matter balance as a practical tool for environmental impact assessment and management support in arable farming. In *European Journal of Soil Science* (Vol. 68, Issue 6, pp. 951–952). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1111/ejss.12495>.

Brock C., Oberholzer H.-R., Schwarz J., Fließbach A., Hülsbergen K.-J., Koch W., Pallutt B., Reinicke F., Leithold G. (2012). Soil organic matter balances in organic versus conventional farming-modelling in field experiments and regional upscaling for cropland in Germany. *Org. Agr.*, 2, 185–195. <https://doi.org/10.1007/s13165-012-0033-8>.

Butkutė B., Lemežienė N., Dabkevičienė G., Jakštas V., Vilčinskas E., Janulis V. (2014). Source of variation of isoflavone concentrations in perennial clover species. *Pharmacogn. Mag.*, 10, 181–188. doi: 10.4103/0973-1296.127373.

De Nobili M., Bravo C., Chen Y. (2020). The spontaneous secondary synthesis of soil organic matter components: A critical examination of the soil continuum model theory. *Applied Soil Ecology*, 154, 103655. doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103655.

Dindová A., Hakl J., Hrevušová Z., Nerušil P. (2019). Relationships between long-term fertilization management and forage nutritive value in grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 279, 139–148. doi:10.1016/j.agee.2019.01.011.

Eichert T., Goldbach H. E. (2008). Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces – further evidence for a stomatal pathway. *Physiologia Plantarum* 132/4, 491-502. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01023.x>.

Eichert W. S., Fernández T., V., Müller T., & Römheld V. (2012). Boron foliar fertilization of soybean and lychee: effects of side of application and formulation adjuvants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(2), 180-188. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100107>.

Fiala J., Kohoutek A., Klír J. (2007). Výživa a hnojení travních a jetelovino-travních porostů. *Metodika pro praxi*. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, 36 s. ISBN 978-80-87011-25-6.

Gao H., Wei J., Zhang Y., Zhang L., Chang J., Thompson M. L. (2016). Decomposition Dynamics and Changes in Chemical Composition of Wheat Straw Residue under Anaerobic and Aerobic Conditions. *PLoS One*, 11, e0158172., doi: 10.1371/journal.pone.0158172.

Hejčman M., Strnad L., Hejčmanová P., Pavlů V. (2014). Biological control of *Rumex obtusifolius* and *Rumex crispus* by goat grazing. *Weed Biology and Management*, 14, 115–120.

Hlisnikovský L., Ivičic P., Barlóg P., Grzebisz W., Menšík L., Kunzová E. (2022). The Effects of Weather and Fertilization on Grain Yield and Stability of Winter Wheat Growing on Orthic Luvisol—Analysis of Long-Term Field Experiment. *Plants* 11, 1825. <https://doi.org/10.3390/plants11141825>.

Hlisnikovský L., Menšík L., Roman M., Kunzová E. (2024). The Evaluation of a Long-Term Experiment on the Relationships between Weather, Nitrogen Fertilization, Preceding Crop, and Winter Wheat Grain Yield on Cambisol. *Plants* 13, 802. <https://doi.org/10.3390/plants13060802>.

Hlušek H. (2004). Statková hnojiva – sláma na hnojení: Multimediální učební texty z výživy rostlin – Hnojení slámou (mendelu.cz).

Holúbek R., Jančovič J., Folkman I. (1990). Potassium content changes in dry matter of permanent grassland. *Rostlinná výroba*, 36(6), s. 653–659.

Hrabě F., Buchgraber K. (2004). Pícninářství – Travní porosty. MZLU AF, Brno, 151 s.

Chaves B., De Neve S., Hofman G., Boeckx P., & Van Cleemput O. (2004). Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio)chemical composition. *European Journal of Agronomy*, 21, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.07.001>.

Kintl A., Sobotková J., Elbl J., & Huňady I. (2022). Lokální zdroj dusíkatých látek ze smíšené kultury kukuřice a fazolu. *Agromanuál 2022/8*, s. 78–79.

Klement V., Smatanová M., Trávník K. (2012). Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice. *ÚKZÚZ*, 58 s.

Klír J., Haberle J., Růžek P., Šimon T., Svoboda P. (2018). Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. Certifikovaná metodika pro praxi. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 43 s.

Klír J., Kunzová E., Čermák P. (2008). Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Metodika pro praxi. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 48 s.

Klír J., Wollnerová J. (2022). Model OH pro ekoplatbu 2023. Software. Praha, VÚRV, v.v.i., <https://www.vurv.cz/2022/10/19/model-oh-pro-ekoplatbu/>.

Klír J., Wollnerová J., Dědina M., Beranová J. (2021). Bilancování dusíku v zemědělství. Certifikovaná metodika. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 46 s.

