

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Vliv lokálního zpracování a hnojení půdy na obsah
minerálního dusíku v půdě, výživný stav a výnos kukuřice**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Kryštof Stýblo

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

Konzultant: Ing. Tomáš Javor, DiS.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv lokálního zpracování a hnojení půdy na obsah minerálního dusíku v půdě, výživný stav a výnos kukuřice" jsem vypracoval samostatně s použitím pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne: _____

Bc. Kryštof Stýblo
Autor diplomové práce

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jindřichovi Černému Ph.D. za velikou trpělivost a pomoc při její tvorbě. Veliké díky bych chtěl vyjádřit svému skvělému konzultantovi Ing. Tomášovi Javorovi, DiS. za odborné vedení, cenné doporučení, rady, tipy, připomínky, ochotu, vstřícnost a rychlost spolupráce při zpracování závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval zemědělskému družstvu Rostěnice, a.s. za možnost interpretace poskytnutých informací z realizovaného poloprovozního pokusu implementace pěstitelských postupů pro stabilizaci produkce a kvality krmiva prasat v roce 2018 a 2019. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy AGROEKO Žamberk spol. s.r.o., kteří mě kromě studijní podpory pomohli při tvorbě a umožnili uskutečnit interpretované pokusy a také své rodině za psychickou podporu během psaní této práce.

Vliv lokálního zpracování a hnojení půdy na obsah minerálního dusíku v půdě, výživný stav a výnos kukuřice

Souhrn:

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv lokálního zpracování a hnojení půdy na prostorové změny obsahu minerálního dusíku ($N_{\min.}$) v aktivně zpracovaných pásech a cíleně nezpracovaných mezipásech s ponechaným půdopokryvným mulčem vymrzající meziplodiny a vyhodnotit vliv na výživný stav rostlin, výnos a kvalitu zrna kukuřice seté (*Zea Mays* L.) v porovnání s enviromentálně nevyhovujícími, konvečními technologiemi celoplošného zpracování a hnojení půdy. Úkolem bylo zjistit vliv různé lokální dávky kejdy prasat na obsah $N_{\min.}$ v půdě, výživný stav rostlin a výnos, popř. lokalizace uložení hnojiva v zónách půdního profilu aktivně kypřených pásů v porovnání s konvečními postupy.

Ověřování probíhalo v letech 2018 a 2019 v teplejší a aridní oblasti kukuřičné oblasti Jižní Moravy formou poloprovozního pokusu (metody dlouhých dílců) založeného v podniku Rostěnice, a.s. v rámci projektu vývoje a implementace pěstitelských postupů pro stabilizaci produkce a kvality krmiva prasat.

Výsledky laboratorních analýz byly hodnoceny ověřenými diagnostickými metodami. Obsahy $N_{\min.}$ v půdě byly hodnoceny podle kritérií stupně zásoby v půdě. Výživný stav, výnos a kvalita zrna kukuřice byly hodnoceny podle pracovních postupů a kritérií výzkumné instituce. Bylo zjištěno, že obsah $N_{\min.}$ v půdě se měnil podle aktuálních vláhových podmínek, podle použití dávky a formy hnojiva a podle dynamiky příjmové schopnosti rostlin. Obsah $N_{\min.}$ v půdě během vegetace vykazoval v prostoru zpracovaných pásů a nezpracovaných mezipásů statisticky průkaznou variabilitu. Ve zpracovaných pásech byly na počátku vegetace (BBCH 16 – 17) zjištěny vysoké zásoby o 6 g N/m^2 a v mezipásech o $10,8 \text{ g N/m}^2$ více než v konvečních postupech za roky 2018 a 2019. V období sklizně však byly zásoby $N_{\min.}$ v půdě výrazně lépe odčerpány, a to o 29 % v prostoru pásu a o 42 % v prostoru nezpracovaného mezipáse lépe, než při celoplošném zpracování a hnojení půdy v obouhletých ročnících. Prostorově redukovaná technologie pásového zpracování a hnojení půdy kejdou rostlinám kukuřice poskytla pohodlnější prostředí pro růst a vývoj rostlin během celé vegetace, celkově o 3 % lepší optimální příjem všech živin, zvláště zinku o 6 % v roce 2018. V roce 2019 se tento efekt projevil pouze u fosforu 3 % a draslíku 2 %. Byl prokázán rychlejší příjem a využití dusíku o 21 % v roce 2018 s opakováním o 29 % v roce 2019 v porovnání se souvislou technologií zpracování a hnojení půdy (K1), a tím spojen rychlejší růst a vývoj rostlin pro výslednou produkci zrna. Nižší dávka kejdy 20 t/ha na dno kypřených pásů poskytla rostlinám v průměru nejvyšší výnos zrna (10,15 t/ha) za oba ročníky pěstování, tedy o 18 % (1,56 t/ha) vyšší výnos zrna ve srovnání s konvečními postupy. Při střední dávce kejdy 30 t/ha na dno pásu rostlinám poskytla 2. nejvyšší výnos (9,87 t/ha), tj. o 15 % (1,28 t/ha) a při dávce 40 t/ha se ze všech variant pásového zpracování projevila poklesem v prům. na 9,56 t/ha, tj. stále o 11 % (0,97 t/ha) vyšší, než výnos v souvisle zpracované a hnojené půdě.

Klíčová slova: lokální aplikace hnojiv; pásové zpracování půdy; minerální dusík; kukuřice

Effect of local tillage and fertilization practices on soil mineral nitrogen content, nutritional status and yield of maize

Summary:

The aim of the work was to evaluate the influence of local tillage and fertilization on spatial changes in mineral nitrogen content ($N_{\min.}$) in actively processed strips and purposefully untreated intermediate strips with left ground cover mulch freezing intercrops and to evaluate the influence on plant nutritional status, yield and grain quality of maize (*Zea Mays* L.) in comparison with environmentally unsatisfactory, conventional technologies of full-area tillage and fertilization. The task was to determine the effect of different local doses of pig manure on the $N_{\min.}$ content, in soil, nutritional status of plants and yield, or localization of fertilizer deposition in soil profile zones of actively loosened strips in comparison with conventional methods.

The verification took place in 2018 and 2019 in the warmer and arid maize area of the South Moravia in the form of a field trial (long part method) established in the company Rostěnice, a.s. within the project of development and implementation of cultivation procedures for stabilization of production and quality of pig feed.

The results of laboratory analyzes were evaluated by validated diagnostic methods. Contents $N_{\min.}$ in the soil were evaluated according to the criteria of the degree of stock supply in the soil. The nutritional status, yield and quality of maize grain were evaluated according to the working procedures and criteria of the research institution. It was found that the $N_{\min.}$ content, in the soil varied according to the current moisture conditions, according to the application of the dose and form of fertilizer and according to the dynamics of plant uptake capacity. Content $N_{\min.}$ in the soil during the vegetation it showed statistically significant variability in the area of processed strips and untreated intermediate strips. At the beginning of the vegetation (BBCH 16 - 17) high reserves of 6 g N/m² were found in the processed strips and in the intermediate strip by 10,8 g N/m² more than in the conventional procedures for 2018 and 2019. However, in the harvest period the stocks were $N_{\min.}$ significantly better pumped out in the soil, namely by 29% in the area of the strip and by 42% in the area of the untreated intermediate strip better than during the full-area processing and fertilization of the soil in both years. Spatially reduced technology of strip treatment and soil fertilization with maize plants provided a more comfortable environment for plant growth and development during the whole vegetation, overall 3 % better optimal intake of all nutrients, especially zinc by 6 % in 2018. In 2019, this effect was manifested only for phosphorus 3 % and potassium 2 %. Faster nitrogen uptake and utilization of 21 % in 2018 with a repeat of 29 % in 2019 compared to continuous soil treatment and fertilization technology (K1) was demonstrated, thus linking faster plant growth and development for final grain production. A lower dose of manure 20 t/ha at the bottom of loose strip gave the plants on average (av.) the highest grain yield (10.15 t/ha) for both years of cultivation, this is (t.i.) 18% (1.56 t/ha) higher grain yield compared to the whole area tillage and fertilization. At a medium manure dose of 30 t/ha at the bottom of the strip, it provided the plants with an av. of the 2nd highest yield (9.87 t/ha), this is by 15 % (1.28 t/ha) and the slurry dose of 40 t/ha, of all variants of strip processing, decreased on av. to 9.56 t/ha, t. i. still 11 % (0.97 t/ha) higher than the yield in continuously treated and fertilized soil.

Keywords: local application of fertilizers, strip till, mineral nitrogen, maize

OBSAH

| | | |
|---|--|-----------|
| 1 | ÚVOD..... | 1 |
| 2 | VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍLE PRÁCE | 3 |
| 3 | LITERÁRNÍ REŠERŠE | 4 |
| | 3.1 Systémy zpracování a hnojení půdy pro kukuřici | 4 |
| | 3.1.1 Tradiční zpracování půdy (celoplošné)..... | 4 |
| | 3.1.2 Minimalizační a půdoochranné zpracování půdy | 5 |
| | 3.1.3 Lokální zpracování půdy (redukované) | 5 |
| | 3.1.4 Technologické principy pásového zpracování..... | 8 |
| | 3.1.5 Setí kukuřice s využitím technologie pásového zpracování půdy | 9 |
| | 3.1.6 Využití meziplodin jako půdoochranné funkce (mulč) | 10 |
| | 3.2 Dusík v půdě | 11 |
| | 3.2.1 Přeměny dusíku v půdě a jejich faktory..... | 12 |
| | 3.2.2 Mineralizace..... | 12 |
| | 3.2.3 Imobilizace..... | 13 |
| | 3.2.4 Denitrifikace | 14 |
| | 3.2.5 Volatilizace | 14 |
| | 3.2.6 Vyplavování..... | 15 |
| | 3.3 Dusík v rostlině..... | 16 |
| | 3.3.1 Zdroje a příjem dusíku rostlinami..... | 16 |
| | 3.3.2 Význam a utilizace dusíku v rostlinách | 18 |
| | 3.3.3 Faktory ovlivňující příjem dusíku rostlinami | 19 |
| | 3.3.4 Poruchy ve výživě rostlin | 19 |
| | 3.4 Využití diagnostických metod pro hodnocení výživy rostlin | 19 |
| | 3.4.1 Význam a použití diagnostických metod..... | 20 |
| | 3.4.2 Diagnostika a hodnocení obsahu dusíku v půdě..... | 20 |
| | 3.4.3 Diagnostika a hodnocení obsahu živin v rostlinách..... | 21 |
| | 3.4.4 Diagnostika výživného stavu kukuřice seté..... | 22 |
| | 3.5 Vliv půdně-klimatických faktorů, výživy a agrotechniky na tvorbu výnosu | 22 |
| | 3.5.1 Požadavky kukuřice na půdu a vliv na tvorbu výnosu zrna | 23 |
| | 3.5.2 Vliv průběhu počasí na tvorbu výnosu zrna | 25 |
| | 3.5.3 Dosahované výnosy zrna a píce v různých podmínkách | 26 |
| | 3.5.4 Hnojení dusíkem..... | 32 |
| | 3.5.5 Vliv zpracování půdy na živiný režim a tvorbu výnosu | 33 |
| 4 | METODIKA | 36 |
| | 4.1 Půdně-klimatická a výrobní charakteristika pokusného stanoviště | 36 |
| | 4.2 Charakteristika použitých hnojiv..... | 40 |
| | 4.3 Použité systémy zpracování a hnojení půdy | 41 |
| | 4.3.1 Konvenční systém celoplošného zpracování a hnojení | 41 |
| | 4.3.2 Systém lokálního zpracování a hnojení | 42 |
| | 4.4 Odběr vzorků a použité diagnostické metody | 43 |
| | 4.4.1 Postup při odběru vzorků půdy na obsah minerálního dusíku ($N_{min.}$) | 43 |
| | 4.4.2 Postup při odběru vzorků nadzemních částí rostlin | 44 |
| | 4.4.3 Chemické analýzy | 44 |
| | 4.4.4 Vyhodnocení výsledků | 45 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 5 | VÝSLEDKY | 46 |
| 5.1 | Vliv konvenčního a lokálního zpracování a hnojení půdy na obsah minerálního dusíku | 46 |
| 5.2 | Vliv konvenčního a lokálního zpracování a hnojení půdy na výživný stav rostlin... .. | 51 |
| 5.3 | Vliv konvenčního a lokálního zpracování a hnojení půdy na výnos a kvalitu zrna . | 60 |
| 5.3.1 | Vliv stupňovaných dávek a lokality uložení kejdy prasat v půdě na výnos zrna .65 | |
| 5.4 | Odběr živin sklizní z konvenčních a lokálních postupů pěstování..... | 65 |
| 6 | DISKUZE | 68 |
| 7 | ZÁVĚR | 74 |
| 8 | POUŽITÁ LITERATURA | 75 |
| 9 | SEZNAM PŘÍLOH | 85 |

1 ÚVOD

V posledních letech si kukuřice získává obrovskou pozornost jako často řešenou plodinou, nejen ze strany pěstitelů (kvalita a zajištění objemných krmiv pro hospodářská zvířata a bioplynové stanice) a spotřebitelů (dovoz geneticky modifikovaných kukuřičných komodit), ale i co se týče strany politické (erozní plodina). Výjimečnost pěstování kukuřice seté v ČR vyplývá především z její vysoké produkce nadzemní biomasy, zrna a širokého spektra využití. Díky těmto třem vlastnostem kukuřice obsadila druhou příčku v celkové produkci obilovin hned za pšenicí (*Triticum aestivum* L.)

Snahou moderní rostlinné produkce je zvyšování efektivity využití všech intenzifikačních vstupů s cílem dosažení, co nejvyšší rentability pěstování plodin. Zároveň by však měly být podporovány takové postupy, které jsou nejvíce šetrné k životnímu prostředí. Dosahované šlechtitelské pokroky spolu s inovovanými a inovativními pěstebními technologiemi přinesly celou řadu usnadnění pěstování a získání příznivých vlastností v produkci. Celoplošné postupy zpracování a hnojení půd mají negativní erozivní efekt na půdu a dochází v nich ke ztrátě vláhy výparem, jakožto nezbytnou součást rostlinné výroby. Z důvodu eroze a vysychání půdy v širokých mezerách, zajištění živin a lepšího hospodaření s vodou porostem kukuřice je nutné tuto plodinu pěstovat v půdoochranné technologii lokálního zpracování a hnojení půdy (strip tillage). Sortiment kukuřice je každoročně obohacován novými odrůdami (hybridy) se zvýšenou tolerancí k suchu, s doporučenou vhodností pro pěstování v lokálních technologiích zpracování a hnojení půd nebo doporučených pro produkci siláže pro výrobu bioplynu. S rozšiřováním nových, výkonných a adaptabilních odrůd je zapotřebí znát komplexní informace o odrůdách a respektovat jejich nároky na půdu, klimatické podmínky a agrotechniku.

Dnes, kromě výživy lidí, vyniká svojí významností především jako energetická, průmyslová a krmná plodina. Patří nejen mezi nejproduktivnější obilniny, ale ve srovnání s rýží a pšenicí poskytuje zároveň nejlepší předpoklady pro intenzifikaci výnosů. Obliba silážní kukuřice stále roste, neboť dokáže zajistit sklizeň velkého množství energie a živin z plochy a tím pokrytí celoroční krmné dávky. Její pěstování je ekonomické díky komplexní mechanizaci a poměrně nízkým nákladům na ochranu rostlin. Kukuřice se ve světě pěstuje především pro zrna. Podstatná část zrna (více než 70 % celosvětové produkce) se spotřebuje do krmných směsí, kde je nezbytným komplementem pro výživu prasat a drůbeže a pouze 20 % je využito pro výživu lidí. Kukuřičné zrna nahrazuje pšenici, která není vhodná pro monogastri (lepek snižuje využitelnost živin v krmivu).

Kukuřice má však vysoké nároky na živiny, přičemž limitující živinou je především dusík. Z důvodu velkého vzrůstu rostlin a nebezpečí poškození mechanizací při vjezdu do porostu v době vhodného k přihnojení, znemožňuje porost kukuřice vjezd veškeré pozemní mechanizace a tím dodávání živin během celé vegetace. Pro dostatečnou a harmonickou výživu všemi makro- a mikro-biogenními živinami a jejich dostatečné množství, je proto potřeba požadované živiny dodat kukuřici již během zakládání porostu, zejména dodat dusík s ohledem na využití organických hnojiv zajišťující pozvolné a dlouhodobější uvolňování živin během celého vegetačního období. Deficience dusíku má za následek poruchy růstu rostlin a tvorby všech podstatných orgánů, které bezprostředně negativně ovlivňují výnos a kvalitu produkce.

Nedostatečná výživa dusíkem se projevuje nevyrovnaným a světlejším zbarvením porostu. Naopak nadbytek dusíku je méně častý a projevuje se většinou latentní formou.

Spotřeba minerálních hnojiv za posledních 20 let vzrůstá, zvláště spotřeba hnojiv dusíkatých, jakožto rozhodující element pro nárůst biomasy. Výhodou kukuřice z hlediska hnojení je, že příznivě reaguje na statková hnojiva (hnůj, kejda aj.) a tím z části šetří aplikaci některých živin v podobě minerálních hnojiv. Dusík je v půdním profilu ve srovnání s ostatními živinami pohyblivý a podléhá mnoho změnám, které způsobují bezprostřední ztráty. Z tohoto důvodu je zapotřebí efektivně využívat diagnostické metody ke stanovení obsahu živin v půdě (zejména diagnostika půdní zásoby $N_{min.}$) a výživného stavu rostlin pomocí chemických analýz. Efektivní dostatečnou a harmonickou výživou lze zajistit celkovou optimalizaci výživy rostlin, především s ohledem využití organických zdrojů dusíku a jejich následné racionální použití.

2 VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍLE PRÁCE

Cílem práce je stanovit obsah minerálního dusíku ($N_{\min.}$) v půdě, obsah dusíku v rostlinách a dosažený výnos pro stanovení vhodnosti lokálního zpracování a hnojení půdy dusíkem pro porosty kukuřice.

HYPOTÉZY:

- 1) V technologii strip till se vyskytuje prostorová variabilita obsahu $N_{\min.}$ v půdě.
- 2) Lokální pásové zpracování a hnojení půdy pozitivně ovlivňuje výživu kukuřice dusíkem.
- 3) Lokální zpracování a hnojení půdy zvyšuje tvorbu výnosu kukuřice.
- 4) Dostupná diagnostická kritéria pro hodnocení potřeby hnojení dusíkem na základě znalosti aktuálního obsahu $N_{\min.}$ v půdě budou vyžadovat validaci pro technologii plošně redukovaného lokálního, hnojení kukuřice.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Literární přehled pojednává o problematice koloběhu dusíku v přírodě, jeho zastoupení v atmosféře, v rostlině, včetně jeho příjmu, zdrojů a využití. Pojednává o problematice požadavků sledované plodiny kukuřice seté na půdně-klimatické podmínky, problematiku konvenčních a půdoochranných systémů zpracování a hnojení půdy, popisuje transformace dusíku v půdě v systémech se zvýšenou pozorností na minerální dusík. V přehledu jsou dále zahrnuty a popsány hlavní diagnostické metody výživy rostlin použitelné při optimalizaci hnojení dusíkem pro pěstování kukuřice.

3.1 Systémy zpracování a hnojení půdy pro kukuřici

V systémech pěstování plodin patří zpracování a hnojení půdy k základním opatřením, které se významně podílejí na dosahování stálých a vysokých výnosů. Zpracování půdy lze z dlouhodobého hlediska považovat za významné opatření v péči o půdu ve vztahu k půdní úrodnosti. Za hlavní rizika degradace půdy jsou považovány eroze, úbytek organické hmoty, omezení biologické aktivity půdy a její zhutňování (Hůla a kol., 2010).

Systémy zpracování půdy se liší dle rozsahu zásahu operace, které lze rozdělit na celoplošné, kde dochází ke zpracování půdy v celé šířce stanoviště a lokální (redukované či minimalizační) zpracování půdy, kde naopak dochází jen k částečnému nakypření půdy v pásech nebo setí přímo do nezpracované půdy (Smutný a kol., 2015).

3.1.1 Tradiční zpracování půdy (celoplošné)

Orba

Volba tradičního (konvenčního) zpracování půdy v podmínkách ČR jde o typické každoroční kypření a obracení ornice na dno brázdy radličným pluhem (orba). Typické pro konvenční zpracování půdy je základání porostu s využitím časového odstavu mezi operacemi základního a předset'ového zpracování půdy za účelem potlačení plevelů, přezimujících škůdců a dostatečného přirozeného slehávání půdy v době mezi orbou a setím (Hůla a kol., 1997). Konvenční zpracování půdy má především kladný vliv na homogenizaci ornice, kdy je vytvářena mocnější vrstva půdy s přibližně stejnými fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi. Z tohoto pohledu orba nábývá význam při zapravování statkových a minerálních hnojiv, rostlinných zbytků a podrůstků do půdy při zaorávce porostů víceletých píceň a plodin na zelené hnojení (Suškevič, 1998). Při volbě konvenční technologie, tedy intenzivní zpracování půdy negativně působí na půdní strukturu a vede k úbytku humusu urychlením mineralizace půdy vodní a větrnou erozí, dále snižuje obsah vody v půdě, a tím zhoršuje podmínky pro vzcházení a růst rostlin (zejména v oblastech s periodickým nedostatkem vody). Obracením dochází k narušení mikrobiální činnosti zásadní změnou rozmístění a podmínek jejich života v půdě, včetně potlačování výskytu zoedafonu (např. žížal) a zvyšování zásoby semen plevelů zanášením do hlubších vrstev půdy (Hůla, Procházková a kol., 2008). Orba patří mezi operace s vysoce časově a energeticky náročnými agrotechnickými zásahy, a proto v současné době se vedle pracovně a energeticky náročných postupů zpracování půdy s orbou stále více používají minimalizační postupy (Křen a kol., 2015).

3.1.2 Minimalizační a půdoochranné zpracování půdy

Minimalizační a půdoochranné zpracování půdy se vyznačují dvěma znaky, (1) redukcí hloubky a (2) intenzitou zpracování půdy a ponecháním rostlinných zbytků na povrchu nebo ve vrchní vrstvě půdy. Za půdoochranné technologie, lze považovat takové zpracování půdy, které zanechají více než 30 % zpracovávané půdy zakryté posklizňovými zbytky (Procházková a kol., 2004). Aby rostlinné zbytky na povrchu zajistili funkci mulče tj. ochrana půdy proti vodní a větrné erozi, je důležité jim věnovat velkou pozornost již při sklizni předplodiny a dbát na jejich rovnoměrné rozprostření na povrchu půdy. Nerovnoměrné rozprostření posklizňových zbytků na povrchu pozemku zvyšuje riziko nevyrovnaného vzcházení porostu (Mašek, 2017).

V postupech minimalizačního a půdoochranného zpracování půdy se uplatňují skupiny kypřičů s různým konstrukčním řešením, z nichž některé kypřiče je možné využívat jak v systémech zpracování půdy s orbou (uplatnění podmítačů), tak u technologií bez orby pro mělké kypření (Hůla a kol., 2008). Jedná se o různé formy mělkého zpracování půdy, náhrady orby kypřením, výsevy plodin do povrchově zpracované a nezpracované půdy a výsevy plodin do vymrzajících meziplodin (Procházková a kol., 2004). Významným požadavkem na stroje pro mělké kypření je vysoká plošná výkonost, která umožňuje zajistit včasné provedení pracovních operací zpracování půdy a setí v agrotechnických lhůtách s ohledem na stav půdy a průběhu počasí (Hůla a kol., 2008).

3.1.3 Lokální zpracování půdy (redukované)

Pásové zpracování půdy (STRIP TILLAGE)

Principem technologie strip tillage (zkr. strip till) je zpracování půdy v místě budoucího setí následné plodiny v pásích s možností v rámci jedné pracovní operace souběžně aplikovat živiny v hnojení (organické nebo minerální). V podstatě se jedná o redukované kypření půdy v pásích, které nabízí možnost vytváření vysokých výnosů kukuřice při nižších nákladech a lepší kontrole eroze ve srovnání s tradičními postupy celoplošného zpracování půdy orbou (Herman a kol., 2012; Cerman a kol., 2018). Hlavním důvodem ke vzniku technologie strip till bylo hledání ideálního způsobu setí do nezpracované půdy. Důsledkem rozšiřování byl pozitivní vliv na růst a vývoj rostlin, eliminace eroze, zvýšení ekonomické efektivity hospodářských ploch, rozšiřování bioplynových stanic, s čímž také souvisí nárůst pěstování kukuřice a potřeba zapravení digestátu zpět do půdy (Brant a kol., 2016). Nakypřený pás půdy poskytuje optimální podmínky pro vývoj kořenového systému v důsledku kyprosti půdy a jejímu ohřevu. Nenakypřený meziřádek umožňuje vzlínání vody do vyšších vrstev půdy (Brant a kol., 2011). Například při porovnávání orby a pásové technologie zpracování půdy bylo zjištěno, že kypření v pásích umožnilo rostlinám růst a vyvíjet se o 12 % rychleji, než při použití tradičních postupů (Cerman a kol., 2018).

Pásové zpracování půdy, lze rozdělit podle úrovně a rozsahu kypření půdy na klasické a intenzivní. V metodě klasického strip tillu dochází k běžnému zpracování půdy v pásích, které hraje významnou roli při opakovaném pěstování kukuřice na zrna, neboť na pozemku zůstává velké množství hrubě rozdrčených posklizňových zbytků, kde je nezbytné jejich kvalitní odhrnutí biomasy do prostoru meziřádků. Pro klasickou technologii strip tillu je uplatňováno podzimní či jarní kypření ploch osetých vymrzající nebo nevymrzající

meziplodinou prutovými kypřiči či mulčovacími bránami, tj. bez zpracování půdy. V systému intenzivního strip tillu je kombinací celoplošného mělkého kypření (podmítka) povrchu půdy s následným provedením pásového zpracování půdy. Hlavní výhodou intenzivního strip tillu je kvalitnější drobení půdy v horní vrstvě pásového kypření a vznikající vhodnější podmínky pro uložení a vzcházení osiva, často doplňuje využívání meziplodin, které se vysévají během podmínky předplodiny (na podzim). Meziplodiny jsou pro jarní kypření vhodnější vymrzající, např. hořčice bílá, svazenka vratičolistá a další (Hůla a kol., 2003; Brant a kol., 2016).

Velmi příznivý je také vliv pásového zpracování na zadržení vody v půdě. Meziřádky (mezipásky) jsou schopny zadržet poměrně velké množství vody díky posklizňovým zbytkům na povrchu, které navíc velmi intenzivně zabraňují vodní erozi. V suchém období s minimálním množstvím srážek, čerpá rostlina vláhu právě z těchto nekypřených mezipásů (Brant a kol., 2016). Hůla a kol. (2019) porovnávali vliv pásového a celoplošného zpracování půdy (orbou) pro založení porostu kukuřice na infiltraci vody do půdy. Zjistili, že po erozivní události koncem června bylo při zpracování půdy orbou ztráta vody odtokem o 30 % nižší, zatímco v případě pásového zpracování půdy, kde se projevila zvýšená infiltrační schopnost půdy, zejména v místech hlubšího kypření, odtok vody byl o 46 % nižší. Brant a kol. (2016) píší že množství vody, které se po srážkách infiltruje do půdy je výrazně ovlivněno její distribucí, modifikována strukturou porostu, počtem rostlin, postavením listů na rostlině, růstovou fází apod. Do nakypřeného řádku se koncentruje především voda stékající po rostlině, která hraje důležitou roli, neboť tato voda se soustřeďuje přímo do zóny čerpání kořenů.

Hloubka zpracování půdy je dána především následnou plodinou, pod kterou je příprava určena, ale také půdním profilem, hloubkou uložení hnojiv a termínem provedení (podzim nebo jaro). Strip till se vyznačuje velmi intenzivním nakypřením půdy ve zpracovaném řádku (páso) budoucí plodiny, který se vyznačuje vyšším stupněm aerace mezipůdních prostor, stabilitou půdních agregátů a absencí pokryvu rostlinným materiálem, zároveň přispívá k rychlejšímu ohřevu půdy. Přítomnost posklizňových zbytků v mezipásovi snižuje především rizika vzniku vodní eroze. Nakypřený pás vytváří optimální kořenový prostor, který z velké části určuje směr růstu kořenů. K rozvoji kořenového systému navíc nahrává uložené hnojivo přímo v páso pod místem následně vysetého osiva, tzv. hnojení pod patu, ale i nízká úroveň utužení půdy napomáhá k rozvoji kořene. Uložení hnojiv do blízkosti kořenů umožňuje i snížení jejich množství, díky jejich vyšší efektivitě využití (Brant a kol., 2016; Nerušil, Kincl a kol., 2017).

Využití technologie pásového zpracování půdy je vhodné především při pěstování kukuřice pro injektáži kejdy nebo digestátu do půdy. Bopp (2013) ve své publikaci uvádí, že podpovrchová aplikace kejdy nebo digestátu přispívá zejména k eliminaci volitalizace (těkání) amoniaku do atmosféry a zároveň dle autorů Hermanna a kol. (2012), omezuje její pachové znečištění, dále uvádí, že amonná forma dusíku se rovněž pozitivně projevuje na vývoji kořenového systému v hloubce aplikace kejdy. Bischoff (2012) experimentem stanovil 90. a 125. den po injektážní aplikaci kejdy vyšší obsah amonné formy dusíku ve vrstvě do hloubky půdy 30 cm v porovnání s nitrátovou formou při využití stabilizátorů dusíku (bez stabilizátorů byla dominantní forma nitrátová). Pásové zpracování půdy a současná injektážní aplikace nevyžaduje další zpracování půdy, což je obecně vnímáno jako výhoda této technologie. Bednorz a kol. (2015) poukazují na snížení ztrát dusíku do spodních vrstev při aplikaci kejdy v pásech ve srovnání s její plošnou aplikací a následným zapravením v porostech kukuřice. Tento aspekt vysvětlují lepším prokořeněním půdy a vyšším využitím dusíku rostlinami.

Reckleben (2013) píše, že především v aridních oblastech nebo při vlhkém průběhu počasí může aplikace kejdy v pásech, v kombinaci se stabilizátorem dusíku, zvýšit výnos kukuřice až o 10 % v porovnání s tradičními postupy.

Při aplikaci kejdy a digestátu hraje zásadní otázku stanovení maximálního aplikovaného množství na jednotku plochy. Hermann a kol. (2012) uvádějí že stanovení maximálního aplikovaného množství kejdy či digestátu by mělo vycházet z hodnot využitelné vodní kapacity půdy ve vztahu k objemové vlhkosti půdy. Z pohledu příjmu vody rostlinami tato hodnota udává maximální množství vody v půdě využitelné rostlinami (Hora a kol., 2011). Důvodem respektování hodnot využitelné vodní kapacity je zajištění infiltrace tekutých organických hnojiv do půdy. Množství živin aplikovaných na jednotku plochy musí vycházet z aktuálních hodnot jejich obsahu v hnojivech (Brant a kol., 2016)

V USA se pro hnojení kukuřice dusíkem v technologii strip till, nejčastěji využívá bezvodý amoniak, který je bohatý na dusík (82 % N) injektáží vpravován přímo do půdy a zároveň je v Severní Americe považován za hlavní zdroj dusíku pro rostliny. Problémy však přicházejí jeho velikými ztrátami těkáním do ovzduší z povrchu půdy. Autoři Maharjan a Venterea (2014), studovali vliv uložení bezvodého amoniaku do hlubších vrstev bahnitě půdy v Minesotě na emise oxidu dusného (N_2O). Zjistili, že existuje silný vztah mezi hloubkou uložení hnojiva a obsahem jílu v půdě, přičemž s hlubším umístěním a tím rostoucím obsahem jílu se zvyšuje obsah N_2O . Zpracování půdy ovlivňovalo pouze v sušších obdobích, kde došlo k 55% ztrátám N v podobě N_2O do ovzduší. Sommer a Christensen (1992) studovali ztráty amoniaku po injektáží bezvodého amoniaku do suché, vlhké a mokré půdy. Zjistili, že ztráty z vlhké půdy byly zanedbatelné. Ze suché a mokré půdy představovaly 20% a 50% ztráty injektovaného amoniaku do půdy. V suché půdě došlo k těmto ztrátám v prvních 6 hodinách po aplikaci bezvodého amoniaku, v případě mokré půdy došlo ke ztrátám postupně během 6 dní sledování. To poukazuje na pohyb vody směrem nahoru v důsledku odpařování, které může být příčinou těchto ztrát amoniaku.

Technologie pásového zpracování půdy je ideální do oblastí s lehkými nebo středně těžkými půdami. Problematické jsou pro pásové zpracování naopak těžké půdy, a to už od obsahu jílových částic 30 % (Herman a kol., 2012). Mezi hlavní důvody problematickosti kypření těžkých půd je při nízké půdní vlhkosti riziko vzniku kompaktních hrud a mezipůdních prostor ve spodních vrstvách či na utužené půdě, a to v ní negativně ovlivňuje pohyb vody a rozvoj kořenového systému. Naopak při vysoké půdní vlhkosti pracovní orgány stroje proříznou v půdě pouze rýhu a může docházet k jejímu nedokonalému uzavření zasypáním kompaktní půdou, tato skutečnost potom vede k vytékání aplikovaného hnojiva na povrch půdy (Brant a kol., 2016; Nerušil, Kincl a kol., 2017). Problémy mohou ale nastat i u půd lehkých s obsahem jílu menším než 10 %, kde je z důvodu příliš nízké soudržnosti půdních částic problematické kypření (Herman a kol., 2012).

Dávka kejdy či digestátu by neměla vést k rozplavení půdy v okolí „depa“ (místo uložení hnojiva), a tím k poškození struktury půdy. Při dané půdní vlhkosti a využitelné vodní kapacity půdy by se dávka kejdy měla při zpracování a hnojení půdy v pásech pohybovat v rozmezí 10 – 30 t/ha (Herman a kol., 2012). Reckleben (2013) uvádí, že by dávka digestátu neměla překročit 40 t/ha. Rovněž s vyšší dávkou kejdy (nad 30 t/ha) narůstá riziko možného negativního ovlivnění klíčivosti semen a vzcházivosti rostlin, hlavně v případě, kdy mezera mezi osivem a vrchem depa kejdy je menší než 7 cm. Vzdálenost 7 až 8 cm mezi osivem a

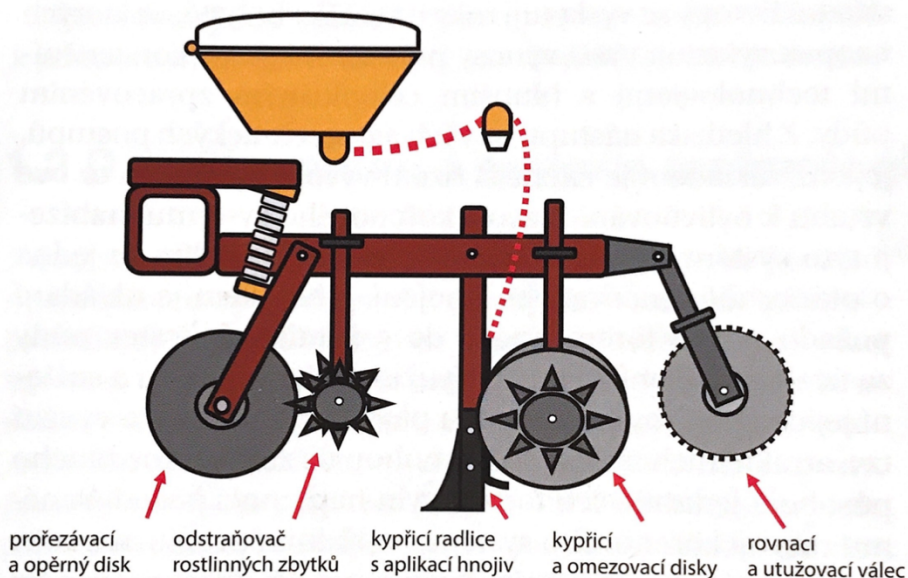
vrchní části depa je považována za optimální, protože tuto vzdálenost překonávají kořeny právě v době, kdy jsou již schopny živiny z hnojiv využít (Brant a kol., 2016).

3.1.4 Technologické principy pásového zpracování

Při pásovém zpracování dochází nejprve k rozříznutí půdy pomocí prořezávacího disku, který se podílí na vedení stroje a zároveň může vykonávat opěrnou funkci nebo může být doplněn o opěrná kola. Odhrnovače rostlinných zbytků následně odstraní ze zpracovávaného řádku posklizňové zbytky, jedná se o paprsková kola umístěná šikmo ke směru jízdy. Na kvalitní odstranění těchto zbytků rostlin z předplodiny má velký vliv pojezdová rychlost stroje. (Brant a kol., 2016; Nerušil, Kincl a kol., 2017). Saraukis a kol. (2015) ve svém výkumu vlivu intenzity jízdy stroje na úroveň čistoty kypřeného řádku vliv potvrdili a doporučují pojezdovou rychlost pro správnou praxi omezit na 9 km/h^{-1} . Hned za odhrnovačem rostlinných zbytků dochází ke kypření dlátem nebo radlicí, na kterých je obvykle součástí i aplikátor tekutých nebo tuhých hnojiv (Brant a kol., 2016). Aplikátory mohou zajišťovat uložení hnojiv do jedné nebo dvou hloubek zpracovaného pásu půdy. Pro jejich použití jsou nezbytnou součástí stroje zásobníky, které jsou umístěny na rám kypřiče, nebo jsou nesené čelně na traktoru (výhoda tahové síly traktoru), případně po jeho stranách anebo u strojů s větším záběrem jsou zásobníky hnojiva taženy na vlastním samostatném podvozku.

Jako poslední sekci stroje za jednotkou kypřičího mechanismu jsou na rám umístěny prutové válce, jejichž cílem je zamezení rozptýlu půdy mimo zpracovávaný pás, nakypření horní vrstvy půdy a její urovnání, které hraje zásadní roli při kypření na jaře, kdy je nutné větší agregáty nakypřené zeminy rozmělnit a nadrobit, aby před setím kukuřice vzniklo, pokud možno optimální seťové lůžko (Nerušil, Kincl a kol., 2017). Rozmístění jednotlivých pracovních nástrojů představuje obrázek č. 1

Obrázek č. 1: Rozmístění pracovních nástrojů u strojů pro klasické pásové zpracování půdy (Brant a kol., 2016)



3.1.5 Setí kukuřice s využitím technologie pásového zpracování půdy

Správné založení porostu kukuřice je jedním ze základních předpokladů k dosažení požadované vysoké produkce a kvality píce, protože chyby při zakládání porostu, lze jen velmi obtížně korigovat následnými opatřeními. Nepodaří-li se dosáhnout optimálního počtu rostlin na jednotku plochy a není provedena vhodná volba hybridu, včetně užitkového směru, výrazně se tím ovlivní kvalita i kvantita produkce (Zimolka, 2008).

Setí osiva kukuřice je možné provést v relativně širokém časovém rozpětí. V agroekologických podmínkách ČR je běžná hranice dána teplotou půdy 8 - 10 stupňů, což odpovídá časovému úseku o délce 3 – 4 týdnů od poloviny dubna do pol. května, a která je zároveň součástí optimálního klíčení a vzcházení rostlin. Horší vzcháživost může nastat v chladších oblastech, naopak opožděný výsev vede ke snížení výnosu o 15 i více procent a zároveň se prodlouží doba dozrávání.

Nedílnou součástí při správném pěstování kukuřice na zrno je volba správného hybridu kukuřice. K určení správné volby hybridu je nutné znát konkrétní půdněklimatické podmínky, kterými se řídí číslo FAO (číslo ranosti), které určuje délku vegetačního období kukuřice (Neružil, Kincl a kol., 2017). Jde o číslo hybridu, které je vypočítáno na základě středního obsahu sušiny v palici v době zralosti kukuřice ve srovnání s kontrolními hybridy. Odchylna obsahu o 1 % sušiny odpovídá 10 FAO (Zimolka a kol., 2008)

Pro bramborářskou výrobní oblast se doporučují hybridy s číslem FAO do 200, příp. 250, pro obilnářskou FAO 250 a pro řepářskou výrobní oblast 280 – 300. Pro oblasti nejteplejší je možné využít hybridy s číslem FAO 300.

V chladších půdních podmínkách se výsevá méně jedinců na 1 ha (nižší hustota), aby rostliny dosáhly požadovaných parametrů kvality, naopak v teplejších půdních podmínkách se hustota setí zvyšuje. Díky nesprávnému uspořádání porostu v aridních oblastech dochází vlivem proudění vzduchu k nadměrné transpiraci (vypařování) a tím k disbalanci mezi příjmem a výdejem vody. Doporučená hustota porostu kukuřice na zrno se v ČR pohybuje v rozpětí 70 – 110 tis. rostlin na 1 ha v závislosti na podmínkách pěstování (Neružil, Kincl a kol., 2017).

Přímé setí (NO TILLAGE)

Při přímém setí odpadá jakékoli předchozí zpracování půdy a setí je uskutečněno přímo do strniště sklizené hlavní plodiny. Setí do nezpracované půdy (no tillage) představuje narušení půdy speciálně upravenými secími stroji, které před setím v úzkém pásu 2,5 – 7,5 cm vytvoří seťové lůžko pro následný výsev osiva. Vlivem absence mechnického zásahu do půdy se také v daleko větší míře používají herbicidy k boji proti plevelům (Hůla, Procházková a kol., 2002; Morgan, 2005). Podle Hůly a kol. (2004) je možné přímé setí uplatnit na úrodných půdách nezaplevelených vytrvalými plevely, na stanovištích s nadmořskou výškou do 350 m. n. m., ročním úhrnem do 600 mm a průměrnou roční teplotou vzduchu nad 8 °C. Z pohledu spotřeby paliva a potřeby práce se jedná o velmi výhodnou technologii. Jako další výhodu setí do nezpracované půdy uvádí Drury a kol. (2003) obsah vody v půdě v hloubkách 5 a 30 cm vyšší, než u orby a technologie strip till.

3.1.6 Využití meziplodin jako půdoochranné funkce (mulč)

Pěstování meziplodin v současných systémech hospodaření mají na orné půdě významnou roli. Meziplodiny jsou plodiny, které lze na základě jejich biologických vlastností využít pro vytvoření vegetačního pokryvu půdy v mimoporostním období (Brant a kol., 2008). Jejich důležitost spočívá především ke snížení rizika vzniku eroze, neproduktivního výparu a v obohacení půdy o organickou hmotu, také kromě funkce přerušovače obilných sledů, potlačují šíření plevelů, výdrolu, původců chorob a škůdců (Smutný a kol., 2015). Z pohledu ochrany životního prostředí meziplodiny plní nezastupitelnou funkci biologické sorce, která zajišťuje ochranu půd před ztrátou živin na živinách vyplavením, především dusík (znečišťování podzemních vod nitráty). Nejvyšší hranice množství dusíku, který může být v meziplodině akumulován, závisí na rychlosti růstu a maximálním příjmu dusíku (Brant a kol., 2008). Zabudovaný dusík v biomase pěstovaných vymrzajících meziplodin (podzim) za účelem vytvoření mulče (jaro) na povrchu pozemku, může být ke konci vegetace kukuřice poteciálně dostupný a může být rostlinami využíván, především z odumřelých kořenů.

Meziplodiny lze dělit podle způsobu pěstování na meziplodiny podseвовé, letní, strniskové a ozimé. Ve vztahu volby způsobu založení hlavní plodiny a využití podseвовé a ozimé meziplodiny se jedná především o konvenční technologii využívající orbu, případně zakládání podsevů v systémech přímého setí do nezpracované půdy. Při využití letních a strniskových meziplodin se nejčastěji využívá mělkého zpracování půdy (radličky, dláta, disky), lze využít také letní orby klasickými pluhy, která však za sucha přispívá k intenzivnější degradaci půdy, vytvoření kompaktních skýv a hrud. V rámci půdoochranných technologií v širokořádkových plodinách (zejména kukuřice) mají široké uplatnění hlavně vymrzající a nevymrzající meziplodiny. Ty slouží k eliminaci větrné eroze půdy v meziorostním a zimním období až do výsevu jarní plodiny v podobě mulče na povrchu půdy i po jejím výsevu (Brant a kol., 2008). Stejně jako u setí do nezpracované půdy nebo setí do mulče vymrzající meziplodiny je zde hlavním důvodem používání kvalitnější rozklad posklizňových zbytků a rychlejší ohřev půdy, což je pro vzcházení kukuřice klíčové a umožňuje tak včasné setí (Brant a kol., 2016). Zimolka a kol. (2008) uvádí, že každý den výsevu po 10. květnu znamená také oddálení sklizně o dva dny.

Hlavním úkolem mulče je ochrana drobtovité struktury, zabránění slití a kornatění půdy a snížení výparu půdní vody. Mulč snižuje kolísání teploty v půdě a podporuje mikrobiální aktivitu v povrchové vrstvě ornice. (Mašek, 2017). Pokryv ze zbytků rostlin zamezuje i vodní erozi přímou ochranou půdy před destruktivním působením dopadajících dešťových kapek, zpomalování rychlosti a nepřímým působením mulče na půdní vlastnosti, tj. pórovitost a propustnost pro vodu (Janeček a kol., 2002). Velké množství rostlinných zbytků z meziplodin a jejich potřeba dusíku a vody (zejména při nedostatku vody), však může negativně působit na výnosy následné plodiny (Rinnofner a kol., 2008)

Výsev kukuřice do vymrzající nebo i přezimující (chemicky ošetřené) meziplodiny je vhodné provést zejména na erozně ohrožených půdách s cílem ochrany půd a životního prostředí. Půda s vymrzající meziplodinou se na jaře pomaleji prohřívá v důsledku přítomnosti jejich zbytků na povrchu půdy, vyšší objemové hmotnosti, vlhkosti, a tím i vyšší tepelné vodivosti půdy, která může vést k negativnímu vlivu na vzcházení kukuřice (Křen a kol., 2015).

Burrows a Larson (1962) obecně uvádí, že každá tuna rostlinných zbytků snižuje teplotu půdy o 0,4 °C.

Na jaře je většinou nutné počítat s aplikací neselektivního herbicidu, nejlépe se současným podpovrchovým zapravením minerálního hnojiva. Pro založení porostů kukuřice do vymrzající meziplodiny, lze využít 3 různé metody. (1) Celoplošné mělké zpracování půdy s předseťovou přípravou půdy a setím, (2) přímý výsev kukuřice do vymrzlé nebo chemicky likvidované meziplodiny nebo lze využít (3) pásové zpracování půdy s následným setím kukuřice. Výsevy kukuřice do meziplodin se nejčastěji provádí při pěstování kukuřice po obilninách, kdy se pěstování meziplodin většinou dobře daří (Křen a kol., 2015). Za nejvýznamější čeledi rostlin meziplodin za účelem půdoochranné funkce (vytvoření mulče), lze považovat brukvovité, lipnicovité (trávy) a bobovité (jeteloviny) rostliny. Jeteloviny v porovnání s ostatními představují obecně skupinu s nejpomalejším počátečním vývinem, nákladnějším osivem, ale se schopností poutat vzdušný dusík (Brant, 2008). Hůla a kol., (2003) doporučují pro účely protierozního opatření využít hořčici bílou (*Sinapis Alba* L.), ředkev olejnou (*Raphanus sativus* var. *oleiformis* L.) nebo svazenku vratičolistou (*Phacelia tanacetifolia* L.).

3.2 Dusík v půdě

Půdy obvykle obsahují 0,1 až 0,6 % dusíku v horizontu 15 cm. To představuje množství od 2 000 do 12 000 kg N/ha⁻¹ v závislosti na typu půdy. Půdní dusík je přítomen ve čtyřech hlavních formách: (1) organické látky, jako je rostlinný materiál, humus a houby; (2) půdní organismy a mikroorganismy; (3) amonné ionty (NH₄⁺), které jsou obsaženy v jílových minerálech a organických látkách a (4) minerální formy N v půdním roztoku včetně dusičnanů (NO₃⁻), nízkých koncentrací dusitanů (NO₂⁻) a amonných iontů (Cameron a kol., 2013).