Křišťálová V., Hejčman M., Červená K., Pavlů V. (2011). Effect of nitrogen and phosphorus availability on the emergence, growth and over-wintering of *Rumex crispus* and *Rumex obtusifolius*. *Grass and Forage Science*, 66(3): 361–369.

Kubát J., Cerhanová D., Mikanová O., Šimon T. (2008). Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 35 s. ISBN978-80-87011-65-2.

Kudrna V. (1998). Produkce krmiv a výživa skotu. Agrospoj Praha, 362 s.

Lehmann J., Kleber M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528, 60–68. doi.org/10.1038/nature16069.

Lichner S. (1983). *Krmovinářstvo. Příroda Bratislava*, 548 s.

Mehlich A. (1984). Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15, 1409–1416.

Menšík L., Nerušil P. (2019). Produkční, kvalitativní a porostové změny trvalého lučního společenstva ve vztahu k intenzitě využívání a úrovni hnojení v oblasti Malé Hané. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.. Praha, 122 s. ISBN 978-80-7427-319-3.

Míka V. (1983). Obsah Mg a dalších minerálních látek v jarní píce. *Rostlinná výroba*, 29(9): 927–935.

Míka V. (1986). Chutnost a příjem píce odrůd trav a jetelů. In: *Nutriční hodnota trávnej biomasy*. Banská Bystrica, VÚLP, s. 28–40.

Mrkvička J. (2004). *Pastvinářství*. 3. vyd., ČZU AF Praha, 82 s.

Mühlbachová G., Kusá H., Vavera R., Káš M. (2023). Použití diagnostických metod pro hodnocení přijatelných živin v půdě. *Metodika pro praxi*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 44 s.

Neff J. C., Townsend A. R., Gleixner G., Lehman S. J., Turnbull J., Bowman W. D. (2002). Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature*, 419, 915–917.

Nerušil P., Kohoutek A., Komárek P., Odstrčilová V. (2008). Effects of utilisation intensity and fertilization level on forage production and quality of permanent grassland on a fluvisoil. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, LVI (5): 153–162.

Nicolardot B., Recous S., & Mary B. (2001). Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition : A simple dynamic model based on the C : N ratio of the residues. *Plant and Soil*, 228, 83–103. <https://doi.org/10.1023/A:1004813801728>.

Noller C. H., Rhykerd C. (1974). Relationship of Nitrogen Fertilization and Chemical Composition of Forage to Animal Health and Performance. In: *Forage Fertilization*, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 363–394.

Oelmann Y., Richter A. K., Roscher C., Rosenkranz S., Temperton V. M., Weisser W. W., Wilcke W. (2011). Does plant diversity influence phosphorus cycling in experimental grasslands? *Geoderma*, 167–168: 178–187.

Opitz von Boberfeld W. (1994). *Grünlandlehre*. Stuttgart, Ulmer. 336 pp.

Pausch J., Kuzyakov Y. (2018). Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Glob. Chang. Biol.*, 24, 1–12. <https://doi.org/10.1111/gcb.13850>.

Pavlů K., Křováček J., Chochola J. (2023): Moderní trendy ve výživě a hnojení cukrovky. In: Sborník z 29. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku hnojení rostlin v době hospodářské krize, s. 49–58

Pelletier S., Tremblay G. F., Lafrenière C., Bertrand A., Bélanger G., Castonguay Y., Rowsell J. (2009). Nonstructural carbohydrate concentrations in timothy as affected by N fertilization, stage of development, and time of cutting. *Agronomy Journal*, 101:1372–1380.

Pouлік Z. (1996). Výživa a hnojení pícních kultur. Praha, MZE ČR, 32 s.

Raimanová I., Svoboda P., Moulík M., Wollnerová J., Haberle J. (2024). The effect of water availability on the carbon content of grain and above – and belowground residues in common and einkorn wheat. *Plants*, 13(2), 181. <https://doi.org/10.3390/plants13020181>.

Rilling J. I., Acuña J. J., Nannipieri P., Cassan F., Maruyama F., Jorquera M. A. (2019). Current opinion and perspectives on the methods for tracking and monitoring plant growth–promoting bacteria. *Soil Biology and Biochemistry* 130, 205–219. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.12.012>.

Rožnovský J. (2022). Změny teploty vzduchu a srážek za poslední desetiletí na území ČR. In: Menšík, L., Kunzová, E., Madaras, M. Současné hospodaření na zemědělské půdě v měnících se podmínkách prostředí – SOM (půdní organická hmota), 2. ročník. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha – Ruzyně, s. 10–11. ISBN 978-80-7427-401-5.