Naše ornice obsahují nejčastěji kolem 0,1 až 0,2 % N. Podle genetických typů půdy se schopnost zásobovat půdu touto živinou mění. Například černozemě a hnědozemě než ostatní, bývají dusíkem lépe zásobeny. Důležitými hlavními zdroji využitelného dusíku v půdě jsou organické dusíkaté látky dodávané do půdy jako organická hnojiva, rostlinné zbytky a elementární (atmosferický nebo také vzdušný) dusík poutaný hlízkovými bakteriemi žijící na kořenech bobovitých rostlin (Baier a Baierová, 1985). Celkové množství dusíku je v půdě tvořeno dvěma složkami. Převážná část dusíku v půdě se nachází v organických vazbách a v půdním profilu je obsažen z 98 - 99 % v ornici. Dusík obsažený v organických vazbách je však pro rostliny nedostupný (Richter a Hlušek, 2006). Zbývající část 1 - 2 % tvoří v půdě samotný anorganický neboli minerální dusík (N_{min.}), který je naopak pro rostliny přijatelný. Jen toto množství je rostlinám dostupné a vyskytuje se především ve formě amonné (NH₄⁺) a nitrátové (NO₃⁻), případně ve formě (NO₂⁻) dusitanové. V každé půdě se nejvíce dusíku soustřeďuje v kulturním horizontu ornice (Fecenko a Ložek, 2000). Množství N_{min.} v orniční vrstvě může dosahovat 5 až 10 % celkového N. Je to však převážně nevýměnně sorbovaný NH₄⁺ iont, fixovaný v jílových minerálech (Černý a kol., 1997). Obsah N_{min.} v půdě se během vegetace mění v závislosti na obsahu primární organické hmoty v půdě, úroveň hnojení, hypotermických podmínkách a v neposlední řadě i na odběru rostlinami (Vaněk a kol., 1997).

Organicky vázaný podíl dusíku v půdě tvoří hlavně dusík humusových substancí, dále bílkoviny, dusíkaté látky (N-látky) nebílkovinné (amidy) a produkty částečného odbourání

bílkovin. Mikrobiální činností se za příznivých podmínek z organických látek uvolňuje (přeměňuje nebo také mineralizuje) N z forem dostupných rostlinám (Baier a Baierová, 1985).

Ztráty, zisky a transformace N v půdním nebo rostlinném systému ovlivňují dostupnost N pro rostliny a transport N do širšího prostředí (Cameron a kol. 2013).

3.2.1 Přeměny dusíku v půdě a jejich faktory

Na přeměnách dusíku v půdě se podílí pestrá škála půdních mikroorganismů. Jejich nároky na teplotu a vlhkost půdy jsou často velmi rozdílné (Petr a kol., 1987). V půdě lze sledovat dva základní protichůdné procesy a sice mineralizaci a imobilizaci (Fecenko a Ložek, 2000). Dusík je nejcitlivější živina, která podléhá různými transformacemi ovlivňující jeho dostupnost pro rostliny a do těchto transformací dusíku v půdě kromě mineralizace a imobilizace, lze zahrnout i nitrifikaci, která je součástí mineralizace a denitrifikace, stejně jako vyluhování a vypařování (volitalizace) amoniaku (NH_3). Na změny dusíku v půdě má vliv i intenzita a způsob zpracování půdy, který v důsledku způsobuje pokles jeho obsahu v půdě (Moeller a Stinner, 2009).

3.2.2 Mineralizace

Mineralizace je proces, ve kterém se účastní řada fyziologicky velmi odlišných heterotrofních mikroorganismů rozkládající organické sloučeniny pro získání energie. Tento proces probíhá rozkladem snáze rozložitelných dusíkatých organických látek (primární organické hmoty a humusových látek) proteolytickými enzymy vylučovanými různými skupinami mikroorganismů na polypeptidy. Tyto složitější látky jsou pak rozkládány na peptidy, aminokyseliny a působením enzymů deamináz až na amoniak (Richter a Hlušek, 2006). Vytvořený amoniak (NH_3) je pak zdrojem dusíku pro mikroflóru a může být využíván i rostlinami (Vaněk, 2012).

Na mineralizaci se podílí amonizační a nitrifikační bakterie. Amonizačními procesy vzniká amonný dusík (NH_4^+), který následně nitrifikačními procesy (nitritací a nitratací) je přeměněn na NO_3^- , nitráty (Baier a Baierová, 1985).

V první fázi biochemickými reakcemi uvolněný NH_4^+ se stává přímým zdrojem dusíku pro rostliny nebo je výměně sorbován na půdní sorpční komplex, biologicky vázán mikroorganismy, fixován do jílových minerálů, anebo přechází v aerobních podmínkách a za dostatečné teploty půdy do druhé fáze, tedy je vlivem specifické mikrobiální činnosti nitrifikován (Černý a kol., 1997, Jenkinson, 2001). Nitrifikace je oxidační proces, kdy NH_4^+ iont vytvořený procesem amonizace je postupně oxidován autotrofními mikroorganismy až na dusík nitrátový (Lošák a kol. 2014). Tento proces probíhá ve dvou stupních. V prvním procesu nazýván nitritací, s využitím činnosti bakterií rodů *Nitrosomonas* a *Nitrosocystis* se oxiduje amoniak na dusitany (nitrity). Ve druhém procesu nazýván nitratace, jsou pak vzniklé nitrity oxidovány na dusičnany (nitráty), proces zabezpečují bakterie rodu *Nitrobacter* (Švehla, 2004; Lošák a kol. 2014). Obě skupiny organismů jsou chemolitotrofní a jako zdroj uhlíku potřebují oxid uhličitý (Švehla, 2004). Nitráty jsou pak přijímány kořenovým systémem rostlin (Fecenko a Ložek, 2000). Nitrifikace je proces velmi citlivý na vnější podmínky, kterými je výrazně ovlivňována.

Je možné také rozlišit mineralizaci na biologickou a chemickou. Biologická mineralizace probíhá působením (aerobní a anaerobní bakterie, plísně a aktinomicety) půdního edafonu. Chemická mineralizace je rozklad organických látek chemickými sloučeninami, které vznikají v půdě činností mikroorganismů, rostlin (kořenovými exsudáty) a látek dostávající se do půdy antropogenní činností, prostřednictvím hnojiv (Lošák a kol., 2014).

Celkový dusík v půdě má poměrně stálý obsah a tvoří těžce chemicky i mikrobiologicky rozložitelné struktury, ve kterých je dusík navázán na aromatická jádra huminových kyselin, fulvokyselin a huminů. Uvolnitelnost dusíku z organických (uhlíkatých) sloučenin (mineralizace) je často vyjadřována poměrem obsahu uhlíku (C_{ox}) a celkového dusíku (Fecenko a Ložek, 2000). Poměr C : N je prakticky stupeň rychlosti mineralizace, která je tímto poměrem silně podmíněna. Čím je tento poměr užší, tím rychleji se dusík uvolňuje. Naproti tomu může při přívodu organických látek se širokým poměrem C : N (nad 30 : 1) docházet i k dočasné imobilizaci (poutání) N_{min} . (Baier a Baierová, 1985).

Lošák a kol. (2014) píše, že v půdách ČR je uváděna průměrná hodnota poměru C : N 10 – 12 : 1. Černý a kol., (1997) ve své publikaci uvádí, že za dostatečné zásobování půdy dusíkem lze uvažovat poměr C : N do 15 - 18 : 1, nejužší poměr C : N 10 : 1 mají půdy s vysokou biologickou aktivitou, např. černozemě, rendziny. Tento poměr je aplikací organických hnojiv výrazně pozitivně ovlivňován. V pětiletém pokuse pěstování kukuřice způsobem monokultury, který byl uskutečněn v Červeném Újezdě bylo zjištěno, že v ornici na nehnojené kontrole byl poměr C : N 13,2, na hnojené variantě s DAM 390 poměr C : N 12,1 : 1 a na var. hnojené hnojem pak poměr C:N 10,2 : 1. Za 5 let pěstování tvořila na kontrole negativní bilance - 653 kg N/ha, kde se mimojiné také snížil obsah fixovaného NH_4^+ iontu. U varianty s DAM 390 byla o něco lepší bilance -183 kg N/ha a pouze u varianty, kde byl aplikován chlévský hnůj byla bilance pozitivní +592 kg N/ha. Procházka a kol. (1998) uvádějí, že procesem mineralizace jsou organické sloučeniny rozkládány na minerální formy a to rychlostí 142 - 814 kg/ha N za rok, což odpovídá přeměně 1,2 - 7,4 % celkového organického dusíku v půdě.

Rozsah mineralizace organického dusíku je ovlivňován především množstvím organické hmoty v půdě; vodním, vzdušným a teplotním režimem půdy; půdní reakcí a živinným režimem půdy (Baier a Baierová, 1985).

3.2.3 Imobilizace

Imobilizace je v podstatě opačný redukční děj k mineralizaci (Vaněk a kol., 2007), kdy dochází k syntéze organických sloučenin z minerálních forem dusíku, tedy k zabudování dusíku, především amonného, ale i nitrátového dusíku do bílkovin mikroorganismů (pro výstavbu biomasy) a humusových látek. Obecně řečeno se zde jedná o přeměnu minerálního dusíku na dusík organický a pro rostliny se stává nedostupným (Fecenko a Ložek, 2000; Vaněk a kol., 2012). V našich půdách převládá tzv. biologická imobilizace, tj. spotřebovávání dusíku mikroorganismy (Richter a Hlušek 2003; Vaněk a kol., 2007).

V půdě může nastat dynamická rovnováha mezi imobilizací a mineralizací a v důsledku této rovnováhy neprobíhá syntéza ani rozklad dusíkaté organické hmoty v půdě (Bielek, 1984). Pokud je imobilizace větší než mineralizace, dusík se spotřebovává, je prakticky pro rostliny nedostupný a následně může dojít k dusíkaté depresi a deficitu ve výživě rostlin dusíkem.

Naopak, pokud je imobilizace slabší než mineralizace, tak se obsah N_{\min} v půdě zvyšuje (Richter a Hlušek, 2003).

3.2.4 Denitrifikace

Jeden z nepříznivých pochodů pro zasobení rostlin dusíkem z půdy je proces denitrifikace, který může způsobit únikem dusíku do ovzduší ve formě elementárního dusíku (N_2) poměrně značné ztráty, mohou činit až do 50 kg N ročně. V tuzemských podmínkách, lze počítat se ztráty vlivem denitrifikace až 8 % půdního mineralizovaného dusíku (Baier a Baierová, 1985). Je žádoucí, aby nebylo v půdě přítomno větší množství nitrátů v mimo vegetačním období, kdy je kromě ztrát denitrifikací i zvýšené nebezpečí vyplavení nitrátů z ornice (Vaněk, 2012).

Podmínkou průběhu denitrifikace jsou kromě přítomnosti nitrátů i anaerobní podmínky (nedostatek kyslíku) v půdě a dostatek lehce dostupných organických látek (oxidují se na oxid uhličitý a uvolňuje se energie) a řada dalších podmínek, jako je nízké pH, redox potenciál půd a podobně (Vaněk a kol., 1997; Bateman a Baggs, 2005). V podmínkách nedostatečného vzdušného režimu a vysokých hodnotách pH mohou fakultativní anaerobní bakterie využívat během dýchání místo kyslíku, nitráty. Tato vlastnost následně vede ke snížení jeho obsahu v půdě, dále vede k tvorbě dusitanů, oxidu dusnatého a na závěr dusíku (Gupta a kol., 2011).

Denitrifikací mohou nastávat výrazné ztráty dusíku, mající za následek snížení efektivnosti aplikace statkových a minerálních hnojiv a také negativní ovlivnění životního prostředí zvýšením koncentrace obsahu nitrátů. Zvláště potom koncem vegetace a v mimovegetačním období, kdy je také zvýšené nebezpečí vyššího obsahu vody v půdě, a tím omezený obsah kyslíku (Vaněk, 1997). Přestože denitrifikace je nejvyšší za anaerobních podmínek, může se vyskytovat i v půdách, které nejsou zcela nasyceny vodou a také se může vyskytovat v půdních agregátech. Změny vlhkosti půdy ovlivňují stav provzdušňování půdy, a to ovlivňuje rychlost denitrifikace. Čím více je půda nasycena vodou, tím se potenciálně zvyšuje rychlost denitrifikace (Saggar a kol., 2009). Ztráty denitrifikací jsou pak proto největší na konci léta a na podzim, kdy je vyšší úroveň půdní vlhkosti. Tento proces však může nastat i v případě silných dešťů nebo zavlažování, které způsobí denitrifikaci i v jiných ročních obdobích (Philips a kol., 2007).

Je proto žádoucí aplikovat dávky dusíku přiměřené potřebě pěstovaných plodin a vlastní hnojení dusíkatými hnojivy realizovat převážně na počátku a v průběhu vegetace (Vaněk a kol., 1997). Nejvyšší ztráty denitrifikací se obecně vyskytují v situacích, kdy jsou přítomny vysoké koncentrace nitrátů v půdním roztoku se snadno dostupným zdrojem uhlíku a s dostatečně vysokou teplotou pro vznik mikrobiální aktivity (Saggar a kol., 2009).

Znalosti podmínek o průběhu denitrifikace nám umožňují usměrnění hnojařských a dalších agrotechnických zásahů tak, aby tyto ztráty byly nízké (přiměřené) a větší část minerálních forem N byla využita rostlinami (Vaněk a kol., 1997).

3.2.5 Volatilizace

Ke ztrátám dusíku v plynné formě do ovzduší může dojít i amoniakálního (NH_3) dusíku z povrchu půd. Volatilizace neboli ztráty (těkáním) v plynné formě mohou docházet u amonného dusíku po přeměně na amoniak, která nastává zejména na povrchu půd bohatých na

vápník, popř. se slabší sorpcí, zvláště při vyšších teplotách (Baier a Baierová, 1985). Kromě těkání NH_3 a zásaditých půdách, probíhá volatilizace intenzivněji ve vyšších polohách (Bielek, 1984). Tato nežádoucí přeměna N představuje ztrátu N z agroekosystému a ohrožení životního prostředí. Amoniak totiž znečišťuje ovzduší a může reagovat se sloučeninami síry a má vliv na vznik skleníkového efektu (Lošák a kol., 2014). Polovina amoniaku, který vytěká do ovzduší se vrací zpět na zemský povrch prostřednictvím mokrého a suchého spadu. V důsledku spadů způsobuje okyselení a eutrofizaci přirozených ekosystémů. Volatilizací NH_3 může být způsobeno aplikací N hnojiv; použitím stájových hnojiv (zejména kejda); mineralizací organických látek a rostlinných zbytků (Sommer a kol., 2004).

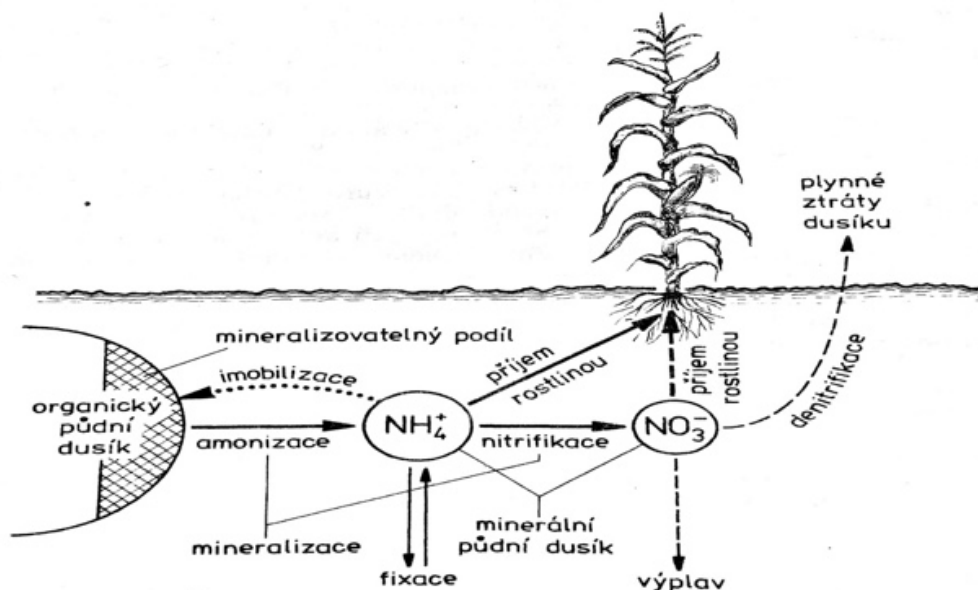
3.2.6 Vyplavování

K vyraznějším ztrátám dusíku z vegetačního profilu může dojít vyplavováním nitrátů do spodiny a podzemních vod, zejména na půdách lehčích v humidnějších podmínkách (Baier a Baierová, 1985). Dusíkaté ztráty ze zemědělských systémů prostřednictvím vyluhování dusičnanů, denitrifikace a těkání amoniaku do ovzduší snižují zásoby N v půdě využitelné pro rostliny a současně mohou ohrozit udržitelnost (Moeller a Stinner, 2009). Vyplavování dusičnanů je velkým problémem nejen snížením úrodnosti půd, ale také ohrožuje životní prostředí a lidské zdraví (Goulding a kol., 2008). Nejvíce dusíku je z půdy vyplavováno v období, kdy půda není pokryta vegetací (Baier a Baierová, 1985).

Průměrné roční ztráty N vyplavením činí 5 – 55 kg N/ha. Množství vyplaveného dusíku se odvíjí od půdního druhu, dávek aplikovaného dusíku hnojivy a pěstované plodiny (Fecenko a Ložek, 2000).

Přeměny vedoucí ke ztrátám nebo zisku dusíku jsou závislé na mikrobiální činnosti půdy, která je ovlivněná nejenom fyzikálním a chemickým stavem půdy, ale i povětrnostními podmínkami. V níže uvedeném obrázku č. 2 je schematicky znázorněna dynamika přeměn dusíku v půdě.

Obr. č. 2: Zjednodušené schéma dynamiky dusíku v půdě (Baier a Baierová, 1985)



3.3 Dusík v rostlině

Obsah dusíku v rostlinách se s nárůstem sušiny během vegetace snižuje, ovšem množstevně se s růstem biomasy celkové množství sušinou zvyšuje, zpravidla až do doby dozrávání (Baier, Baierová, 1985). Tento jev je v průběhu vegetace označován jako proces zředování, respektive zředvací efekt (Vostál, 1983; Baier a kol. 1988). Množství dusíku v sušině rostlin se v průměru pohybuje v rozmezí 1 – 3 % (Matula, 1977). Na konci vegetace v období zrání pak značná část dusíkatých látek přechází z vegetativních do zásobních orgánů, tzn. např. obilek (Dvořák, 1984).

Uhlík (C) a dusík (N) jsou nejvýznamnější prvky v koloběhu živin v přírodě. Dusík je z pohledu růstu a vývoje zemědělských plodin nezastupitelnou hlavní rostlinnou živinou ve výživě rostlin. Je naprosto nezbytný pro tvorbu živé biomasy a řízení životně důležitých buněčných funkcí všech živých organismů. Dusík je významnou živinou nejen pro rostliny, ale i pro půdní mikroflóru, jako limitujícím faktorem pro vegetativní růst a zvětšování populace (Edwards a Merrick, 1995; Šimek, 2000).

Dusík jako základní rostlinná živina, je kromě nukleových kyselin a chlorofylu součástí hlavně bílkovin. Bílkoviny tvoří podstatnou součást všech živých buněk a pletiv rostlin. Rostlinné pletiva obsahují 15 – 18 % N. Jsou obsaženy hlavně v mladých orgánech, dělivých pletivech, enzimech, nukleoproteinech a dalších látkách, které se významně podílejí na vlastním růstu rostliny, tvorbě nejdůležitějších orgánů a celkové tvorbě biomasy. V období dozrávání se tvoří větší množství zásobních bílkovin (nad 10 % v semenech obilovin) v semenech (Vaněk a kol., 2007). Ciampitti a kol., (2013) 4 roky studovali dva různé hybridy kukuřice s různou hustotou porostu a různou aplikační dávkou dusíkatého hnojení. Výsledkem pokusu potvrdili významný pozitivní vliv N na tvorbu výnosu a kvality zrna (ve fázi zralosti) v obou genotypech. Exaktním pokusem také zjistili, že absorpce N celé rostliny koreluje s nárůstem celkové biomasy. Je živinou, která nejvíce limituje rostlinou produkci, a proto je do zemědělských půd aplikován ve velkém množství.

Deficit dusíku, jenž je zároveň zdrojem poruch příjmu N rostlinami, uvnitř rostlin způsobuje omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, jejichž postupná absence se navenek projevuje radikální depresí růstu, následně snížením výnosu a zpravidla i zhoršením kvality celkové produkce. Absence (nepřítomnost) dusíku v rostlinách dále způsobuje omezenou tvorbu chlorofylu a všech základních životních pochodů rostlin, který je charakteristický změnou barvy rostlin žloutnutím nebo jeho odbourávání ve starších listech. (Matula, 1977; Dvořák, 1984; Vaněk a kol., 2007; 2012; Mikanová a Šimon, 2013; Vaněk a kol. 2016).

3.3.1 Zdroje a příjem dusíku rostlinami

Zdroje dusíku lze rozdělit do dvou skupin, na skupinu biologické fixace dusíku v půdě a na zdroje N vedlejší. Biologická fixace je nejvýraznějším zdrojem dusíku v biosféře, na kterém se podílejí všechny formace pevniny i oceány, nejvíce plochy bobovitých rostlin a dále lesní a travní porosty (Baier a Baierová, 1985). Zatímco u ostatních živin, jejich přirozeným zdrojem je matečná hornina, dusík se do půdy dostává především ze vzduchu. Primárním zdrojem dusíku je atmosféra obsahující 75,51 % (78,08 % obj.), převážně ve formě elementárního plynného (N₂) dusíku. Ve vzduchu se nad každým kilometrem zemského

povrchu nachází zhruba 8 miliónů tun N_2 dusíku a z pohledu jeho obsahu v půdě se přívod z ovzduší stává nejvýznamnějším zdrojem (Petr, 1987; Vaněk a kol., 2012). Atmosférický dusík se do půdy dostává činností specifických mikroorganismů fixující půdní dusík nebo při bouřkách v podobě kyseliny dusičné nebo dusité a rozkladem organické hmoty. Mikroorganismy, které mají schopnost se podílet na fixaci N_2 , lze rozdělit na dvě základní skupiny (1) Symbiotické a (2) volně žijící (nesymbiotické) mikroorganismy (Vaněk a kol., 2012).

Zemědělsky největší význam má fixace vzdušného dusíku symbiotickými mikroorganismy, neboli hlízkovými bakteriemi rodu *Rhizobium* (*Rhizobium leguminosarum*, *Rhizobium trifolii* L. apod.), jejichž specifické druhy žijí v hlízkách kořenů bobovitých rostlin (jeteloviny a luskoviny) a napoutaný dusík je předáván hostitelské rostlině. Principem fixace dusíku z ovzduší je symbióza s těmito druhy píceňin, kdy rostliny pro hlízkové bakterie zajišťují energetický potenciál a živiny, a hlízkové bakterie jim předávají většinu fixovaného dusíku ve formě amoniaku (NH_3). Amoniakální forma dusíku činnost hlízkových bakterií prakticky neovlivňuje, avšak nitrátová (dusičnanová) forma jejich činnost brzdí (Baier a Baierová, 1985). Zatímco jednoleté bobovité rostliny půdu obohatí o 40 - 80 kg N/ha za rok, tak kvalitní porosty vojtěšky a jetele jsou schopny fixovat 200 – 250 kg N/ha za rok (Baier a Baierová, 1985; Vaněk, 2012; Vaněk a kol., 2016).

K nejvýznamnějším fixátorům nesymbioticky vázající elementární vzdušný dusík v půdě patří bakterie rodu *Azotobacter* (aerobní) a *Clostridium* (anaerobní) a asi 60 druhů modrozelených řas (Bielek, 1984), které mohou tímto způsobem obohatit půdu o 5 – 15 kg N/ha. Nesymbiotická fixace je výrazně ovlivňována podmínkami prostředí (teplota, vlhkost a pH), zejména používáním organických hnojiv (Vostal a Matousch, 1998) a při optimálních podmínkách může být fixace N navýšena až na 30 kg N/ha. Vedle podpory je možné těmito prospěšnými bakteriemi přímo inokulovat půdu nebo osivo před setím. Při aplikaci vysokých dávek minerálních dusíkatých hnojiv na výskyt a počet bakterií rodu *Azotobacter* působí negativně a potlačuje jejich schopnost fixovat dusík z ovzduší (Mikanová a Šimon, 2013).

Vedlejším zdrojem lze uvažovat o vnosu dusíku do půdy prostřednictvím srážek (mokrý depozice) a pevných spadů (Vaněk a kol., 2007). V atmosféře se vyskytuje řada oxidů dusíku (NO_x), včetně dusíku amonného (Mikanová a Šimon, 2013), ovšem dusík není v plynné elementární formě bez předchozí ionizace (přeměny) přijatelný. Ionizace může proběhnout například při bouřce, kdy je elektrickým výbojem oxidován N_2 na NO_x , případně až na slabou kyselinu dusičnou (HNO_3). Tímto způsobem ve formě pevných spadů (depozice), lze do bilanční položky přísunu dusíku v podmínkách ČR počítat asi s 15 kg N/ha za rok a v silněji zatížených oblastech i přes 20 kg N/ha (Vaněk a kol., 2007), v některých oblastech slouží deponovaný N jako nezanedbatelný zdroj dusíku (Jenkinson, 2001). Zároveň pokud uvážíme pravidelný přísun dusíku srážkami a spadem během celého roku, je stěženo si uvědomit, že tento zdroj dusíku je více intenzivní v mimovegetačním období, kdy nemůže být ve většině případů na zemědělské půdě rostlinami využit (Vaněk a kol., 2007).

Příjem jednotlivých iontů a jejich využití v rostlině ovlivňuje i příjem ostatních iontů. Zvláštností dusíku je, že rostlina jej může přijímat ve formě kationtu i aniontu, a je tedy dost významně ovlivňována iontová rovnováha mezi kationty a anionty v rostlině (Vaněk, 2012).

Dusík je sice přijímán v amonné formě, ale za běžných podmínek přijímají rostliny převážně nitrátovou formu. O tom, která z obou forem je přednostně přijímána, rozhoduje nejenom jejich obsah v půdním roztoku, ale i požadavky druhu plodiny a ekologické podmínky. Je to způsobeno tím, že amonná forma dusíku (NH_4^+) je z velké části poutána na půdní sorpční komplex a ve výsledku je ho v půdním roztoku malé množství. Nitrátový dusík (NO_3^-) není poután na sorpční komplex a téměř ani do jílových minerálů, tedy je ho v půdě přítomno mnohem větší množství než amonného dusíku. To je jeden z mnoha důvodů, proč rostliny častěji přijímají nitrátový dusík, a to kořeny (Baier a kol., 1988).

Růst kořenů je základním předpokladem pro efektivní příjem N rostlinami, neboť rozvinutější a hlubší kořeny mohou zlepšit příjem N z hlubších vrstev půdy a snížit ztráty vyplavování nitrátů, a tím tak jimi znečištění životního prostředí (King a kol., 2003). Růst kořenů lze ovlivňovat hnojením dusíkem. Výsledkem je ovlivnění nejen celkový růst rostlin, ale celkové množství dusíku v rostlinách (Forde, 2002). Robinsonova (1994) studie poukazuje na vztah mezi růstem kořenů a dostupností N, na obecnou tendenci rostlinných kořenů rozvinout se v zónách bohatých na živiny, zatímco je potlačován růst kořenů v zónách s nízkým obsahem živin.

Ze strany přijímové schopnosti N je důležitější spíše hloubka růstu kořenů ve srovnání jejich hustoty, jelikož hlubší kořenová soustava poskytuje rostlině přístup k většímu objemu půdy a zdrojům v ní (Rasmussen a kol., 2015). Avšak jiné studie různých rostlinných druhů naznačují, že vyšší dostupnost půdního dusíku nemusí být pozitivní a hloubku a hustotu kořenů se významně nezvyšuje (Svoboda a Haberle, 2006).

3.3.2 Význam a utilizace dusíku v rostlinách

Rostliny vytvořily řadu regulačních mechanismů, jimiž je příjem dusíku řízen s potřebami rostliny, určenými rychlostí jejich příjmu (Dvořák, 1984). Rostliny přijímají N ve formě iontů, a to kationtu amonného (NH_4^+), nebo dusičnanového, také jako nitrátového (NO_3^-). O příjmu obou iontů rozhoduje sama rostlina, ale hlavně vnější podmínky. Značný vliv vykazuje pH prostředí, kde v kyselějších půdách převažuje příjem NO_3^- a v půdách neutrálních až zásaditých oblastí se příjem obou iontů vyrovnává, popřípadě je vyšší příjem NH_4^+ (Pavlíková a kol., 2008).

Celém procesu utilizace N je limitujícím faktorem redukce nitrátů nitrátoreduktázou, která je regulována především množstvím přijatého nitrátu (Bielek, 1984). Po přijetí NO_3^- do rostliny je uložen do zásobního poolu ve vakuole nebo je redukován, buď ihned v kořenech, nebo až v listech na amoniak. Nitrát je redukován nejprve nitrátoreduktázou za vzniku NO_2^- , průběh reakce omezující rychlost asimilace nitrátů je jejich katalyzování. V druhé fázi je NO_2^- redukován enzymem nitritoreduktázy na NH_4^+ , potřebnou energii rostlina poskytuje dýcháním a fotosyntézou. Amoniak (NH_3) vytvořený nebo amoniak přijatý rostlinou z venkovního prostředí je obecně ve vysokých koncentracích pro rostlinu toxický (stejně jako přechodné stupně redukce nitrátů), z tohoto důvodu je zabudován do organických sloučenin (ve formě NH_2) za vzniku aminokyselin (Dvořák, 1984, Fecenko a Ložek, 2000; Kincl a Krpeš, 2000; Li a kol., 2013).

3.3.3 Faktory ovlivňující příjem dusíku rostlinami

Na příjem N dusíku, ale i ostatních živin působí mnoho vnějších (ekologických), ale i vnitřních (biologických) faktorů (Baier a kol., 1988; Vaněk, 2007). Sorpční procesy v půdě a příjem živin rostlinami jsou významně ovlivněny vzájemnými interakcemi iontů. Ovlivnění příjmu dusíku a ostatními prvky např. kationt vápníku (Ca^{+2}) jako jeden z málo mobilních, potlačuje aniont NO_3^- a to se projevuje ve stimulaci příjmu kationtu NH_4^+ , zatímco kationt draslíku naproti tomu stimuluje aniont NO_3^- a potlačuje příjem kationtu NH_4^+ . Anionty $(\text{SO}_4)^{-2}$ a H_2PO_4 stimuluje příjem aniontu NO_3^- a naopak aniont chlóruru (Cl^-) podporuje příjem elektroneutrálního NH_3 (Matula, 1977; Baier a kol., 1988; Torma, 2005). Maximální příjem kationtů je v půdách při hodnotách pH 8 a aniontů pH 3 (Baier a kol., 1988).

Vlastní příjem dusíku je ovlivňován také zevnějším prostředím, především průběhem počasí. Z počasí hraje významnou roli teplota. Při nižší teplotě klesá příjem i využití NO_3^- a naopak stoupá příjem NH_4^+ (Fecenko a Ložek 2000; Torma, 2005).

3.3.4 Poruchy ve výživě rostlin

Při nedostatečném zásobení rostlin dusíkem se obsah dusíkatých látek (NL) v rostlině silně snižuje a rostliny se slabě vyvíjejí. V rostlinách již od počátku vegetace má za následek omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, jejichž deficit se projeví radikální depresí růstu rostlin a tvorby všech jejich podstatných orgánů (listů, stébel apod.) Podle stupně deficitu N se mění barva nejstarších listů od bledě zelené do žluté (Richter a Hlušek, 1999). konkrétně u kukuřice s typickým „věčkem“ směřujícím k bazální části listu. V přímém důsledku je snížený výnos vlivem snížení výnosových prvků (počet zrn v palici a klasu a hmotnost tisíce zrn - HTZ). Důsledek omezení tvorby chlorofylu vede ke snížení fotosyntézy a tím snížení celkové produkce biomasy. Spolu s tím, dochází ke snížení příjmové kapacity kořenů a obecně snížení příjmu ostatních živin (Matula, 1977; Dvořák 1984; Baier a kol., 1988; Vaněk, 2007; 2016).

Nadbytek dusíku, též nemá pozitivní vliv na správný růst a vývoj rostlin. Nadbytek dusíku v rostlinách může nastat z relativně vyššího příjmu N, které už rostlina není schopna více zabudovat do bílkovinyh součenin (Dvořák, 1984). Nadbytečná výživa dusíkem se zpočátku projevuje bujným růstem, sytě zelenou barvou listů (Matula, 1994). Porosty bývají náchylné k polehnutí a napadení chorobami a snižuje obsah cukrů a tuků, což má za následek snížení chladuvzdornosti jarních plodin (Torma, 2005). Projev obou přijatelných forem dusíku (NO_3^- a NH_4^+) je stejný, ale amonná forma dusíku vykazuje vyšší toxicitu a právě tato forma způsobuje i omezení vzcházivosti a negativní ovlivnění růstu mladých rostlinek (Vaněk, 2016).

3.4 Využití diagnostických metod pro hodnocení výživy rostlin

Diagnostika výživy rostlin neboli sledování příjmu živin je výchozím kritériem pro posouzení výživného stavu, jeho vegetačního vývoje a působících faktorů, které na jeho utváření působily. Přijatými živinami jsou živiny, které rostliny přijaly a ve svůj prospěch (tvorbu biomasy), transportovaly a zabudovaly do svých těl (Baier a kol., 1988). Účelem diagnostických metod je indikace a prevence disharmonie ve výživě porostů. (Matula, 1977; Baier a kol., 1988). Komplexní diagnostické metody využívají odběru reprezentativních vzorků

půd a rostlin, podrobení chemickým analýzám a vyhodnocení výsledků pomocí sofistikovaných diagnostických nástrojů. V tab. č. 1. jsou uvedeny kritéria pro vyhodnocení minerálního dusíku v půdě při 100% sušiny země. Vyhodnocení zohledňuje vegetační a zdravotní stav porostů. (Trčková a kol., 2009). Diagnostiku výživy rostlin dělíme podle jejího účelu a poslání na (1) diagnostiku podmínek výživy rostlin a na (2) diagnostiku výživného stavu rostlin (Baier a kol., 1988).

Tab. č. 1: Kritéria hodnocení N_{min} v půdě (Baier a kol., 1988)

| Obsah | Hodnocení | Označení |
|-----------------|-------------|----------|
| Do 5 mg N/kg | velmi malá | VM |
| 5 – 10 mg N/kg | malá | M |
| 10 – 20 mg N/kg | střední | S |
| 20 – 40 mg N/kg | dobrá | D |
| Nad 40 mg N/kg | velmi dobrá | VD |

Rychlou „polní“ diagnostickou metodou je i vizuálního určení symptomů nedostatků, popř. nadbytků živin v rostlinách a biotesty, při nichž se působí na rostliny nebo jejich části indikátory (Matula, 1977; Neuberg, 1990). Na výživě rostlin se podílí také vlivy vnějšího prostředí, zejména pak půdněpovětrnostní podmínky, které je nutné také v průběhu vegetace na daném stanovišti diagnostikovat (Baier a kol., 1988; Vaněk, 1989).

3.4.1 Význam a použití diagnostických metod

Diagnostické metody výživy rostlin slouží ke správnému rozhodování o výživařských zásadách pro dané místo na pozemku a je třeba mít k dispozici dostatek informací charakterizující stav půdního prostředí a výživný stav porostu (Baier a kol., 1988), popřípadě tyto údaje v kombinaci s leteckými a satelitními snímky (např. s výnosovými mapami), lze využít v systému precizního zemědělství, které využívá nejmodernější technologie v hospodaření na půdě (Lukas a kol., 2012).

3.4.2 Diagnostika a hodnocení obsahu dusíku v půdě

Diagnostika podmínek výživy rostlin se zabývá nejen zjišťováním obsahu živin a jejich forem v prostředí (především v půdě), které rostlina může přijmout a využít, ale i vnějšími faktory, které příjem a využití živin ovlivňují (Baier a kol., 1988). Hlavní, nejrozšířenější a nejvíce využívanou metodou pro stanovení podmínek výživy rostlin v našem zemědělství, jsou agrochemické rozbory půd. Právě tato metoda se z řady metod, sloužících ke stanovení potřeby hnojení na základě obsahu živin v půdě nejvíce prosadila. Směřují ke stanovení onoho objemu živin, o němž se dá předpokládat, že bude v průběhu jedné vegetace rostlinám k dispozici (Baier a Baierová, 1985; Baier a kol., 1988). Anorganické rozbory půdních vzorků se zde stávají hlavním prostředkem pro stanovení obsahu přijatelných živin s předpokladem jejich dostupnosti pro rostliny během jedné celé vegetace. Provádění chemických analýz vzorků půdy pro zjištění podmínek výživy rostlin je stěžejní půdní (minerální) dusík (N_{min}). Pro tyto analýzy se odebírají půdní vzorky pomocí sondačích tyče z orničního profylu do 30 cm, popřípadě z podorničí

z hloubky 30 – 60 cm (Baier a kol., 1988; Miransari a Mackenzie, 2010). Hoagen a Werner (1991) také doporučují využití N_{min} metody pro stanovení jeho obsahu v půdě pro účel optimalizace zásahů výživy rostlin dusíkem, zejména na organicky hnojených a biologicky činných půdách. Miransari a Mackenzie (2010) obdobně uvážejí, že tuto metodu označují za užitečný nástroj pro stanovení dávek dusíku v půdách s přiměřeným přísunem organické hmoty.

3.4.3 Diagnostika a hodnocení obsahu živin v rostlinách

Diagnostika výživného stavu rostlin se zabývá zjišťováním obsahu živin v rostlinách během vegetace (popř. jejich frakcí), jejich vzájemným poměrem, přijatým množstvím, stupněm utilizace přijatých živin, popřípadě jejich rozmístěním v orgánech důležitých pro asimilaci, jakož i vnitřní faktory, které příjem a využití ovlivňují (Baier a kol., 1988). Pro účely diagnostiky byla vypracována řada metod, které lze rozdělit na nedestruktivní screeningové a na běžné konvenční analytické metody.

Nedestruktivní neboli nepřímé metody diagnostiky výživného stavu rostlin jsou založené na sledování spektrálních parametrů korespondujících např. s obsahem chlorofylu či celkového dusíku v listech měřením částí rostlin. Tyto metody využívají snímání množství záření procházejícího listem nebo odrazivosti měřené senzory. Pro snadné a levné měření okamžitého výživného stavu rostlin dusíkem, lze využít kontaktní, přenosný ruční chlorofylmetr (N-tester) založený na zjišťování spektrálních vlastností rostlin. V případě dostatečného proměření porostu N-testerem je možné na základě interpolačních metod vyhotovit mapu výživného stavu jako podklad pro diferenciované přihnojení porostu dusíkem (Lukas a kol., 2012). Pro praktičtější vyhodnocení údajů zachycující výživný stav porostu existuje metoda využívající senzory (N-sensor), které jako součást aplikační techniky hnojení bezkontaktně snímají barvu horních pater porostu, jenž na těchto bezprostředně vyhodnocených výsledků a za předpokladu správné kalibrace zařízení, regulují dávku aplikovaných dusíkatých hnojiv (Trčková a kol., 2009). N-senzor oproti N-testeru zjišťuje totiž stav podle jeho spektrální odrazivosti, který bezkontaktně měří obsah chlorofylu v listech a na základě zjištěného silného vztahu mezi obsahem chlorofylu a celkového dusíku, řídicí počítač vyhodnocuje data a stanovuje dávku hnojiva, které je následně aplikováno (Zimolka a kol., 2008; Lukas a kol., 2012).

Mezi běžné konvenční, dosud nejpoužívanější a nejpřesnější stanovení výživného stavu rostlin, poskytují chemické rozborů rostlin (tzv. bodová diagnostika), neboť rostliny svým chemickým složením během vegetace ukazují sumu všech faktorů, které působí na příjem živin a jejich využití pro tvorbu výnosu (Vaněk, 1989; Trčková a kol., 2009). Principem bodové diagnostiky výživného stavu rostlin je stanovení obsahu živin v sušině v určité fázi vývoje a růstu a také ve vyhodnocení a klasifikaci získaných hodnot podle kritérií vzájemné relace nebo obsahu živin. Slouží k objektivizaci hnojařských opatření běžně prováděných v určitých obdobích vegetace (Baier a Baierová, 1985). Anorganické rozborů v porovnání s moderními metodami diagnostiky výživy rostlin jsou drahé a málo operativní (Trčková a kol., 2009), ale s ohledem na současnou cenu živin v minerálních hnojivech zůstávají metody chemických rozborů rostlin stále významné (Lukas a kol., 2012).

Další metodou stanovení může být na základě určitých časových intervalech v průběhu vegetace, tzv. průběžná diagnostika stavu výživy rostlin, kterou používáme k vymezení odchylek od optimálního stavu výživy, k prognóze výnosového potenciálu a k určení vhodných korekčních opatření (Baier a kol., 1988).

3.4.4 Diagnostika výživného stavu kukuřice seté

Kukuřice setá patří k plodinám, které jsou na nedostatek živin na počátku vegetace velmi citlivé (zejména fosfor), dochází k pomalému růstu a snižování fytomasy, proto je potřeba výživný stav rostlin monitorovat hned na začátku a během vegetace pomocí možných současných metod diagnostiky. Při pěstování kukuřice se provádějí rozbory rostlin pouze ve dvou obdobích, ve vegetivní fázi růstu a ve fázi kvetení. Pro kontrolu výživného stavu se doporučuje provádět odběry vzorků rostlin ve fázi 4 – 8 listů (BBCH 14-18) a pak těsně před samotným vymetáním (BBCH 51). Při nedodržení odběru vzorků ve správné fázi u odebraných rostlin s nižší růstovou fází dochází k nižší produkci sušiny, a tím vyšším obsahu živin, které vede ke zkreslení výsledků, a tím předpokládaného výnosu kukuřice.

Pro vyhodnocení výživného stavu rostlin během vegetace se vychází z tab.č. 2. Jeho úpravu můžeme upravovat koncentrovanějšími tuhými i kapalnými hnojivy. Volba hnojiva se pak řídí dle deficientní živiny. Na půdách s nízkým obsahem N, lze použít ledky amonné s příměsí vápence nebo dolomitického vápence, močovinu nebo ledek vápenatý. V hnojivech se dávky dusíku mohou pohybovat v humidnějších oblastech od 60 – 80 kg/ha. Z kapalných hnojiv se může použít DAM 390, avšak po jeho aplikaci na list dochází často k velkému poškození rostlin v užlabí listů, proto se aplikuje tzv. damovými tryskami (vytváří větší kapky) na půdu (Zimolka kol., 2008). Javor a kol. (2017) pokusem zjistili, že toto hnojivo je vhodné aplikovat současně s meziřádkovou kutivací kukuřice přímo do půdy, která již při dvojnásobné kultivaci během vegetace zvyšuje využití N z hnojiva a při brzké kultivaci umožní úsporu dusíkatého hnojení o 20 kg N/ha a 50 – 70 kg N/ha při pozdější kultivaci.

Tab. č.: 2 Obsah živin v rostlinách kukuřice (Bergmann, 1986)

| Doba odběru | Analyzovaná rostlinná část | Procento živiny v sušině | | | | | mg/kg v sušině |
|------------------------|----------------------------|--------------------------|----------|---------|----------|----------|----------------|
| | | N | P | K | Ca | Mg | Zn |
| Výška porostu 40-60 cm | plně vyvinuté listy | 3,5-5,0 | 0,35-0,6 | 3,0-4,5 | 0,3-1,0 | 0,25-0,6 | 30-70 |
| Kvetení | list u palice | 2,8-3,5 | 0,25-0,5 | 2,0-3,5 | 0,25-1,0 | 0,2-0,5 | 25-70 |

Při stanovení disproporcí ve výživném stavu rostlin v pozdějších fázích vegetace se vychází rovněž z anorganických rozborů provedeného ve fázi BBCH 51 nebo lze využít N-tester (Zimolka a kol., 2008).

3.5 Vliv půdně-klimatických faktorů, výživy a agrotechniky na tvorbu výnosu

Kukuřice je teplomilnou plodinou, klíčící při teplotě půdy 7 - 8 °C, která se přes její tropický původ pěstuje v rozmanitých klimatických podmínkách. Tato skutečnost byla umožněna zejména rozvojem šlechtění, jehož výsledkem je používání výhradně hybridních

odrůd (Vrzal a kol., 1995). Za nejvhodnější oblast pěstování kukuřice na zrno je možné označit lokality s průměrnou roční teplotou 9 - 10 °C, z toho za hlavní vegetační období duben – září s průměrnou teplotou 16,5 - 17 °C. Brant a kol. (2016) uvádí, že v českých podmínkách se teplota při seti pohybuje mezi 6 – 8 °C, klíčivost se však při teplotě 10 °C může prodloužit až o 21 dnů. V těchto vhodných oblastech je vyhovující roční úhrn srážek nad 500 mm, z toho alespoň 300 mm během vegetace kukuřice (Zimolka a kol., 2008).

3.5.1 Požadavky kukuřice na půdu a vliv na tvorbu výnosu zrna

Kukuřice s ohledem na její produkční potenciál má značné nároky na odběr živin. Rostliny tvoří mohutný kořenový systém, který zvládne využít živiny v hlubších vrstvách půdy, dokonce i v podorniči. Kukuřice patří mezi rosliny, které nemají výrazně vyhraněné požadavky na kvalitu půdy. Větší výnosovou jistotu poskytují půdy středně těžké až těžké s půdní reakcí mezi pH 5,6 – 7,0 (Richter, 2005; Zimolka a kol., 2008). Kukuřice se na počátku vegetace vyznačuje specificky pomalým růstem a nízkým odběrem živin a až po vývinu 9. – 10. listu (v polovině června) následuje období velmi intenzivního růstu a příjmu živin včetně dusíku. Za 35 - 45 dní (asi 10 - 15 dní před objevením laty) přijme kukuřice 70 - 75 % všech živin. Draslík kulminuje (vrcholí) v době kvetení, zatímco u ostatních živin jejich příjem pokračuje i po odkvětu (Balík a kol., 2001; Prokeš, 2009). Zatímco za celý první měsíc přijme kukuřice 3,3 - 5,6 kg N z jednoho hektaru, v období mléčné zralosti stejné množství přijme za jeden den (Richter, 2005). Ignacio a kol. (2013) zkoumali změny příjmu živin během vegetace a jejich rozdělení lokace v rostlině kukuřice a zjistili, že porosty kukuřice vyžadují vyváženou výživu stejně jako jakákoliv jiná zemědělská plodina. Potřebu živin na tvorbu jedné tuny nadzemní biomasy kukuřice konkretizuje tab. č. 3.