Ryant P., Skládanka J. (2004). Výživa a hnojení trvalých travních porostů. In: Sborník přednášek z mezinárodní konference a setkání chovatelů OVCE-KOZY, SEČ, s. 16–22.

Ryant P., Skládanka J. (2009). The effect of applications of various forms of sulfur on the yields and quality of grass forage. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 59: 208–216.

Sedlář O., Černý J., Kulhánek M., Suran P., Balík J. (2021). Principy hnojení fosforem. Sborník z 27. mezinárodní konference „Racionální použití hnojiv“. Česká zemědělská univerzita, Praha, s. 77–81.

Schipanski M. E., Barbercheck M., Douglas M. R., Finney D. M., Haider K., Kaye J. P., Kemanian A. R., Mortensen D. A., Ryan M. R., Tooker J., & White C. (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.004>.

Schulz V. S., Schumann C., Weisenburger S., Müller-Lindenlauf M., Stolzenburg K., & Möller K. (2020). Row-intercropping maize (*Zea mays* L.) with biodiversity-enhancing flowering-partners—Effect on plant growth, silage yield, and composition of harvest material. *Agriculture (Switzerland)*, 10(524), 1–27. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110524>.

Smatanová M. (2021). Hodnocení zásobenosti orných půd České republiky přístupným fosforem. In: Sborník z 27. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy a hnojení fosforem, s. 45–50

Smatanová M., Florián M. (2022). Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2023 až 2028. Metodický pokyn č. 01/AZZP, ÚKZÚZ, 26 s.

Svoboda P., Wollnerová J., Kozlovská L., Klír J. (2024). Uložení hnojiv, upravených kalů a krmiv na zemědělské půdě (třetí, aktualizované vydání). Metodika pro praxi. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 70 s.

Šimek M. (2003). Základy nauky o půdě 3. Biologické procesy a cykly prvků. Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 151 s.

Šimon T., Madaras M., Mayerová M., Kunzová E. (2024). Soil organic carbon dynamics in the long-term field experiments with contrasting crop rotations. *Agriculture*, 14(6), 818. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060818>.

Thomsen I. K., Elsgaard L., Olesen J. E., & Christensen B. T. (2016). Nitrogen release from differently aged *Raphanus sativus* L. nitrate catch crops during mineralization at autumn temperatures. *Soil Use and Management*, 32, 183–191. <https://doi.org/10.1111/sum.12264>.

Tilman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R., & Polasky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. In *Nature* (Vol. 418, Issue 6898, pp. 671–677). <https://doi.org/10.1038/nature01014>.

Trávník K. (2020). Metodický návod pro hnojení plodin. Sekce zemědělských vstupů, ÚKZÚZ, 26 s.

Trčková M., Raimanová I., Svoboda P. (2009). Listová výživa obilnin. Uplatněná certifikovaná metodika, VÚRV, v.v.i., 38 s. ISBN 978-80-7427-030-7.

Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Tlustoš P., Valtera J. (2012): Výživa zahradních rostlin, ACADEMIA, 568 str., ISBN 978-80-200-2147-2.

Vogeler I., Hansen E. M., Thomsen I. K., & Østergaard H. S. (2019). Legumes in catch crop mixtures: Effects on nitrogen retention and availability, and leaching losses. *Journal of Environmental Management*, 239, 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.077>.

Wang Q., Liu X., Li J., Yang X., Guo Z. (2021). Straw application and soil organic carbon change: A meta-analysis. *Soil & Water Res.*: 112-120.

Whitehead D. C. (2000). Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationships. Wallingford, CABI. 369 pp.

Zbírál J. (2017). Analytické možnosti pro agrochemické zkoušení půd. In: Sborník z 23. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na význam agrochemických rozborů půd, ČZU v Praze 30.11. 2017, ISBN 978-80-213-2793-1: 21-24.

7 Seznam publikací, které předcházely metodice

Brant V., Nýč M., Kusá H., Kroulík M., Růžek P., Zábanský P., Škeříková M. (2020). Ekonomicky a ekologicky efektivní postupy zapravení kejdy a digestátu do půdního profilu. Certifikovaná metodika. Kurent, 88 s.

Čermák P., Mühlbachová G., Káš M., Pechová M., Lošák T., Hlušek J., Kulhánek M., Sedlár O., Balík J. (2018). Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových. Certifikovaná metodika pro praxi. VÚRV, ISBN 978-80-7427-294-3, 33 s.

Klír J., Wollnerová J. (2021). Bilance fosforu v rostlinné produkci v České republice. Sborník z 27. mezinárodní konference „Racionální použití hnojiv“. Česká zemědělská univerzita, Praha, s. 33–44.