Tab. č. 3: Normativní potřeba živin pro kukuřici (Šuk a kol., 1998; Richter, 2005; Vaněk a kol., 2007; Prokeš, 2009)

| Produkt | Odběr živin (kg/t) | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|------|
| | N | P | K | Ca | Mg | Zn |
| zrno + sláma | 22,0 – 26,0 | 4,4 – 6,6 | 21,0 – 33,0 | 4,3 – 7,1 | 4,0 – 6,0 | 0,04 |
| silážní hmota | 3,5 – 4,0 | 0,7 – 0,9 | 2,9 – 3,7 | 0,9 – 1,3 | 0,3 – 0,6 | 0,03 |
| Odběr pro výnos 8 t/ha zrna | 190,0 | 25,0 | 120,0 | 45,0 | 35,0 | 0,3 |
| Odběr pro výnos 60 t/ha siláže | 245,0 | 56,0 | 144,0 | 46,0 | 34,0 | 1,5 |

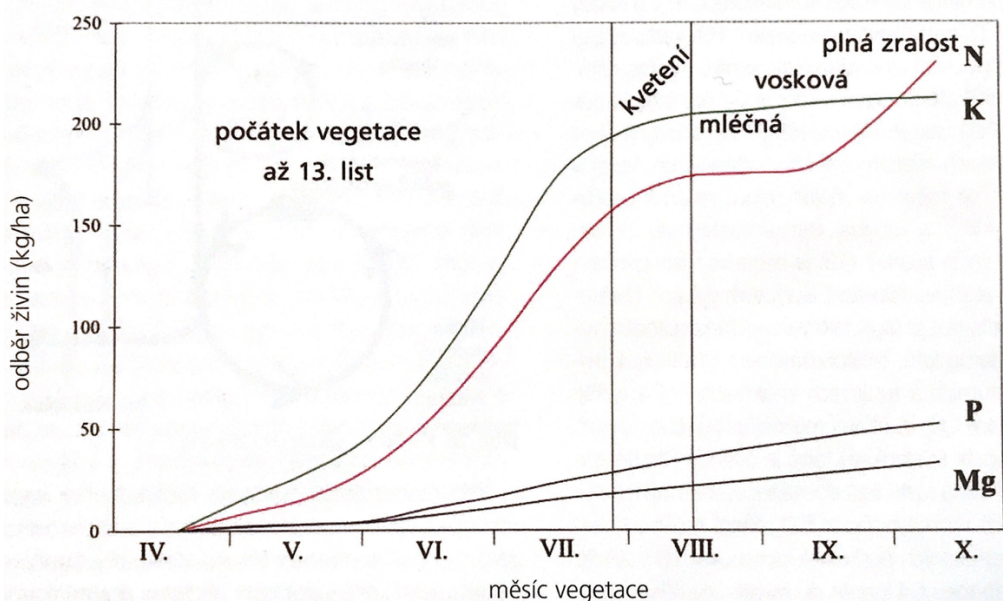
Klír a kol. (2007) píše, že kukuřice na zrno odebere z 1 ha na tvorbu 1 t zrna a odpovídajícího množství slámy 25,9 kg N, 10,8 P₂O₅, 26,6 kg K₂O, 3,5 kg MgO, 7 kg CaO a 3,5 kg S. Richter (2005) doplňuje tento odběr o potřebu 0,6 - 1,0 kg Fe, 35 - 40 g Zn, 7 g B a 5 - 6 g Cu. Podle Prokeše (2009), lze při výšce porostu 40 - 50 cm a hmotnosti rostlin kolem 50 g (v sušině) počítat s odběrem 132 kg N, 15,4 kg P, 184 kg K a 17,6 kg Ca a 10,1 kg Mg/ha.

Průběh odběru jednotlivých živin během vegetace kukuřice znázorňuje graf č. 1. Intenzivní příjem dusíku a ostatních živin dochází během růstu v polovině června až do konce července, kdy rostliny přechází do fáze kvetení. Po odkvětu příjem N stagnuje a znovu stoupá v období mléčně-voskové zralosti zrna a do období plné zralosti (Zimolka a kol., 2008; Prokeš,

2009). Vaněk (2007) uvádí, že kritické období růstu i příjmu živin je na počátku vegetace (IV. měsíc), kdy je kukuřice citlivá k nižším teplotám a má malou konkurenční schopnost. Vlivem vyšších nároků na teplo, poskytuje kukuřice jistější výnosy v nejteplejších oblastech.

Při výživě porostu kukuřice je třeba brát ohled i na výživu mikroživinami, nejčastěji se však řeší zejména zinek. Hnojení zinkem (Zn) je z důvodu na možné interakce v půdě vhodnější jeho foliární (listová) aplikace (Zimolka a kol., 2008). Absencí Zn se na listech kukuřice objevují mezi žilnatinou světlé až bílé skvrny způsobující nekrotické zóny a při výrazném deficitu Zn má kukuřice zakrnělý růst, listy vegetačního vrcholu zakrněle stočené a stonek často pūká (Vaněk a kol., 2012). Orientačně lze uvažovat o odběru Zn kukuřicí ve výši 0,3 – 0,4 kg (Šuk a kol., 1998). Abrahamian a kol. (2010) zmiňují možnost projevu deficitu Zn i v případě jeho dobré zásobě v půdě, za předpokladu, že je v půdě vysoký obsah vápníku ($pH > 6,4$), zejména v případě vytrvalého sucha. Dun-Yi a kol. (2017) zjistili, že při jakékoliv dávce zinku (0 - 50 kg $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O/ha$) se u kukuřice dosáhlo vyšších výnosů zrna v palici a celkový výnos biomasy. Zinek totiž pozitivně snižuje počet sterilních zrn ve špičce palice a zvyšuje koncentraci Zn v rostlině a v půdě. Aplikace zinku se provádí obvykle v raných růstových fázích kukuřice a podle půdní zásoby a přijatelnosti zinku bylo dosaženo nejlepších výsledků při foliární aplikaci chelátového zinku v dávce 180 g/ha (Khalid a kol. 2013). Tahir a kol. (2016) svým pokusem zjistili a doporučují aplikaci zinku provést děleně, alespoň ve třech dávkách. Toto tvrzení potvrdili Chand a kol. (2017), kdy při aplikaci $ZnSO_4$ v dávce 25 kg/ha do půdy a následně 2x opakované aplikaci postřikem na list v koncentraci 0,2 %, došlo k navyšení výnosu zrna o 1630 kg. Také výsledkem pokusu takto vysoké dávky Zn pozitivně ovlivnilo všechny sledované kvantitativní znaky. Velký vliv na výnos kukuřice má i synergický vliv hnojení sírou s následnou foliární aplikací zinku, kdy rostliny ve stresu ze sucha svůj výnos hnojením sírou navýšily o 45 % a o 50 % po listové aplikaci zinku (ZnO) v dávce 1 kg/ha (Sohrabi a kol., 2019). Mikroživinami hnojíme jen tehdy, jestliže je na stanovišti zjištěn jejich výrazný deficit (Vaněk a kol., 2012).

Graf č. 1: Dynamika odběru živin kukuřicí při výnosu 6 - 7 t zrna/ha (Zimolka kol., 2008)



Kukuřice je vysoce produktivní plodina, která pro dosažení výnosu zrna 10 – 12 t/ha, při minimálním podílu palic 40 %, potřebuje velmi dobře zásobenou půdu živinami. Na vyprodukování uvedeného množství hmoty je zapotřebí dodat 120 – 180 kg N, 30 – 45 kg P a 80 – 160 kg K/ha (Vrzal a kol., 1995). Z výše uvedeného grafu je zřejmé, že rostliny přijmou převážnou část živin v období před kvetením, což z časového hlediska znamená, že během tohoto období musí být tyto živiny již na stanovišti (v půdě) a v dostatečném množství (Vaněk a kol., 2007).

Kukuřice vykazuje v porovnání s jinými zemědělskými plodinami určité rozdíly z pohledu na její pěstování a výživu. Rozdíly jsou způsobeny odlišným typem fotosyntézy C4 na rozdíl od většiny zemědělských plodin s fotosyntetickým cyklem C3. Tato metabolická odlišnost jí řadí mezi rostliny s vyššími nároky nejen na teplotu vzduchu, ale i půdy a zároveň vytváří předpoklad pro efektivní využití přijatých živin na tvorbu výnosu.

3.5.2 Vliv průběhu počasí na tvorbu výnosu zrna

Na tvorbu výnosu se podílí mnoho biotických a abiotických faktorů během vegetace kukuřice. Kromě výživy a ochrany rostlin, biologické hodnoty osiva, struktury porostu (počet rostlin na jednotku plochy) apod., hraje významnou roli i průběh počasí.

Markulj a kol. (2010) svojí 3-letou studií potvrzují důležitost průběhu počasí, zejména srážkové a teplotní režimy, které se významně podílejí na formování výnosů. Stres rostlin vyvolaný suchem je považován za nejvíce konzistentní environmentální faktor, který negativně ovlivňuje výnos kukuřice (Boyer, 1982). Rok poté ve studii Shawa (1983) bylo experimentem v USA stanoveno, že k největšímu poklesu výnosu kukuřice nastává, když jsou rostliny stresovány suchem v období kvetení a ve fázi zrání obilek, nejméně pak měl stres vliv v době ranného vegetativního vývoje. Tuto skutečnost prokázali Camposem a kol. (2004), kdy větší citlivost k vodnímu deficitu, uměle vyvolanému suchu, vykazovaly rostliny při kvetení a časného vývoje kukuřičných zrn ve srovnání s dobou konečného vývoje zrn. Habben a Schussler (2017) tento fakt vyvětluje tím, že nedostatek vody brzdí ukládání asimilátů dusíku a uhlíku do obilek, jakož i voda a minerály nezbytné pro podporu buněčného dělení, které negativně ovlivňují strukturu celé palice (vznik sterilních, scvrknutých obilek). Dupuis a Dumas (1990) zkoumali reakci samčích a samičích reprodukčních orgánů kukuřice na teplotu v in-vitro podmínkách a zjistili, že pyl je velmi citlivý na vysoké teploty. Pyl vystaven 4 hod. před nebo po opylení teplotě 40 °C, ztrácí oplodňovací schopnost, to naznačuje, že první 4 hod. po opylení je kritickým obdobím citlivosti na vysoké teploty. V případě nízkých teplot nedochází ke klíčení pylu nebo jen velmi pomalu. Z časového hlediska lze usoudit, že největší dopad stresu rostlin v důsledku sucha na výnos zrna je během reprodukčního růstu a tato fáze poskytuje přímý cíl pro zlepšení snášenlivosti kukuřice (Araus a kol., 2012). Fecenko a Ložek (2000) píší, že u reprodukčních orgánů se sterilita pylu projevuje i nedostatkem vápníku (Ca), vznik malých semen, která mohou až zasychat.

Pro zmírnění negativních účinků povětrnostních podmínek na výnosy kukuřice lze použít postupy obdělávání půdy se zaměřením na hnojení a vápnění kyselých půd (Markulj a kol. 2010). Procházková a kol. (2004) dlouhodobě sledovali různé systémy zpracování půd v kukuřičné výrobní oblasti pšenice ozimé a kukuřice, pěstované na černozemi. Mělké zpracování půdy k obilninám i jejich setí do nezpracované půdy zabezpečovalo obdobné výnosy jako orba.

Katai (2009) na olomoucku v Unčovicích sledoval tři odlišné metody zpracování půdy orbou, podryváním a mělké kypření při pěstování stejných plodin v období 2008-2010. Naproti tomu podryvané plochy ukázaly mnohem lepší průměrný výnos než plochy orané, nebo při mělkém zpracování půdy. Výsledky jeho experimentu při využití orby prokázali nejnižší výnosy jak u pšenice ozimé, tak i u kukuřice na siláž. Nejvyšší výnosy v této lokalitě obou plodin byly dosaženy v celém sledovaném období za použití technologie mělkého kypření taliřovými podmítači. Badalíková a Bartlová (2011) rovněž experimentem sledovali vliv zpracování půdy na výnosy hlavních plodin kukuřice na siláž a pšenice ozimé založený ve dvou lokalitách s odlišnými půdními a klimatickými podmínkami v řepařské a bramborářské oblasti v letech 2008-2010. Ukázalo se, že redukováné zpracování půdy s mělkým kypřením zvýšilo výnosy plodin v roce 2008 o 7,4 %, v r. 2009 o 21,4 % a v r. 2010 o 10,1 %.

Výnos zrna kukuřice odráží rozsah nevyváženosti živin během vegetačního období, proto je výhodné do půdy dodávat potřebné živiny hnojením a rovněž udržet i půdní úrodnost na dostatečné úrovni (Szczeplaniak a kol., 2016). Zembery (2003) prováděly v Dolné Malantě na Slovensku polyfaktorové pokusy s kukuřicí na zrno. Pokusy byly provedeny ve třech různých agroklimatických podmínkách, kde byl studován vliv aplikace minerálních hnojiv na výnosotvorné prvky kukuřice prostřednictvím 3 variant. Aplikace minerálních hnojiv na strniště se zapravením orbou, aplikace min. hnojiv na jaře před setím v porovnání s nehnojenou kontrolou. Výsledky pokusů ukázaly, že hnojení statisticky významně ovlivnilo pouze počty rostlin a klasů na hektar. Ročník měl zde také velký vliv na všechny pozorované prvky tvořící výnos (počet rostlin na ha, počet klasů na rostlinu a na ha, počet zrn v klasu a HTS).

Ukazatele výnosu také může sloužit stanovení minerálních indexů chemickým rozborem všech částí rostliny kukuřice sklizené ve fyziologické zralosti. Szczeplaniak a kol. (2016) tento předpoklad dlouhodobým polním experimentem potvrdili prostřednictvím 4 úrovní dodávky draslíku a dusíku (0, 100, 150 a 200 kgN/ha⁻¹). Systémy aplikace draslíku (K) byly rozlišeny dle stupně úrodnosti půdy (střední, vysoká) a hnojiva (K⁻, K⁺). Kromě významného vlivu interakcí systému hnojení K a ročníků, studie implicitně ukázala, že listy, lze použít jako ukazatele řízení hořčíku (Mg) kukuřicí, zatímco obsah vápníku (Ca) v zrnech naznačuje, jak rostlina tento prvek využívá (získává). Omezená velikost kapacity asimilátů (sink), tj. počet zrn v klase, významně snižuje tok Mg z listů do obilek, proto lze zvýšenou koncentraci Mg v listech považovat za indikátor určitého narušení výnosnosti. Také u Ca se pokusem zjistilo, že jakékoliv významné zvýšení obsahu Ca v zrně mělo za následek pokles výnosu, skutečnost autoři vysvětlují nedokonalou strukturou klasu kvůli narušenému nastavení zrn v palici.

3.5.3 Dosahované výnosy zrna a píce v různých podmínkách

Evans a Fisher (1999) definovali výnos jako hmotnost produktu při konečné sklizni se specifickým obsahem sušiny. Výnos hlavní plodiny je široce definován jako množství sklizňového produktu v konkrétní oblasti, tj. množství sklizeného produktu na plochu plodiny (Benson a Fermont, 2011). Výnos zrna kukuřice závisí na genetickém potenciálu zvoleného genotypu (odrůdy), vlastnostech půdy, systémech hospodaření na pozemku a agroklimatických podmínkách (Jocković a kol., 2010; Đalović, 2014). Potenciální výnos je maximální výnos, kterého lze dosáhnout plodinou v daném prostředí (Evans a Fisher, 1999), z velké části určený

specifickou kombinací slunečního záření, půdního typu, teploty, hustoty rostlin, odrůdy, biotická a abiotická omezení (Van Ittersum a Rabbinge 1997; Liu a kol., 2016; Ndhleve a kol., 2017). Skutečný výnos, také známý jako dosažitelný výnos zemědělcem je však častěji zásadně ovlivňován zemědělskými postupy hospodaření (Liu a kol., 2016). K poklesu výnosů přispívá mnoho faktorů, především politika v agrárním sektoru, která omezuje možnosti a přístup k výrobním vstupům. Další omezení přispívající ke ztrátám na výnosu, je nedostatečná nebo nesprávná aplikace hnojiv, nedostupnost kvalitního certifikovaného osiva, biotická a abiotická omezení nebo vysoké náklady na pracovní sílu (Crassman, 2016).

Význam pěstování kukuřice na zrno v ČR do roku 2012 výrazně stoupl. Podle Zimolky (2008) na nárůst osetých ploch kukuřice na zrno měla vliv tvorba nových výkonných hybridů kukuřice s velmi rychlým uvolňováním vody ze zrna a také vlivem globálního oteplování, resp. příchodem teplejších ročníků umožňující nižší náklady na posklizňové úpravy dosoušením. Nyní se od roku 2012 podle českého statistického úřadu (ČSÚ), plochy osteté kukuřice na zrno v ČR pohybují cca 80 000 ha a silážní kukuřice cca 230 000 ha s drobnými meziročními výkyvy (ČSÚ, 2019). Cílem pěstitelů kukuřice na zrno je v praxi dosáhnout výnosu přes 10 t/ha, vlhkosti zrna pod 30 % a eliminovat výskyt nežádoucích fuzárií, a tím snížit obsahy nebezpečných mikotoxinů pod mezní limity stanovené nařízením Evropské unie (Zimolka, 2008). V případě silážní kukuřice je cílem dosáhnout maximální koncentrace energie v 1 kg sušiny při současném zabezpečení dobrého zdravotního stavu porostu k termínu sklizně (Doležal a kol., 2012). Důležitý moment pro dosažení těchto cílů je určení správného termínu sklizně kukuřice, neboť vlhkost zrna ovlivňuje technologický proces, včetně nutriční hodnoty finální produkce a rovněž využití v krmivech (Zimolka, 2008; Doležal a kol., 2012). Období sklizně je minřen stav zrna v palici, kdy rostlina dokončuje (ukončuje) příjem živin do jednotlivých obilek, tzn. před fází tvorby černé tečky a mělo by se zrno snadno vyloupnout z vřetene. V této fázi se vlhkost zrna pohybuje optimálně kolem 35 %, vlhké produkty lze vyrábět v širším rozmezí 30 – 40 % vlhkosti. Porosty kukuřice s vlhkostí zrna nad 40 % významně zvyšuje riziko ztrát sklizeného zrna nebo je sklizeň zcela znemožněna. V opačném případě pod 30 % vlhkosti zrna je vhodné zhodnotit, zda není levnější a jistější sklizeň zrna usušit (Zimolka, 2008; Románková, 2012). Ma a kol. (2006) uvádí, že u kukuřice s produkcí zrna se celková vlhkost rostliny snižuje rychleji, než u kukuřice na siláž, způsobeno nižší pokrývností listů. Dosahované výnosy kukuřice pěstované na zrno a na siláž (včetně kukuřice na zeleno) jsou podle ČSÚ (2019) uvedeny v tab. č. 4. spolu s celkovou osetou plochou v hektarech v ČR, k datu 31. května 2019.

Tab. č. 4: Dosažené výnosy kukuřice na zrno a siláž za posledních 10 let pěstování v ČR

| Plodina | Ukazatel | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| kukuřice na zrno | *plocha (ha) | 105 | 103 | 121 | 119 | 97 | 99 | 80 | 86 | 86 | 82 | 75 |
| | výnos (t/ha) | 8,45 | 6,71 | 8,79 | 7,78 | 6,97 | 8,43 | 5,54 | 9,79 | 6,84 | 5,98 | 8,29 |
| | *sklizeň (t) | 890 | 693 | 1 064 | 928 | 675 | 832 | 443 | 846 | 588 | 489 | 620 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| kukuřice na zeleno a siláž | * plocha (ha) | 166 | 179 | 186 | 205 | 234 | 237 | 245 | 234 | 223 | 224 | 232 |
| | výnos (t/ha) | 38,15 | 33,04 | 41,79 | 40,60 | 32,66 | 40,37 | 29,13 | 40,72 | 34,84 | 29,84 | 35,47 |
| | * sklizeň (t) | 6 333 | 5 902 | 7 782 | 8 328 | 7 635 | 9 578 | 7 134 | 9 545 | 7 777 | 6 687 | 8 244 |

* Ukazatele oseté plochy (v hektarech) a celkové sklizně (v tunách) jsou uvedeny v tisících (x1000)

Celostátní průměrný výnos kukuřice na zrno byl dosažen ve výši 5,98 t/ha z celkové oseté plochy 81 852 ha v roce 2018. V případě výnosů kukuřice na siláž byl dosažen 29,84 t/ha silážní řeznaky z celkové oseté plochy 6 686 996 ha. V následujícím roce 2019, obecně příznivějším ročníku, co do množství srážek v důležitých fenofázích růstu a vývoje kukuřice, byly výnosy patrně vyšší. Kukuřice s produkcí zrna v tomto roce dosahovala výnosu 8,29 t na 1 hektar v průměru za celou Českou republiku. Kukuřičné řezanky pak ve výši 35,47 t/ha pro přímé krmení hospodářských zvířat „na zeleno“ a pro výrobu kukuřičné siláže, jako základ krmné dávky skotu, zejména v zimním období.

Použití organických a statkových hnojiv

Statková nebo organická hnojiva jsou vyráběna přímo v zemědělském podniku. Jejich složení a obsah živin je z velké části odrazem živinného režimu půd dané oblasti a způsobu ošetřování (Vaněk, 2012). Statková hnojiva jsou objemná, mají nízkou koncentraci živin a jsou dodavatelem nejen živin, ale především humusotvorných látek (Baier a Baierová, 1985). Tabulka č. 5 charakterizuje jejich průměrný přívod živin do půdy. Používání statkových hnojiv má nezastupitelnou roli v přívodu organických látek a živin do půdy, a tím i v udržování a zvyšování půdní úrodnosti (Čepl, 2005). Organická hnojiva mohou představovat např. močůvku, hnůj, kompost, odpadní kal nebo účelné pěstování plodin pro zapravení do půdy tzv. zelené hnojení (Wessolek, 2008). Kusá a kol. (2016) upozorňují, že hnojiva použitá ke kukuřici musejí být aplikována s ohledem na jejich vlastnosti a množství srážek tak, aby živiny byly pro kukuřici přijatelné v hlubších vrstvách půdy a netvořily na povrchu vrstvu s vysokou koncentrací živin. Z tohoto důvodu nedochází ke stimulaci růstu terminálního kořene a dochází k větvení kořenů v povrchové vrstvě, kde jsou při přísušku nejvíce ohroženy a neplní svoji funkci. Proto se nabízí možnost aplikace hnojiv do depa, např. lokální předset'ová aplikace hnojiv do hlubších vrstev půdy.

V České republice je čím dál častější nutné využívání protierozních a půdoochranných technologií zpracování půdy a při zakládání kukuřice se jako nejvhodnější způsob jeví pásové zpracování porostů (strip till), přičemž statková a organická hnojiva lze uložit na dno kypřeného pásu (řádku) v průběhu operace, cíleně do blízkosti kořenů (nižší dávka a vyšší efektivita využití živin) rostlin (Nerušil, Kincl a kol., 2017).

Pravidelně dodávat organickou hmotu je velmi důležité, neboť je nezbytná pro tvorbu půdního humusu. Na těžkých půdách vylepšuje organická hmota především půdní strukturu a na lehkých půdách zlepšuje sorpci živin a hospodaření s vodou (Neuberg a kol., 1995). Nerušil, Kincl a kol., (2017) doporučují organickou hmotu aplikovat zejména na půdy s nižší sorpční schopností, neboť aplikací minerálních hnojiv by byla spojena s vyššími ztráty živin vyplavováním.

Primárním zdrojem humusotvorného materiálu jsou na zemědělské půdě především exkrementy (exsudáty) kořenů, posklizňové a kořenové zbytky rostlin (Vostal, 1994). Průměrný obsah jednotlivých živin a organických látek podle druhu organického hnojiva znázorňuje tabulka č. 6. Souhrně jsou organickými hnojivy do půdy dodávány nejen organické látky nebo rostlinné živiny (makroprvky a mikroprvky), ale i stimulační a růstové látky, které mohou ovlivnit celkovou výživu rostlin. Významnou složkou ovlivňující výživu rostlin tvoří v půdě organické látky spolu s mikroorganismy, jejichž přítomností se zvýší biologická aktivita v půdě, a to se v konečném důsledku projevuje zvýšením využití živin z minerálních hnojiv. Rozkladnými procesy (mineralizace) živin může docházet k uvolňování živin, zejména pak N, P, ale i síry (Vaněk a kol., 2007; 2012). Vostal (1994) píše, že zvýšení rychlosti procesů mineralizace činí o 12 – 15 % v závislosti na vlastnostech půd.

V neposlední řadě organická hmota také slouží pro udržení dobré struktury půdy, podmínkou pro její udržení, kromě dostatečného množství organické hmoty je úprava půdní reakce (Šabatka, 2017). Zlepšují provzdušenost půdy, zvyšuje teplotu půdy, podílejí se na vytváření půdních agregátů a působí jako chrániče minerálních koloidů. Bez organické hmoty v půdě by nebyl život, nedocházelo by mimo jiné k pufraci dusíku a též k rychlejšímu odbourávání pesticidů (Šabatka, 2017).

Tab. č. 5: Průměrný přívod živin* do půdy ve statkových a organických hnojivech
(Žalmanová, 2010; Nerušil, Kincl a kol., (2017)

| Druh | Sušina | Kg/t statkového hnojiva* | | | | | | |
|------------------------|--------|--------------------------|-------------|------|------|------|------|-----|
| | | OL | N | P | K | Ca | Mg | S |
| Hněj skotu | 23,0 | 17,0 | 5,0 | 1,4 | 5,9 | 3,2 | 0,9 | 1,0 |
| Kejda skotu | 7,8 | 6,0 | 3,2 | 0,7 | 4,0 | 1,4 | 0,4 | 0,4 |
| Kejda prasat | 6,8 | 5,3 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 2,4 | 0,4 | 0,4 |
| Kejda drůbeže | 11,8 | 8,1 | 9,6 | 2,8 | 0,3 | 9,5 | 1,0 | 0,8 |
| Močůvka | 2,4 | 2,0 | 1,2 | 0,2 | 5,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| Sláma pšeničná | 86,0 | 82,0 | 0,45 | 0,09 | 0,79 | 0,24 | 0,06 | - |
| Sláma kukuřičná | 85,0 | 80,0 | 9,0 | 1,1 | 16,0 | 2,7 | 1,0 | 1,5 |
| Digestát ^{*)} | 6,5 | 6,9 | 0,89 | 0,37 | 0,76 | - | 0,09 | - |

* obsahy živin jsou uvedeny již po odpočtu ztrát ve stájích a při skladování statkových hnojiv

^{*)} Digestát - organické hnojivo s vyšším obsahem NH_4^+ jako zbytek při výrobě bioplynu přeměnou statkových hnojiv v procesu mikrobiální anaerobní fermentace v bioplynové stanici.

Tuhá statková hnojiva se aplikují na podzim, tekutá i v předjaří a dalším průběhu vegetace plodin (Vrzal a kol., 1995). Hnojem se hnojí hlavně plodiny (zejména kukuřice) s delší vegetační dobou, které jsou náročné na plynulé a dlouhodobé dodávání živin v přijatelné formě. Hněj působí v půdách více let, většinou se počítá s působením 3 - 5 let, kdy v lehčích půdách kratší dobu, zatímco v těžších půdách působí delší období (Vaněk, 2012).

Pravidelné doplňování organických látek do půdy je základem úspěšného hospodaření. Kukuřice patří k plodinám, které velmi dobře reagují na organické hnojení a z hlediska agrotechniky vykazuje vlastnosti okopaniny. Proto se k ní doporučuje aplikovat statková hnojiva. Nejčastěji je na podzim ke kukuřici aplikován hněj, jehož optimální dávky se pohybují

v rozpětí 30 - 40 t/ha. Ve výši hnojení mezi kukuřicí na zrno a kukuřicí na siláž není rozdíl. U kukuřice lze zvýšit pouze dávku dusíku za účelem vytvořením více bílkovin. V závislosti na výnosu by dávky živin na 1 ha měly být na úrovni 100 - 160 kg N, 45 - 65 kg P a 120 - 210 kg K (Šuk a kol., 1998).

Doporučené dávky zároveň zohledňují průměrnou bilanční potřebu organických látek pro orné půdy. Na jaře před setím nebo během vegetace se hnojí zejména tekutými statkovými hnojivy (kejda) a digestátem (organické hnojivo z bioplynových stanic s vyšším obsahem amonného dusíku). Osvědčily se i aplikátory s povrchovou podlistovou aplikací (např. systém vlečených hadic), které umožňují hnojit tekutými statkovými hnojivy na začátku a během vegetace s dávkami (dle obsahu N) 10 - 20 t/ha (Zimolka, 2008). Aplikace statkových a organických hnojiv po vzejití porostu sebou přináší rizika mechanického poškození rostlin pohybem těžké mechanizace po pozemku (Neružil, Kincl a kol., 2017), proto je vhodné tyto hnojiva, aplikovat na podzim k mezplodinám (hořčice, svazenka aj.), které předchází pěstování kukuřice (Zimolka, 2008).

Použití minerálních hnojiv

Minerální (průmyslové) hnojiva jsou hnojiva, která obsahují deklarované živiny obsaženy ve formě minerálních látek získaných extrakcí nebo jiným fyzikálním nebo chemickým postupem, zejména v případě dusíkatých hnojiv (Neružil, Kincl a kol., 2017).

Výhodou minerálních hnojiv v porovnání s organickými je vyšší obsah živin, proto se těmto hnojivům také říká koncentrovaná, tyto hnojiva mohou mít jednu nebo více živin. Avšak nevýhodou těchto hnojiv je vyšší cena (Vaněk, 2012). Jsou vyráběna z přírodních surovin jako jsou fosfáty, draselné minerály, vápence a dolomity. Dusík je však vyráběn přímou syntézou dusíku a vodíku (H), při kterém vzniká amoniak (NH_3) jako zdroj dusíku (Vaněk, 2007). Cílem použití minerálních hnojiv je zajistit pěstovaným plodinám optimální množství živin pro zajištění tvorby a stability výnosů a zároveň udržet nebo zvýšit úrodnost daného stanoviště. K hnojení N se používají klasické ledky s nitátovou formou N (NO_3^-) např. nerozšířenější hnojivo ledek amonný s vápencem (LAV) s 27 % N, vhodné pro přihnojení během vegetace, dále s amonnou formou (NH_4^+), např. síran amonný ($(\text{NH}_4^+)_2\text{SO}_4$) a formou N amidickou (NH_2), např. močovina ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) až se 46 % N, které jsou vhodnější pro základní hnojení. Nitrátová a amonná forma se často spojují s ostatními prvky a vzniká kombinovaná hnojiva jako např. Amofos (NP hnojivo) či NPK (Neuberg a kol., 1995; Kunzová, 2009). Součástí řady kombinovaných hnojiv je také síra v podobě síranu, např. síran amonný (SA), síran amonný s močovinou (SAM), kombinace dusičnanu a síranu amonného (DASA), ledek amonný s přídavkem síry (LAS) aj. Samotnou síru je možné aplikovat na podzim v hnojivech obsahující elementární síru (Škarpa a kol., 2016).

Při hnojení fosforečnými hnojivy je hlavním předpokladem pro jejich dobrou účinnost, nasycený sorpční komplex, a tedy příznivé pH (slabě kyselá až neutrální) půd a také hnojením pozemků před nebo současně s aplikací organických hnojiv. V kyselých nebo v alkalických půdách, kde dochází k významné chemisorpci fosforu v půdě je vhodné použít hnojiva s foforem v méně rozpustných formách jako jsou mleté fosfáty, hyperfosfáty, Dopofos, Fosmag apod. Kukuřice je značně citlivá k vyšší půdní kyselosti a půdní reakci (pH), lze upravit vápenatými hnojivy např. dolomitickým vápencem, kterým kromě vápníku do půdy dostaneme i hořčík a aplikace probíhá s dostatečným předstihem před hnojením fosforečných hnojiv

k přeploidině nebo ihned po jejich sklizni. (Richter a Hlušek, 2003; Kunzová, 2009; Vaněk a kol., 2012). Odpovídající pH půdy je zejména důležité pro udržení půdní struktury. V případě kukuřice na slévavých půdách (vliv struktury půdy) trpí nedostatkem vzduchu a je omezena tvorba kořenů, proto je doporučována meziřádková kultivace, ovšem s rizikem mechanického porušení kořenů. V závislosti na půdním druhu, lze doporučit tyto hodnoty pH/KCl: lehká půda pH 6,0; střední půda pH 6,5; těžká půda pH 7,0 (Šuk a kol., 1998).

Při zajišťování výživy kukuřice fosforem jsou v důsledku jeho nedostatečného hnojení často hledána alternativní řešení, jedním způsobem je zapravení hnojiva současně se setím o 3 - 4 cm hlouběji, než je uloženo osivo, tzv. pod patu. Kukuřice odčerpává fosfor průběžně během celé vegetace až do sklizně, ovšem v půdním profilu se pohybuje velmi pomalu a při nízkých koncentracích v půdním roztoku (rovněž i nízkými teplotami) dochází k omezování tvorby kořenového systému. Nezbytný fosfor dodáme hnojením lépe rozpustné formy P Amofosem, trojitým nebo jednoduchým superfosfátem, případně dusík a zajistíme tak rozvoj kořenového systému (Zimolka a kol., 2008).

Z draselných hnojiv se běžně používají draselné soli s různou koncentrací draslíku na bázi síranu hořečnatém např. Kamex, Kainit, Kornkali obsahujícím také hořčík. Z pohledu nižšího okyselování půd je vhodnější typ draselných hnojiv síranové formy, např. síran draselný či Patentkali.

Na rozdíl od dusíku a draslíku je využití fosforu z minerálních hnojiv rostlinou poměrně malé, neboť jeho využití v roce aplikace se pohybuje nejčastěji od 10 - 20 % a v následujících letech se počítá s příjmem 1 - 2 % po dobu 20 - 50 let a hnojení touto živinou se neprovádí každoročně, nýbrž do zásoby. Při hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem se uplatňuje zásada hnojení pouze půdy a také především podle výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) stanovující vyluhovatelné formy živin metodou Melich 3 (Zimolka a kol., 2005; 2008; Kunzová, 2009; Vaněk a kol., 2012).

Stejně jako u organických hnojiv lze minerální hnojiva aplikovat přímo k rostlině. Podle rozsahu použití a možnosti zapravení minerálních hnojiv do půdy, lze uplatnit zejména při operaci strip till (zonální hnojení „do depa“), při setí (NP hnojení „pod patu“) nebo po zasetí aplikaci tzv. „na široko“ na povrch půdy. Dávku hnojiva lze volit podle četnosti aplikace a sice jednorázově nebo dávku rozdělit a provést aplikaci jako přihnojení během vegetace do meziřádků porostu kukuřice (nikoliv „na široko“, hrozí popálení rostlin v úžlabí listů) ve fázi 5 - 6 listů (Zimolka a kol., 2008; Nerušil, Kincl a kol., 2017). Předpokladem zonálního hnojení je hlubší uložení hnojiva, které přispěje k prodlužovacímu růstu kořenů směrem ke zdroji živin a následně hlouběji do půdy. S narůstající hloubkou půdy rovněž klesá riziko nedostatku vody a to jak pro rostlinu, tak pro pohyblivost živin. Zároveň se snižuje riziko negativního ovlivnění vývoje rostliny v důsledku vyšší koncentrace hnojiva, ve srovnání s aplikacemi „pod patu“ (Brant a kol., 2016). Z tohoto důvodu Hermann a kol. (2012) uvádějí, že při zonální aplikaci hnojiv, lze zvýšit dávky amonného dusíku a fosforu na jednotku plochy v porovnání s aplikací „pod patu“. Brant a kol. (2016) uvádějí, že při mělké aplikaci těchto živin může naopak docházet k intenzivnímu prokořenění horní vrstvy půdy a k omezení prorůstání kořenů do spodních vrstev půdního profilu. Také na základě vlastního experimentu uvádějí, že hořečnatá a draselná hnojiva tento efekt nevykazují.

Při zpracování půdy v pásech (strip till) jsou hnojiva uložena do větší jedné nebo dvou hloubek v půdě. Pro půdy s nízkou biologickou aktivitou jsou nevhodná hnojiva na bázi

močoviny v důsledku pomalého rozkladu a velmi dobrou pohyblivostí v půdním profilu, což může vést k vyplavení mimo dosah kořenů rostlin. K hnojení jsou nejčastěji používána hnojiva s vysokým obsahem fosforu (např. NP hnojivo Amofos), případně koncentrovaná draselná hnojiva (např. draselná sůl). Nejméně vhodná hnojiva jsou s obsahem hořčíku nebo síranů (Brant a kol., 2016). Dostál a Javor (2017) zkoumali účinnost využití atraktivních živin (N, P) při různém způsobu uložení hnojiva a zpracování půdy. Základní zpracování půdy dlátovým kypřičem se semiparabolickou slupicí umožnilo podpovrchovou aplikaci (přesné uložení hnojiva do půdního profilu) N-P hnojiv (Amofos, Polidap) do půdního profilu a zjistili, že po dlátovém kypření vzešlo v průměru o 7 % a s aplikací N-P hnojiva v průměru o 11 % více jedinců ve srovnání s orbou, kde uložení hnojiva bylo rozptýlené, „na široko“. V důsledku uložení atraktivních živin pod patu, kukuřice vykazovala vyvinutější kořenovou soustavu, která urychlovala intenzivní nárůst sušiny rostlin po dlátovém kypření v průměru o 32 % a po souběžné aplikaci N-P hnojiva dokonce o 51 %, ve srovnání s orbou.

Při povrchové aplikaci minerálních, dusíkatých hnojiv dochází k významným ztrátám amonné formy dusíku, zejména v teplejších oblastech (Nerušil, Kincl a kol., 2017). Vrzal a kol., (1995) a Zimolka (2008) ve svých publikacích uvádí, že jednorázová aplikace minerálních hnojiv před setím má za důsledek až 50% ztráty na živinách a jejich následný nedostatek v období intenzivního růstu. Mimo jiné i z tohoto důvodu Zimolka (2008) doporučuje minerální hnojiva aplikovat pro kukuřici spolu organickými hnojivy na podzim, těsně před zapravením orbou. Nerušil, Kincl a kol. (2017) píší, že důvodem je nutné provedení výživy kukuřice přes půdu (kořenový systém), nikoli přes listy, neboť foliární (listovou) aplikací hnojiv nelze zajistit jejich příjem v dostatečném množství. V současných systémech hnojení kukuřice převládá u většiny minerálních i statkových hnojiv aplikace na jaře, již při předsetřovém zpracování půdy, a to zejména v aridních (suchých) oblastech (Nerušil, Kincl a kol., 2017).

3.5.4 Hnojení dusíkem

Dusík (N) je „motorem“ růstu a plodiny ho potřebují v průběhu celé ontogeneze ve značném množství (Neuberg a kol., 1995). Takatoshi (2016) také uvádí, že dostupnost dusíku je hlavním faktorem růstu a produktivity rostlin.

Hnojení dusíkem je v porovnání s ostatními živinami vždy cíleno k plodině. I když se na výnosu významně podílí obsah minerálních forem (NH_4^+ , NO_3^-) dusíku v půdě (půdní dusík), je přímé N-hnojení plodiny významným faktorem dosaženého výnosu a stability kvality produkce. Minerální dusík ($N_{\text{min.}}$), zejména pak NO_3^- a také dusík z hnojiv, je v půdách dobře pohyblivý a v důsledku toho může při vyšší koncentraci (zvláště v mimovegetačním období) docházet ke ztrátám vyplavením nebo v půdách zamokřených denitrifikací (Vaněk, 2012). Potřebu dusíku pro rostliny kukuřice stanovíme podle průměrného odběru této živiny hlavním a vedlejším produktem, v přepočtu na 1 t hlavního produktu. Předpokládaný výnos vychází ze skutečně dosažitelného výnosu na daném stanovišti, při respektování ekonomických hledisek a ekologických omezení, např. nitrátová směrnice (Nerušil, Kincl a kol., 2017). Celkovou potřebu N lze stanovit, jak na základě odběrových normativů živin, tak i podle normativu dusíku pro jednotlivá stanoviště (Vostal, 1994). Průměrnou potřebu dusíku na tvorbu plánovaného výnosu kukuřice a limity hnojení ve zranitelných oblastech (ZOD) konkretizuje tab. č. 6.

Tab. č. 6: Maximální dávka dusíku na tvorbu očekávaného výnosu kukuřice a limit hnojení ve zranitelných oblastech (Nerušil, Kincl a kol., 2017; Zákon o hnojivech 156/1998 Sb.)

| Druh | | | | Limit hnojení v ZOD kg/ha | |
|-------------------|-------------------------|-----|-----|------------------------------|-----|
| | výnos zrna (t/ha) | 6 | 8 | | 10 |
| kukuřice na zrno | potřeba N (kg/ha) | 160 | 210 | 250 | 240 |
| | výnos zel. hmoty (t/ha) | 30 | 50 | 70 | |
| kukuřice na siláž | potřeba N (kg/ha) | 110 | 180 | 260 | 240 |

Hnojení organickými hnojivy je významné zejména na půdách s nižší sorpční schopností (aplikace minerálních hnojiv by byla spojena s vyšším vyplavováním). Při aplikaci statkových a organických hnojiv je nutno dodržovat platnou legislativu a hygienické normy, především Zákon o hnojivech č. 156/1998 Sb. v aktuálním znění, přípustné koncentrace rizikových prvků, nitrátovou směrnicí apod., resp. omezení jejich použití zejména v tzv. zranitelných oblastech (Nerušil, Kincl a kol., 2017). Limity zobrazené v tab. č. 6 jsou vzaty ze současné aktuální maximální dávky dusíku na tvorbu očekávaného výnosu kukuřice z nařízení vlády č. 235/2016 Sb., o zranitelných oblastech. Do limitu hnojení ve zranitelných oblastech dusíkem se plně započítává minerální hnojení a částečně i hnojení organické (pouze při přímém působení).

Dávku dusíku volíme buď jednorázově po setí, nebo ji lze rozdělit a provést aplikaci jedné části po zasetí a druhé přihnojením za vegetace ve fázi 5–6 listů kukuřice do meziřadí porostu, nikoliv „na široko“ (hrozí popálení rostlin v úžlabí listů). V případě jednorázové aplikace hnojiv před setím je nutné brát v úvahu poloviční ztráty na živinách (Zimolka a kol., 2008; Nerušil, Kincl a kol., 2017).

3.5.5 Vliv zpracování půdy na živinový režim a tvorbu výnosu

Postupy řízení zemědělství, jako je hnojení a zpracování půdy, mění v půdním profilu fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, což má přímý dopad na udržitelnost systému a výkonnost plodin. Zpracováním půdy je ovlivňován vodní, vzdušný a tepelný režim půdy, její biologická aktivita a v neposlední řadě i uvolňování živin a jejich využití rostlinami. Z hlavních živin mají systémy obdělávání půdy zejména vliv na dusíkatý režim, neboť N je v půdním profilu pohyblivý, což může způsobovat jeho výrazné ztráty (Wyngaard a kol., 2012). I autoři Moeller a Stinner, (2009) píší, že jakýkoliv výraznější obdělávání půdy či meliorační zásah snižuje obsah minerálního dusíku v půdě. Dodávají, že hnojivy zapravený dusík do půdy může při mělkém, ale i hlubším zpracování půdy v plynné formě prostřednictvím převážně formou amoniaku volatilizovat. Wyngaard a kol. (2012) ve své práci hodnotili dopad vlivu volby systému zpracování půdy na celkový živinový režim. Zjistili, že rozdíl mezi konvečními postupy a postupy žádného zpracování půdy se projevuje pouze v první 5-ti centimetrové vrstvě zeminy. Imai a kol. (1994) při sledování 20ti letém kontinuálním pěstování kukuřice v konvečním hospodaření (s orbou) a systémem bez zpracování půdy (no-tillage) zjistili, že uhlík a dusík vázaný v organické hmotě, přístupný fosfor, výměnný draslík, vápník, hořčík a pH vykazovaly významně vyšších hodnot v prvních 5 cm půdy, než u varianty no-tillage, v dalších 5 cm hlouběji to mu bylo naopak.

Kitur a kol., (1984) zkoumali vliv konvečního a no-tillage systému zpracování půdy na využití dodaného dusíku při pěstování kukuřice. V první variantě bylo dodáno 84 kg N/ha a druhé 168 kg N/ha na povrch půdy. Při aplikované dávce 84 kg N/ha nastaly jednoznačně vyšší výnosy v konvečně zpracované půdy. Zatímco při dodání 168 kg N/ha nebyl prokázán staticky průkazný rozdíl. Autoři si tuto skutečnost vysvětlují tím, že u systému no-tillage se dusík při menší dávce nedokáže dostat do celého profilu a je pro kořeny málo dostupný. S tímto faktem souhlasí i Fabrizi a kol. (2005), kteří zjistili, že pokud se dodá 150 kg N/ha, tak mezi volbou systému zpracování půdy už není ve výnosu významný statistický rozdíl. Zhang a kol. (2018) konstatují, že bez ohledu na volbu způsobu zpracování půdy má dusík hlavní vliv na výnos plodiny. Vliv ostatních prvků na výnos mají vedlejší, ovšem s ohledem na platnost Liebigova zákona minima.

Fink a kol. (2016) se zabývali hnojením fosforu a jeho vliv na výkonost a stavbu kořenů kukuřice při konvečním a žádném zpracování půdy. Hnojení fosforem proběhlo přímo do půdního profilu nebo nebyl dodán vůbec. Zjistili, že rostliny, které byly pěstovány bez zpracování půdy, měly ve srovnání s rostlinami na konvečně obhospodařované půdě delší a tenčí kořeny. Autoři tento pokus prováděli na půdách dobře zásobených P, proto konstatují, že vliv na morfologii kořene měl spíše vliv způsob zpracování půdy, než hnojení.

Tiritan a kol. (2016) založili pokus v oblasti tropických pastvin, kde je místní půda velmi kyselá a taková půda způsobuje komplikace při pěstování plodin. Rozhodli se, zde založit pokus za účelem porovnání různého stupně hnojení vápníku. Výnosy kukuřice se zvýšily v průměru o 20 %. Zjištěním konstatují, že při takto velmi kyselém prostředí nemá na výnos kukuřice vliv zpracování půdy, ale dodání kationtu vápníku, který zapříčinil pozitivní změnu pH.

Pro vyzkoumání 2 různých způsobech zpracování půdy a hnojení hnojem a kompostem na bázi mrvy skotu a vliv na výnos kukuřice, založili Eghball a Power (1999) pokus, jehož výsledky neprokázaly vliv zpracování půdy na výnos plodiny. K rozdílnému výnosu došlo pouze v prvním roce aplikace, kdy u varianty hnojené hnojem došlo k vyššímu výnosu kukuřice. Autoři hlavní příčinu přisuzují k lepšímu využití dusíku z hnoje ze 17 % a u kompostu pouze z 12 %. V dalších třech letech pěstování se využití z hnojiv ustálilo na stejnou hodnotu, a tím nedocházelo k významným rozdílům ve výnosu kukuřice.

Ghasemi a kol. (2016) exaktním pokusem sledovali a porovnávali účinek organického a minerálního hnojení na výnos kukuřice v závislosti na zpracování půdy v letech 2013 a 2014. V každém roce podle varianty byla na podzim mineralní a hnůj skotu zapravena orbou do půdy a následně byl zaset ječmen jako zdroj zeleného hnojení s varianty: pouze zelené hnojení (ZH), ZH+NPK a jejich stupňované snižování dávky, ZH+50 % hnoje skotu a NPK, ZH se 40 t/ha hnoje skotu. V interakci mezi rokem, způsobem zpracování půdy a hnojivem z konvečního systému zpracování půdy, kde byla přítomnost kombinace hnoje, minerálního a zeleného hnojení, byl dosažen nejvyšší výnos zrna (9,4 t/ha) oproti technologii žádného zpracování půdy. Autoři pokusu Ghasemi a kol. (2016) konstatují, že při konvečním způsobu hospodaření, kde jsou zdroje hnojiva smíchána s půdou, jsou rostliny zároveň umístěna do přímého kontaktu s bakteriemi rozkládající hmotu, urychlují mineralizaci hnojiv a v konečném důsledku zlepšuje růst a vývoj rostlin. Tedy aplikace ZH, hnoje a minerálních hnojiv při tomto systému zpracování půdy pro kukuřici, může snížit jak množství minerálního hnojiva, tak šetřit životní prostředí a může hrát pozitivně významnou roli při zvyšování výnosu kukuřice.