Křivánková Z., Nerušil P., Menšík L. (2017). Vliv hnojení TTP statkovými a minerálními hnojivy na výnos, kvalitu, botanické složení a půdu. Úroda, 65(12 - vědecká příloha), s. 421–424.

Matula J. (2007). Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Certifikovaná metodika pro praxi, VÚRV, 47 s.

Menšík L., Nerušil P. (2022). Výnosy, kvalita píce a stav půdy v DLP Jevíčko. In. Kunzová E., Madaras M., Menšík L. Význam dlouhodobých pokusů a kvality půdy v podmínkách změny klimatu – využití pro zemědělskou praxi. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha – Ruzyně, s. 15–16. ISBN 978-80-7427-400-8.

Menšík L., Nerušil P. (2019). Produkční, kvalitativní a porostové změny trvalého lučního společenstva ve vztahu k intenzitě využívání a úrovni hnojení v oblasti Malé Hané. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.. Praha, 122 s. ISBN 978-80-7427-319-3.

Mühlbachová G., Čermák P., Vavera R., Lošák T., Hlušek J. (2016). The effect of phosphorus applications on changes in the soil content of P and yields of barley biomass *Agriculture & Food*, 4: 564-570.

Mühlbachová G., Káš M. (2023). Hodnocení obsahu živin v půdě u dlouhodobého polního pokusu s minerálním a organickým hnojením. *Úroda*, 70, s. 283-290.

Mühlbachová G., Růžek P., Kusá H., Vavera R., Káš M., Watzlová E. (2021). Rizika a přínosy aplikace dusíkatých hnojiv na podporu rozkladu slámy. Schválená metodika pro praxi, VÚRV, v.v.i., 28 s.

Mühlbachová G., Růžek P., Kusá H., Vavera R., Káš M. (2021). Winter Wheat Straw Decomposition under Different Nitrogen Fertilizers. *Agriculture-Basel*, 11:83, DOI: 10.3390/agriculture11020083.

Mühlbachová G., Růžek P., Kusá H., Vavera R., Káš M. (2021). Účinnost hnojení dusíkatými hnojivy při podpoře rozkladu slámy. *Úroda*, 69 (8), s. 66-70.

Mühlbachová G., Kusá H., Růžek P. (2015). Soil characteristics and crop yields under different tillage techniques. *Plant, Soil and Environment*, 61: 566-572.

Plisková J., Nerušil P., Sedlák L., Pospíšilová L., Menšík L. (2021). Vliv hnojení (NPK, hnůj, kejda, digestát) TTP na výnos, kvalitu píce a půdu. *Úroda*, 69(12 vědecká příloha), s. 519–528.

Růžek P., Mühlbachová G., Kusá H., Vavera R. (2023). Rizika ztráty vody a uhlíku při zpracování půdy, web VÚRV, v. v. i. (vurv.cz).

Růžek P., Kusá H., Mühlbachová G., Vavera R. (2021): Emise CO₂ a ztráty vody v půdy před setím ozimů, *Úroda*, 69 (12-CD, věd. př.), s. 565-570

Wollnerová J., Kozlovská L., Klír J. (2022). Hospodaření ve zranitelných oblastech – 5. akční program nitrátové směrnice (aktualizované vydání). *Metodika pro praxi*. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 68 s.

8 Související legislativa

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu

Nařízení vlády č. 73/2023 Sb., o stanovení pravidel podmíněnosti plateb zemědělcům

Nařízení vlády č. 83/2023 Sb., o stanovení podmínek poskytování přímých plateb zemědělcům

Vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady

Vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků

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

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

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech

- Autoři:** Ing. Jan Klír, CSc. (*zástupce autorského kolektivu*)
Spoluautoři (řazeno abecedně)
Ing. Jan Haberle, CSc.
Ing. Lukáš Hlisnikovský, Ph.D.
Ing. Lada Kozlovská
Ing. Eva Kunzová, CSc.
Ing. Helena Kusá, Ph.D.
RNDr. Mikuláš Madaras, Ph.D.
Ing. Ladislav Menšík, Ph.D.
Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D.
Ing. Pavel Nerušil, Ph.D.
RNDr. Ivana Raimanová, Ph.D.
Ing. Pavel Růžek, CSc.
Ing. Pavel Svoboda
Ing. Tomáš Šimon, CSc.
Ing. Jana Wollnerová, Ph.D.
- Pracoviště:** Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha
- Název:** Udržitelné hospodaření se živinami a organickými látkami
- Vydání:** první
- Oponenti:** Ing. Jindřich Černý, Ph.D.,
Česká zemědělská univerzita v Praze
Ing. Josef Svoboda, Ph.D.,
Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
- Kontakty:** klir@vurv.cz
wollnerova@vurv.cz

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2024

ISBN 978-80-7427-430-5



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2024