Wetsch a Randal (2002) ve svém čtyřletém pokusu porovnávali výnos kukuřice ve čtyřech systémech zpracování půdy. Sledovali výnos v systémech přímého setí do mulče, konveční, pásové a bez žádného zpracování půdy, dále také porovnávali sled kukuřice po kukuřici a kukuřice po sóje. Pěstování kukuřice po sóje způsob zpracování půdy výnosy neovlivnil, rozdíly se dostavily až po čtyřletém pěstování kukuřice po sobě. S tímto ve své práci souhlasí i Ashworth a kol. (2016), kteří potvrdili vyšší závislost výnosu kukuřice na předplodině, než na způsobu zpracování půdy. V pokusu těchto autorů dosahovaly nejvyšší výnosy kukuřice vždy ty, které byly pěstovány po sóje. Wetsch a Randall (2002) také uvádějí, že rozdíl ve výnosu kukuřice v prvních 2 letech se mezi konvenčně a nijak zpracovanou půdou takřka neprojevil, za to v dalších letech při setí do nezpracované půdy výnos klesal. Při setí do mulče a pásové zpracování půdy si ve všech letech měření udrželi stejnou úroveň výnosu, přičemž konveční zpracování dopadlo ve všech čtyřech měření nejlépe, nejhůře pak setí do nezpracované půdy. Tian a kol. (2016) ve své studii uvádějí, že na pozemku, na kterém byl 10 let realizován systém bez zpracování půdy a následně byl aplikován systém hloubkového podrývání, zvýšil se výnos kukuřičného zrna o 35 %. Tam, kde byl užíván systém pásového zpracování půdy se zvýšil výnos o 24 %.

Kane a kol. (2015) ve spojených státech Illinois a Michigan (s různou nadmořskou výškou) studovali vliv dvou různých typů zpracování půdy (bez hnojení) v rostlinných zbytcích na distribuci N v půdě v řádku a v meziřádku v porostech kukuřice. Porovnávali vliv konvenční celoplošné kypření a způsob pěstování kukuřice přihrnováním vrchní vrstvy zeminy (0 - 5 cm) z meziřádku do řádku (ridge-tillage) k bazální části rostlin na využití potenciálně přijatelného N rostlinami. Zjistili, že potenciálně mineralizovatelný dusík v nahrnuté zemině vykazoval vyšší hodnoty a po rozbořech nadzemních částí rostlin se ukázalo, že v obou polohách rostliny kukuřice pro potřeby tvorby biomasy dusík efektivně využily v porovnání s kypřením, kde může docházet vlivem intenzivnějšího zpracování půdy k vyšším ztrátám dusíku, zejména volatilizací. Pouhé opakované přemístění půdních a rostlinných zbytků k řádku vzešlé kukuřice během vegetace, může zvýšit prostorovou efektivitu zajišťování N a agregace uhlíku z biomasy rostlinných zbytků ve srovnání s konvenčními způsoby zpracování půdy.

Rozsahu, v jakém je metoda přihrnování půdy k rostlinám během vegetace spojena s narušováním půdy, poskytuje některé stejné fyzikální a mikrobiální výhody v půdě jako systémy bez zpracování půdy. Například bylo prokázáno, že systém přihrnování půdy může zvýšit zadržovací kapacitu půdy (Kovar a kol., 1992), zvýšit mikrobiální aktivitu (McGonigle a kol., 1999) a na jaře zvýšit populaci bezobratlých (žížaly jako producenti humusu aj.) ve srovnání s konvenčním zpracováním půdy (Neave a Fox, 1998).

4 METODIKA

V této části je popsán postup vedoucí k naplnění cíle závěrečné práce. Zde je popsána charakteristika zájmového území zohledňující půdně-klimatickou charakteristiku. Popsán je způsob odebrání vzorků, použité laboratorní analýzy a postup zpracování výsledků měření. Rovněž jsou zde popsány použité hnojiva a uskutečněné polní pokusy, jejichž cílem bylo ověřit vliv lokálního zpracování a hnojení půdy na obsah minerálního dusíku, výživný stav a výnos kukuřice.

4.1 Půdně-klimatická a výrobní charakteristika pokusného stanoviště

Pro účely vyhodnocení řešené problematiky cíle diplomové práce byly v roce 2018 a 2019 v zemědělském podniku Rostěnice, a.s. založeny polní pokusy v rámci projektu vývoje nové komplexní technologie pěstování zrnové kukuřice a vývoje pěstební technologie s účinným ochranným vlivem na půdu vůči erozi, neproduktivnímu výparu vláhy a proti zhutnění půdního profilu. Tato technologie se souborem ochranných vlivů na půdu byla vyvinuta společně s technologií tzv. profilového hnojení půd do rýh (pásů) kejdou prasat z vlastní produkce. Pokusy vyvíjené technologie redukovaného pásového zpracování půdy se zonálním (lokálním) hnojením kejdou prasat, tj. cílené hnojení do mělké (5 - 10 cm) a hluboké (20 - 25 cm) zóny kypřených pásů, byly založeny pro zvýšení a stabilizace úrodnosti půd v typické aridní pěstivelské oblasti.

V dvouletém období řešení projektu byly v místě farmy Rostěnice, a.s. realizovány poloprovozní pokusy s plodinou kukuřice a s přípravou půdoochranného mulče pomocí založení porostů meziplodin. Poloprovozní pokusy byly zakládány metodou prostých dlouhých dílců, celkem v počtu 8 parcel o velikosti jedné 0,55 ha (24 x 230 m), ve kterých byly realizovány různé navržené varianty inovativního pásového zpracování a zonálního hnojení půdy (viz tab. č. 7) v porovnání s kontrolou, současným celoplošným zpracováním a hnojením půdy. V roce 2019 došlo k rozšíření nově navržených variant zonální aplikace hnojiv (viz tab. č. 8) v kypřených pásech do 2 zón s celkem 10 dílčích parcel. Pásové zpracování půdy bylo provedeno vždy brzy na jaře v roce pěstování hlavní plodiny (kukuřice) do porostu meziplodiny hořčice seté ve stavu plného vyzimování (odumřelý stav přemrznutím), založené vždy na ve druhé polovině léta po sklizni předplodiny. Pro porovnání inovativní technologie pěstebních postupů pro kukuřici byly v letech 2018 a 2019 založeny kontrolní parcely se současným postupem hnojení a zpracování půdy souvislým celoplošným způsobem s aplikací močoviny. V pokusu se také zkoušela varianta kombinace plošného minerálního hnojení močovinou a pásového zapravení do půdy.

Poloprovozní pokus v roce 2018 o počtu 8 parcel byl založen na pozemku registrovaný v evidenci půd LPIS ČR s č. 4002/3 (125,38 ha, z toho pro pokus výměra cca 5 ha) v katastrálním území Podbřežice a částečně Tučapy u Vyškova. Na pozemku se nacházela půda středně těžká s půdním typem černozemě modální s přechodem na černozem karbonátovou, utvořenou na spraších (HPJ 01). V následujícím roce 2019 byl poloprovozní pokus v rozšířeném počtu 10 parcel založen na pozemku LPIS č. 2806/4 s celkovou výměrou 105,37 ha, z toho pro parcelový pokus výměra cca 6 ha v katastrálním území Nemojany a Rostěnice. Na pozemku se nacházela středně těžká hlinitá černozem modální, vytvořená na

hlubokých spraších, hluboká půda bez obsahu skeletu a na rovině. Na pokusných pozemcích byl nejprve po sklizni obilní předplodiny založen porost vymrzající meziplodiny hořčice bílé.

Vymezená pokusná plocha v roce 2018 se nacházela v teplém a suchém klimatickém regionu v nadmořské výšce 280 m. n. m. se sklonitostí pozemku 4,1° a expozicí pozemku ke světovým stranám byla převážně západní. Pokus v roce 2019 se lišil pouze ve sklonitosti pozemku 1,6° s orientací převážně východní (severovýchodní). V obou případech vytyčená plocha pozemku byla s různými variantami redukováného zpracování a hnojení půdy do rýh klasifikován bez ohrožení erozí a půdou vododržného typu s dobrou zásobeností přístupnými živinami včetně optimální půdní reakce (pH).

Pro diagnostiku potřeby hnojení v profilu ornice (0 – 30 cm) byla na stanovišti v roce 2018 zjištěna velmi dobrá zásoba minerálního dusíku ($N_{\min.}$), střední až vysoký obsah organické hmoty a úzký poměr C : N. Analyzovaná půda vykazovala slabě kyselé pH, velmi malou zásobu lehce přijatelného vodorozpustného fosforu (P_{H_2O}) důležitý především pro počáteční růst a vyhovující obsah přístupných dalších živin, zejména vápníku. Oproti tomuto roku byla na podzim roku 2019 zjištěna nižší zásoba $N_{\min.}$ v půdě a po zimě se zásoba dostala na hladinu střední zásoby. Rozdíly mezi léty pokusu byly zejména v obsahu vodorozpustného fosforu, kde v tomto roce jeho zásoba byla velmi vysoká a také dobrý obsah draslíku a vápníku. V podorniční vrstvě (30 – 60 cm) půdy se nacházela dobrá zásoba $N_{\min.}$ s neutrální pH s extrémně nízkým obsahem P_{H_2O} a velmi vysokým obsahem vápníku a hořčíku. Půda dále vykazovala dobrý obsah přístupného zinku bez nutnosti jeho přihnojení, jako jeden z nejdůležitějších mikro- živin ve výživě kukuřice.

Tab. č. 7: Design poloprovozního pokusu v roce 2018; konveční celoplošné vs. půdoochranné pásové zpracování a hnojení půdy

| Parcela | K1 | K2 | ST1 | ST2 | ST3 | ST4 | ST5 | ST6 |
|--|---|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Technologie | celoplošně | celoplošně | kombinace | pásově | pásově | pásově | pásově | pásově |
| Faktor | konvenční postup a) | konvenční postup b) | Kombinace plocha/pás | do 1 zóny, hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha |
| Hnojení | plošné rozmetání močoviny | plošná aplikace kejdy hadicově | plošné rozmetání močoviny (bez kejdy) | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh |
| Přívod živin s kypřením | Močovina 330 kg/ha | 40 t/ha | Močovina 330 kg/ha | 20 t/ha | 20 t/ha | 30 t/ha | 30 t/ha | 40 t/ha |
| | 150 kg N/ha | 150 kg N/ha | 150 kg N/ha | 75 kg N/ha | 75 kg N/ha | 110 kg N/ha | 110 kg N/ha | 150 kg N/ha |
| Kypření | SIMBA (zapravení močoviny z povrchu) | hadicovým fekálem + zapravení SIMBA | pásový kypřič Vogelsang X-TILL (zapravení moč. v pásech) | pásový kypřič Vogelsang X-TILL s kejdou | pásový kypřič Vogelsang X-TILL s kejdou | pásový kypřič Vogelsang X-TILL s kejdou | pásový kypřič Vogelsang X-TILL s kejdou | pásový kypřič Vogelsang X-TILL s kejdou |
| Uložení kejdy | - | - | - | 17 cm | 17 cm | 17 cm | 17 cm | 17 cm |
| dno zpracování půdy | 12 cm | 12 cm | 20 cm | 20 cm | 20 cm | 20 cm | 20 cm | 20 cm |
| sečkou pod patu *)Ultra Korn NPSZn = 140 kg/ha | ANO (26 kg N/ha..) | ANO (26 kg N/ha..) | ANO (26 kg N/ha..) | ANO (26 kg N/ha..) | NE (0 kg P ₂ O ₅ /ha) | ANO (26 kg N/ha..) | NE (0 kg P ₂ O ₅ /ha) | ANO (26 kg N/ha..) |
| Celk. přívod N | 176 kg/ha | 176 kg/ha | 166 kg/ha | 101 kg/ha | 75 kg/ha | 136 kg/ha | 110 kg/ha | 176 kg/ha |

*)viz charakteristika použitých hnojiv

Tab. č. 8: Design poloprovozního pokusu v roce 2019; konveční celoplošné vs. půdoochranné pásové zpracování a hnojení půdy

| Parcela: | K1 | K2 | ST1 | ST4 | ST5 | ST6 | ST7 | ST8 | ST9 | ST10 |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Technologie: | celoplošně | celoplošně | kombinace | pásově | pásově | pásově | pásově | pásově | pásově | pásově |
| Faktor: | konvenční postup a) | konvenční postup b) | kombinace plocha/pás | do 2 zón, mělká + hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha | do 2 zón, mělká + hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha | do 2 zón, mělká + hluboká rýha | do 1 zóny, hluboká rýha |
| Hnojení: | plošné rozmetání močoviny | plošná aplikace kejdy hadicově | plošné rozmetání močoviny (bez kejdy) | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh | Aplikace N kejdou do rýh |
| Prívod živin s kypřením: | Močovina 330 kg/ha | 40 t/ha | Močovina 330 kg/ha | 20 t/ha | 20 t/ha | 20 t/ha | 30 t/ha | 30 t/ha | 40 t/ha | 40 t/ha |
| | 150 kg N/ha | 184 kg N/ha | 150 kg N/ha | 82 kg N/ha | 82 kg N/ha | 82 kg N/ha | 123 kg N/ha | 123 kg N/ha | 164 kg N/ha | 164 kg N/ha |
| Kypření: | SIMBA (zapravení močoviny z povrchu) | hadicovým fekálem + zapravení SIMBA | Holmer (zapravení moč. v pásech) | pásový kypřič Holmer s kejdou | pásový kypřič Holmer s kejdou | pásový kypřič Holmer s kejdou | pásový kypřič Holmer s kejdou | pásový kypřič Holmer s kejdou | pásový kypřič Holmer s kejdou | pásový kypřič Holmer s kejdou |
| Hloubka: | 15 cm | 15 cm | 20-22 cm | 20-22 cm | 20-22 cm | 20-22 cm | 20-22 cm | 20-22 cm | 20-22 cm | 20-22 cm |
| Uložení kejdy | - | - | - | 10 a 17 cm | 17 cm | 17 cm | 10 a 17 cm | 17 cm | 10 a 17 cm | 17 cm |
| sečkou pod patu *)Corn Starter NPSZn = 140 kg/ha | ANO (20 kg N/ha..) | ANO (20 kg N/ha..) | ANO (20 kg N/ha..) | ANO (20 kg N/ha..) | ANO (20 kg N/ha..) | NE (0 kg P ₂ O ₅ /ha) | ANO (20 kg N/ha..) | ANO (20 kg N/ha..) | ANO (20 kg N/ha..) | ANO (20 kg N/ha..) |
| Celk. přívod N | 170 kg/ha | 204 kg/ha | 170 kg/ha | 102 kg/ha | 102 kg/ha | 102 kg/ha | 143 kg/ha | 143 kg/ha | 184 kg/ha | 184 kg/ha |

*)viz charakteristika použitých hnojiv

4.2 Charakteristika použitých hnojiv

Pásové zpracování půdy bylo vyvíjeno se současnou aplikací hnojiv na dno půdního profilu. Pro možné zapravení hnojiv touto technologií bylo v obou pokusných letech použito organické tekuté hnojivo kejda z chovu výkrmu prasat na vlastní farmě v Hlubočanech. Poloprovozní pokusy byly soustředěny stupňovaným dávkám kejdy (20 - 30 - 40 t/ha) do lokalizovaných zón půdního profilu při aplikaci v rýhách a kombinace aplikace startovací dávky fosforu a dusíku (síry a zinku) pod patu osiva (v blízkosti osiva) v granulovaném hnojivu Ultra Korn NP(S)+Zn při setí a pro porovnání zároveň vynechávka tohoto hnojení a uplatnění výživy pouze z aplikační rýhy kejdy. V roce 2018 byla kejda prasat aplikována pouze do 1 hluboké rýhy (20 cm) při různých dávkách kejdy. V následujícím pokusném roce 2019 bylo pokusné stanoviště rozšířeno o parcelky zajišťující možné vyhodnocení maximální úrovně hnojení kejdou do dvou zón (mělká a hluboká) půdního profilu.

Živinové složení použitých minerálních a organických hnojiv a jejich uvolnitelné množství živin do půdy potenciálně využitelné rostlinami vyjadřená střední dávkou v jednotlivých letech charakterizuje tab. č. 9 a tab. č. 10. Pro porovnání vlivů technologie redukovaného zpracování půdy v pásech souběžnou aplikací živin do dvou zón půdního profilu byly založeny kontrolní (srovnávací) parcely se současnou technologií celoplošného mělkého zpracování a hnojení půdy, jakžto současně enviromentálně nedostačujícími postupy. Před založením dvou kontrolních variant současného standardního postupu (celoplošné) bylo na jedné parcele souvisle zapraveno minerální dusíkaté hnojivo močovina s přívodem N ve výši 150 kg N/ha (330 kg/ha močoviny) do hloubky půdy 12 cm, k níž je pro srovnání založena varianta s použitím stejného druhu, množství a způsobu aplikace minerálního hnojiva (bez aplikace kejdy) systémem zapravení v pásech do hloubky 20 cm. Na druhé kontrole byla močovina nahrazena aplikací organického hnojiva kejdy (40 t/ha) v podobném množství přívodu N do půdy aplikována tzv. hadicovými aplikátory na povrch půdy a následným celoplošným zapravením talířovými kypřiči do hloubky 12 cm. Rozdíl v roce 2019 byla pouze hloubka zapravení hnojiva kontrolních parcel do 15 cm.

Tab. č. 9 : Živinové složení kejdy prasat z farmy Hlubočany pro aplikaci v polo-provozním pokuse a kalkulace přívodu uvolnitelných živin v roce pěstování kukuřice vyjadřené střední dávkou 30 t/ha

| Sušina (%) | Organické látky (%) | pH | N _{tot.} (%) | N-NH ₄ (%) | N uvolnitelný (%) | P ₂ O ₅ (%) | P ₂ O ₅ uvolnitelný 1. rok (%) | K ₂ O (%) | MgO (%) |
|------------------|---------------------|------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|--|----------------------|---------|
| Jaro 2018 | | | | | | | | | |
| 6,87 | 5,40 | 7,80 | 0,53 | 0,31 | 0,37 | 0,25 | 0,09 | 0,24 | 0,09 |
| Jaro 2019 | | | | | | | | | |
| 3,42 | 2,61 | 7,86 | 0,41 | 0,24 | 0,29 | 0,18 | 0,06 | 0,14 | 0,04 |

Tekuté hnojivo kejda prasat z vlastní farmy vykazovalo střední obsah dusíku, fosforu a drasílu. Aplikační dávky v určitých variantách byly nastaveny na dávky v praxi běžně využitelné tzn. nízká 20 t/ha, střední 30 t/ha a vysoká dávka 40 t/ha. V roce 2018 byla provedena aplikace stupňované dávky kejdy prasat s minerálním hnojením startovací výživy

(NPSZn v hnojivu Ultra Korn NP) pod patu při setí nebo s vynechávkou minerálních hnojiv, na všech variantách vždy do jedné hluboké zóny (17 cm). Aplikace nejnižší dávky kejdy prasat v roce 2019 při zpracování půdy v pásech byla zkušebně aplikována do 2 zón a do 1 zóny profilu kypřených pásů, včetně aplikace minerálního hnojiva při setí pod patu a varianta pouze s hnojením kejdou. V ostatních variatách od střední dávky kejdy prasat ve stejných hloubkách uložení hnojiva, vždy s minerálním hnojením při setí pod patu. Pro porovnání účinků různých variant aplikační dávky organického hnojiva v pásech byla kontrolně aplikována kejda současným běžným postupem celoplošné aplikace v dávce 40 t/ha pro systém plošného zpracování půdy.

Tab. č. 10: Živinové složení minerálních hnojiv použité v poloprovozních pokusech

| Hnojivo | Dusík (N-tot.) | Fosfor (P ₂ O ₅) | Draslík (K ₂ O) | Síra (S-tot.) | Zinek (Zn-tot.) | Hořčík (MgO) |
|--|--------------------|--|-------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Ultra Korn NP(S)Zn 20-20-15-0,4 (dávka 140 kg/ha) | 18,5 % 26 kg/ha | 25,4 % 35 kg/ha | 14,3 % 42 kg/ha | 14,3 % 20 kg/ha | 0,44 % 616 g | - |
| Corn Starter NP(S)Zn (dávka 140 kg/ha) | 15 % 21 kg/ha | 20 % 28 kg/ha | 10 % 29 kg/ha | 5 % 7 kg/ha | 1,5 % 2,1 kg/ha | 2 % 28 kg/ha |
| Močovina (CO₂(NH₂)₂) | 46 % 37 kg/ha | - | - | - | - | - |

4.3 Použité systémy zpracování a hnojení půdy

V této kapitole jsou uvedeny systémy zpracování a hnojení půdy použité při založení poloprovozního pokusu v zemědělském družstvu Rostěnice a.s. za účelem porovnání jejich účinků na celkovou kvalitu a výnos kukuřice na zrno.

4.3.1 Konvenční systém celoplošného zpracování a hnojení

Paralelně s parcelovým pokusem pro vývoj pásového zpracování a lokálního hnojení půdy pro pěstování kukuřice s produkcí zrna byly založeny tzv. kontrolní porosty na parcelkách se současnou technologií konvenčního systému celoplošného zpracování a hnojení půdy rovněž s půdoochranným mulčem. Příprava půdy konvenčním systémem zpracování půdy probíhala plošnou aplikací dusíkatého hnojiva močovina v dávce 330 kg (150 kg N) na povrch půdy s následným celoplošným zapravením hnojiva taliřovým kypřičem do hloubky 15 cm. Při setí kukuřice v rozteči řádků 0,75 m bylo provedo hnojení seřové výživy NPSZn v hnojivu Ultra Korn, popř. Corn Starter (140 kg hnojiva) v poměru živin 20-20-15-0,4 (20 % N, 20 % P, 15 % S a 0,4 % Zn) pod patu osiva, tj. bezprostředně pod místo uložení osiva. Pro poznání reakce různých procesů v půdě a jejich projev v podobě využití živin ve výnosu a kvalitě zrna kukuřice bylo celoplošné zpracování půdy modifikováno o organické hnojení tekutým hnojivem kejda prasat v dávce 40 t/ha (bez aplikace močoviny). Aplikace kejdy probíhala systémem vlečených hadic samojízdným fekálním vozem tzv. hadicovým aplikátorem, který umožňuje aplikovat kejdu souvisle na povrch půdy. Hadicový aplikátor disponuje vlastní objemovou nádrží na hnojivo na vlastním podvozku s různou konstrukční velikostí. Dále je mechanizace vybavena tzv. flotačními pneumatikami s funkcí nižšího utužení půdy pojezdem. Takto aplikována kejda na povrch půdy byla následně zapravena taliřovým kypřičem značky

SIMBA do hloubky 12 - 15 cm. Setí probíhalo bez změny rovněž stejnou dávkou startovací výživy pod patu osiva. Tyto 2 tzv. kontrolní varianty byly provedeny v obou sledovaných letech 2018 a 2019.

4.3.2 Systém lokálního zpracování a hnojení

V letech 2018 a 2019 probíhal výzkum poloprovozním pokusem pěstování kukuřice v systému zonálního (pásového) zpracování a hnojení půdy stupňovanou dávkou kejdy prasat z vlastní farmy výkrmu. Mechanizace pro systém lokálního (pásového) zpracování a hnojení půdy značky v tomto dvouletém experimentu byla inovativní, a proto v roce 2018 značky Vogelsang X-TILL byla na úrovni konstrukčního torza kratší koncepce pracovních sekcí (části stroje s pracovními orgány). Konstrukce odpovídala prvním zkoušením stroje, který neobsahoval veškeré požadované funkce a schopnosti. Požadované funkce pásového kypřiče tvořily zejména hnojení kejdou do 2 zón půdního profilu v kypřeném pásu, dále schopnost práce s dostatečným množstvím ochranného mulče na povrchu půdy apod. Aplikace kejdy prasat do nakypřených pásů v půdě byla provedena zkušebně pouze do jedné zóny, ve hloubce dna zpracování půdy 20 cm, skutečné uložení kejdy v rýze bylo v hloubce 17 cm, s průsakem na dno kypření, tj. 20 cm. Šířka kypřeného pásu byla v závislosti na nastavení 25 cm, avšak vlivem elevace zeminy do bočních talířů, tvořící clony (hranice) řádku, dosahovala v maximech přijatelné šířky 30 cm, tj. vizuálně patrné podílem zpracované půdy 33 – 40 % (67 – 60 % nezpracované plochy) pozemku, která byla chráněna proti erozní degradaci a nadměrnému výparu vláhy pokryvem neživého mulče z meziploidy hořčice.

Inovativní technologie redukovaného pásového zpracování a hnojení půdy (viz příloha č. 1 - 2) v roce 2019 byla vylepšena pro lokální středně hluboké kypření půdy ve vymezených páscích o horní povrchové šířce do 30 cm a o dolní šířce podle použitého dláta okolo 5 cm se současným lokálním hnojením půd stájovým hnojivem kejdou prasat, do rýh zpracovaných páscích půdy. Hnojivo bylo navrženo pro aplikaci do 2 zón půdního profilu (mělké do 5-10 cm a hluboké 20 – 25 cm), pro zajištění kontinuální výživy kukuřice během celé vegetace a zároveň omezení výtoku hnojiva z aplikačních rýh na souvratích sklonitých pozemku, a tím ztrát na živinách. V obou letech provádění byl pásový kypřič navržen pouze pro práci rozrušení, drobení a promísení půdy ve vymezeném prostoru pásu, tzn. bez narušení půdo-ochranného pokryvu neživým mulčem v prostoru mezi zpracovávanými pásy.

Na podzim před jarním setím kukuřice v technologii pásového zpracování a zonálním hnojením byla zároveň vyvyjena technologie extenzivního výsevu ochranného porostu (meziploidy) pro produkci mulče za účelem zajištění pokryvnosti nezpracované půdy v meziřádcích kukuřice, které tvoří více jak 60 % plochy pozemku. Hlavními požadavky pro založení takové meziploidy bylo rovnoměrné vzejití, rychlý a dostatečný nárůst nadzemní biomasy před zimou (min. 2 t/ha sušiny/ha), působení kořenů meziploidy na strukturu půdy, omezení ztrát vláhy pokryvem půdy a na dostatečnou saturaci minerálního dusíku v půdě před nástupem zimy. Pro tyto účely byla v obou letech zvolena hořčice setá vyznačující dobrou produkcí neživého mulče v jarním období včetně jeho požadovaného dostatečného setrvání až do poloviny následné vegetace kukuřice. Založení porostu meziploidy bylo navrženo pomocí nového extenzivního výsevu prutovými branami (viz příloha č. 3 - 4) s variabilní konstrukcí pro agresivitu přípravy půdy, tj. intenzitu prokypření a intenzitu zapravení osiva do půdy

s výsevkem hořčice seté 12 kg/ha. Technické parametry pneumatické distribuce a setí (nastavení výsevku a jeho stálost) osiva bylo uvažováno jako při přesném setí secím strojem. Výsledkem je založení meziplodiny na podzim a na jaře ochrana půdy tvořena pokryvností zbytků vymrzající meziplodiny (neživé biomasy) ležící na povrchu půdy, a tím je povrch půdy odolnější vůči odnosu půdy, větrnou a vodní erozí. Do takto celoplošně odumřelé biomasy vymrzající meziplodiny bylo provedeno zpracování a hnojení půdy v pásech a následně setí kukuřice na zrno. Pro tento poloprovozní pokus byl v obou letech pro všechny varianty technologie pěstování kukuřice zvolen hybrid kukuřice DKC 4590. Tento systém zpracování půdy s půdoochranným mulčem uplatňuje souvislou pokryvnost půdy mulčem neživé meziplodiny v meziřádku a živou biomasou kukuřice v řádku. To je klíčové pro úspěšné pěstování kukuřice jako plodiny s nízkým ochranným vlivem na půdu.

4.4 Odběr vzorků a použité diagnostické metody

Před založením pokusů byly pravidelně v rozhodujících obdobích růstu kukuřice a meziplochin provedeny odběry vzorků rostlin a půdy pro laboratorní analýzy za účelem zjištění aktuálního stavu. Výsledky analyzovaných vzorků byly předmětem pro vyhodnocení účinku jednotlivých variant použitých technologií. Bylo analyzováno působení jednotlivých variant vývoje pásového a celoplošného zpracování a variantní hnojení půdy při posouzení harmonie na výnos a kvalitu kukuřice, ochranu půdy, racionální hnojení a efektivitu. Odběr půdních vzorků za účelem stanovení minerálních forem dusíku v půdě bylo postupem dle vyhlášky č. 275/1998 Sb. pro agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP), transport a uchování vzorků do laboratoře podle Baiera a kol. (1988), včetně odběrů vzorků nadzemních částí rostlin za účelem stanovení obsahu živin v rostlině, respektive jejich úrovně výživného stavu. Vyhodnocení měření v terénu a laboratorních analýz bylo provedeno vhodnými statistickými metodami s využitím diagnostických metod pro optimalizaci hnojení.

4.4.1 Postup při odběru vzorků půdy na obsah minerálního dusíku ($N_{min.}$)

Při odběrech vzorků půdy byla zachována a dodržována zásada jejich reprezentativnosti, charakterizující stav vývoje a zásobenosti plodiny živinami, jaký byl na celé dané variantě pokusného stanoviště. Odběr reprezentativního vzorku půdy se docílí pomocí odběru sondovací tyčí s minimálně 30 dílčími vpichy, to představuje odběr cca 200 – 300 g zeminy v definované hloubce ornice 0 – 30 cm. Při takovýchto odběrech bylo nutné dbát na odstranění nežádoucích příměsí s potenciálem zkreslení výsledků analýzy. Jedná se o odstarnění posklizňových zbytků, případně na jaře mulče z vymrzající meziplodiny z povrchu půdy, včetně vrchní vrstvičky zeminy (zhruba 1 cm) a dbát na přítomnost hnojiva (granule). Postup při vlastním odběru nabýval směru kolmo až uhlopříčně k definované velikosti pokusné varianty parcely a po založení porostu kukuřice kolmo napříč směru řádků na pozemku a vlastní odběr sondovací tyčí byl veden šikmo doprostřed mezi 2 rostliny kukuřice zpracovaného pásu (řádku) a v případě přirozeně ulehlehlého (nezpracovaného) mezipásu (meziřádku) taktéž doprostřed, ale mezi 2 rostliny v meziřadí. Odběr byl dále veden po převažujícím zastoupení genetického půdního typu a stupni skeletovitosti, vzorky nebyly odebírány v místech výrazného převlhčení aj.

Při odběrech vzorku bylo nutné individuálně posuzovat další nesespecifické nepříznivé vlivy, které by mohli ovlivnit reprezentativnost vzorku zeminy pro stanovení přijatelného

dusíku v půdě (např. časový odstup 3 – 4 týdny od vydatnějších srážek apod.). Po celou dobu transportu až do laboratoře se vzorek půdy uchovával v přenosném chladícím boxu při teplotě +2 až +4 °C a ten samý den byl bezprostředně podroben homogenizaci a sušení.

Odběr půdních vzorků za účelem stanovení půdní zásoby N_{\min} byl 1x proveden poslední den v únoru před založením porostu kukuřice a během vegetace standardně celkem 3x v období fenologické fáze BBCH 16 – 19; 34 – 35; 85 – 89 v roce 2018 a v roce 2019 v BBCH 16 – 19; 55 – 57; 87 - 89, což odpovídá vývojovému období počátku viditelného 6. – 9. pravého listu přes vyvinutého 4. – 5. kolénka až do konečné sklizňové zralosti.

4.4.2 Postup při odběru vzorků nadzemních částí rostlin

Při odběru vzorků nadzemních částí rostlin (NČR) kukuřice vycházela podle pracovních postupů a kritérií výzkumné instituce AGROEKO Žamberk spol. s.r.o. Pracovním postupem instituce je považován odběr vzorků rostlin jako celé nadzemní části (celých rostlin), tj. bez kořenů (odříznutí kořenů v oblasti kořenového krčku), bezprostředně spolu je počítán počet odebraných rostlin ve vzorku (pro stanovení sušiny 100 rostlin, resp. 1 rostliny) a očištěním od zeminy a jiných nežádoucích příměsí.

Vzorky nadzemní části rostlin kukuřice byly odebírány a prováděny v rozhodujících fázích rostlin pravidelně v průběhu vegetace. Začátek odběrů vzorků NČR kukuřice lze podle kalendářního roku specifikovat jako od 7. června v roce 2018, 5. června v roce 2019, tj. období jarní vegetace s 6 – 7 rovinutými pravými listy za 14 dní od 1. odběru v době, kdy rostlina dovrší poloviny své průměrné konečné velikosti a třetí poslední odběr byl proveden v polovině měsíce září, tedy v době sklizňové zralosti. Odběry NČR byly v obou letech účelně odebírány ve stejný den jako odběr půdních vzorků pro stanovení obsahů N_{\min} v půdě.

4.4.3 Chemické analýzy

Odebrané vzorky rostlin a půdy byly podrobeny chemickým analýzám v zemědělské akreditované laboratoři firmy EKO-LAB Žamberk s.r.o. (akreditovaná ČIA pod registračním číslem 1254), kde vlastní rozbor nadzemních částí rostlin kukuřice byly analyzovány na hmotnost sušiny 1 rostliny a přepočteny na 100 rostlin v rámci akreditace pro standardní operační postup (metodika f. LECO). Součástí každého měření sušiny vzorku NČR byl proveden chemický rozbor na obsah základních živin kukuřice, tedy na N, P, K, Ca, Mg, ale také na obsah mikroživiny Zn v mg/kg. Vzorky zeminy byly rozborovány spektrofotometricky (ICP OES) na obsah minerálních forem dusíku (NO_3^- a NH_4^+) na základě analýzy podle akreditace pro standardní operační postup (SOP) 251 a 252 (metoda JPP ÚKZÚZ Brno, 2004, analýza půd III).

Metoda optické emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP OES) je využívána k prvkové analýze geomateriálů. Metoda umožňuje stanovení široké škály hlavních, vedlejších i stopových prvků. Principem metody je vstřík suspenze (mokrého) vzorku do zmlžovače (udržuje se v homogenním stavu prostřednictvím ultrazvuku vysokofrekvenčního generátoru) a zahřátím na vysoké teploty (8000 až 10 000 °C) v argonovém plazmatu. Vyzářené světlo vzorku snímá spektrální přístroj a následně detektor sběru a zpracování dat (počítač). U metody ICP-OES k rozkladu biologického materiálu dochází přímo při kroku měření v argonovém plazmatu (Mader a Čurdová, 1997).

4.4.4 Vyhodnocení výsledků

Výsledky vzorků půd a rostlin pokusného pozemku byly podrobeny laboratorní analýzou a seřazeny do tabulek, kde ke každému stanovišti byly přiřazeny nezbytná data týkající se druhu předplodiny, úrovně a množství použitého minerálního a organického hnojiva a způsobu zpracování půdy. V návaznosti na tyto data k nim byly přiřazeny zjištěné obsahy minerálního dusíku v půdě před vlastním zpracováním půdy pro zjištění okamžité a dostupné zásoby $N_{\min.}$ v půdě pro rostliny a pro stanovení variability obsahu $N_{\min.}$ v řádcích a meziřádcích, popř. v pásech a mezipásech v porostu širokořádkové kukuřice. Dále k parametrům zpracování a hnojení půdy byly přiřazeny obsahy jednotlivých živin v rostlinách za účelem analýzy výživného stavu rostlin dusíkem, foforem, draslíkem, vápníkem, hořčíkem a zinkem, jako zásadní mikroživinou v pěstování kukuřice na daném stanovišti (variantě).

Obsah minerálního dusíku v půdě byl vyjádřen v miligramech na kilogram ve 100 % sušiny odebrané zeminy. Slovní hodnocení stanovení zásoby $N_{\min.}$ v půdě bylo provedeno podle kritérií autorů (Baier a kol., 1988), viz tab. č. 1. Přepočítání zásoby $N_{\min.}$ v mg/kg na zásobu N v půdě v kg/ha proběhlo vynásobením převáděcího koeficientu 4,0 pro hloubku orničí 30 cm. Objemová hmotnost odebraných vzorků byla zjištěna $1,7 \text{ g/cm}^3$ ($1,7 \text{ t/m}^3$) v roce 2018 a $1,5 \text{ g/cm}^3$ ($1,5 \text{ t/m}^3$) v roce 2019. Výživný stav rostlin kukuřice byl vyjádřen v procentech v sušiny za jednotlivé sledované živiny a sušina hmotnostně v gramech, která při sušiny 100 rostlin byla přepočtena na hmotnost 1 rostliny. Příjem živin v zásadních fenofázích růstu a vývoje kukuřice bylo vypočteno vynásobením sušinou hmotnosti 1 rostliny, počtem rostlin na 1 m^2 a obsahem příslušné živiny v procentech. Pro převod dusíku obsažený v dusíkatých látkách (NL) v zrně kukuřice byl použit vhodný koeficient 6,25. Množství přijatých živin rostlinou bylo vyjádřeno v kilogramech na 1 hektar pro jednotlivé odběrové fáze růstu.

Dále pro kukuřici byly pomocí excel tabulek zpracovány výsledky monitoringu obsahu $N_{\min.}$ v půdě, vyjádřena aktuální a okamžitá zásoba pohotového (přijatelného) dusíku dle definovaných kritérií Baiera a Baierové (1988) v letech 2018 a 2019. Ke zjištění zásoby $N_{\min.}$ byly ke každé předem definované variatně technologie zpracování a hnojení půdy, v pokusu uvedeny celkové dávky dusíku a formy použitých hnojiv a zhodnocen tak jejich vliv na zásobu $N_{\min.}$ v prostorách řádku a meziřádku pěstované kukuřice. V této lokalizaci porostu byl zde, pro průkaznost rozdílů obsahu $N_{\min.}$ proveden statistický test ve vhodném programu pro statistické šetření. Pro tyto účely byl zvolen statistický test ANOVA ve statistickém programu Statistica 12. V návaznosti na celkový výživný stav rostlin dusíkem a jiných živin byl zhodnocen jejich vliv na výnos a kvalitu kukuřičného zrna, které byly rovněž podrobeny rozborům a chemické analýze. Výsledná produkce zrna byla podrobena statistickému šetření pro průkaznost rozdílů mezi jednotlivými variantami poploprovozního pokusu v průměru za roky 2018 a 2019. Zde byl použit statistický test ANOVA, Fisherův LSD test, taktéž v programu Statistica 12. Také byl posouzen vliv průběhu počasí na výživný stav rostlin, výsledné produkce a kvality zrna kukuřice v obou letech.

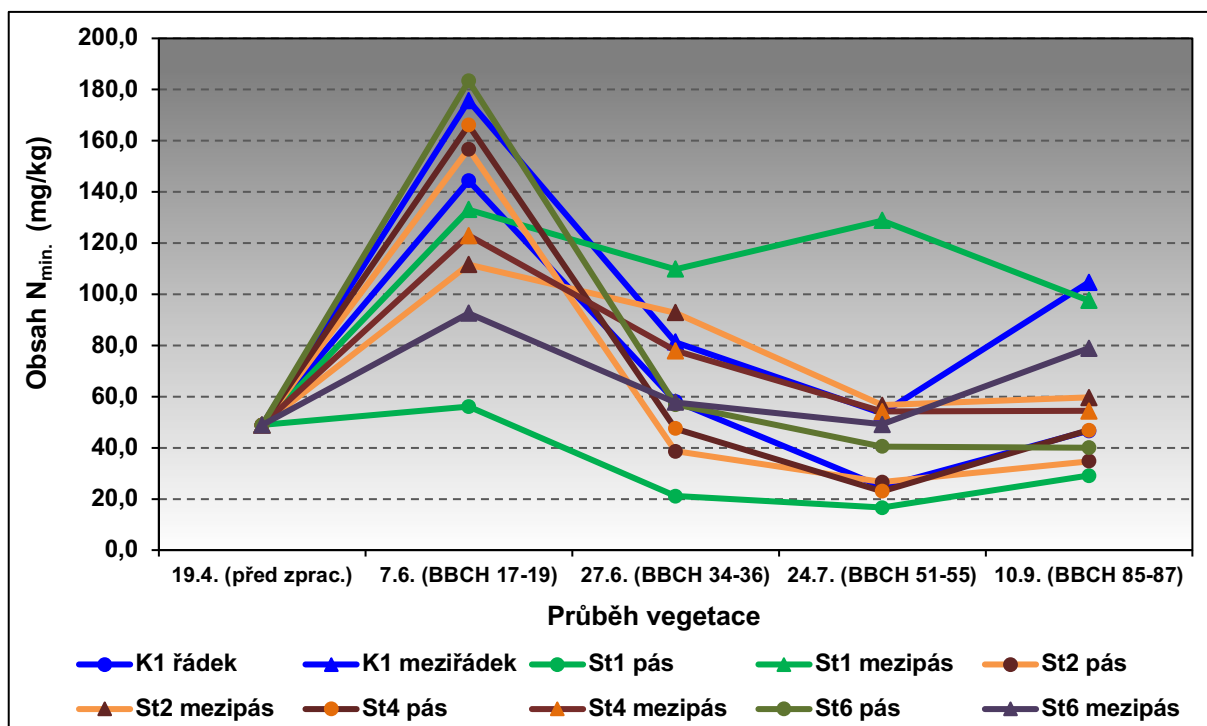
5 VÝSLEDKY

V této části závěrečné práce jsou zahrnuty výsledky měření pokusu založený v rámci projektu vývoje a implementace pěstitelských postupů pro stabilizaci produkce a kvality krmiva prasat v letech 2018 a 2019. Vyhodnocení monitoringu dynamiky obsahu $N_{\min.}$ v půdě a výživného stavu rostlin dusíkem při konvenčním a lokálním zpracování půdy a jejich výsledný vliv na výnos a kvalitu zrna kukuřice. Dále je zde vyhodnocen vliv zvoleného způsobu zpracování půdy na celkový odběr základních živin sklizní.

5.1 Vliv konvenčního a lokálního zpracování a hnojení půdy na obsah minerálního dusíku

V období monitoringu byl podrobněji monitorován a vyhodnocován obsah minerálního dusíku ($N_{\min.}$) v půdě v prostoru zpracovaného pásu (řádku) a nezpracovaného mezipásu (meziřádku) během vegetace kukuřice založená technologií pásového zpracování půdy v porovnání s konvenčním (celoplošným) zpracováním půdy. V roce 2018 po plošné aplikaci minerálního dusíkatého hnojiva močovina v dávce 150 kg N/ha (330 kg/ha močoviny) na povrch půdy se zapravením systémem pásového zpracování půdy se v kypřeném pásu o šířce 30 cm (St1) s pěstebním řádkem kukuřice během celé vegetace nacházel v půdě významně nižší obsah $N_{\min.}$ (56,1 mg/kg), než v prostoru nezpracovaného mezipásu. Mezipás této varianty vykazoval významně vysoký obsah $N_{\min.}$ (133 mg/kg) až do sklizně kukuřice (do 10. 9.). Aplikovaný dusík v močovině nebyl rostlinami dostatečně přijímán. V paralelních variantách s aplikací stupňované dávky stájového tekutého hnojiva kejdy prasat do rýh na dno kypřeného pásu do 1 zóny v hloubce 17 cm vždy spolu s aplikací minerálního hnojení startovací výživy v hnojivu Ultra Korn (NPSZn) v dávce 140 kg/ha (26 kg N) při setí pod patu byl na počátku vegetace (7. 6.) vždy vyšší obsah $N_{\min.}$ v půdě v kypřeném pásu, než v nezpracovaném mezipásu. Nižší dávka kejdy prasat 20 t/ha (St2) vykazovala v pásu 158 mg $N_{\min.}$ /kg, střední dávka 30 t/ha (St4) 166 mg $N_{\min.}$ /kg, než v nezpracovaném mezipásu půdy, vždy zpravidla nižší o 40 mg $N_{\min.}$ /kg. Při aplikaci dávky kejdy 40 t/ha (St6) byl na počátku vegetace (7. 6.) zjištěn nejvyšší obsah $N_{\min.}$ v pásu 183 mg/kg, než v nezpracovaném a nehnojeném mezipásu s obsahem 92,5 mg $N_{\min.}$ /kg. Důsledkem tohoto zjištění bylo způsobeno aplikací kejdy prasat do pásu v nejvyšší pokusné dávce 40 t/ha (150 kg N/ha). V období intenzivního růstu kukuřice (27. 6.) stihla zvýšený obsah $N_{\min.}$ v pásu odčerpat a až do konce sklizně nadále kypřený pás vykazoval nižší hladinu $N_{\min.}$, než v mezipásu stejně jako rostliny kukuřice dokázaly odčerpat $N_{\min.}$ z nezpracovaných a nehnojených mezipásů ve variantách s aplikací nižší a střední dávky kejdy prasat aplikované do 1 zóny půdního profilu (graf č. 2)

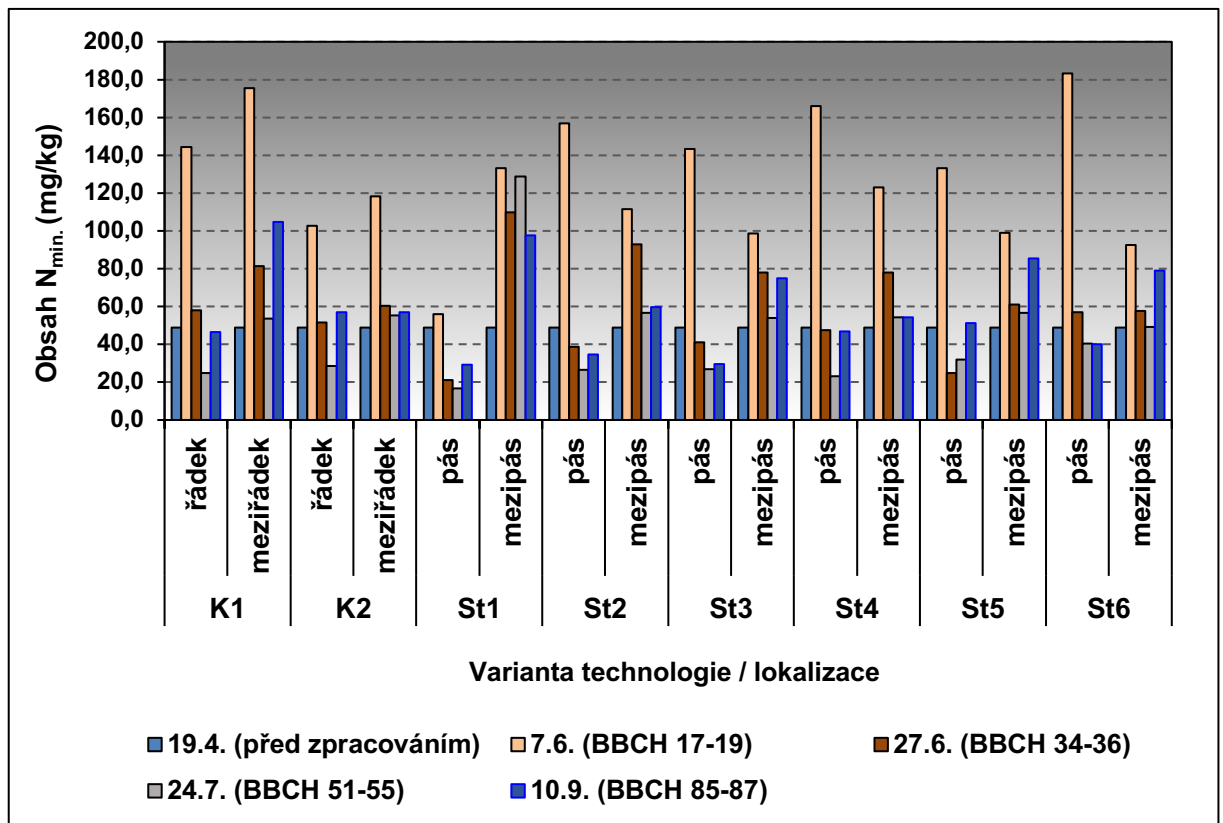
Graf č. 2: Dynamika obsahu minerálního dusíku ($N_{min.}$) v půdě (0-30 cm) v prostoru kypřeného pásu a nekypřeného mezipásu během vegetace kukuřice pro srovnání s technologií plošného zpracování a hnojení půdy v roce 2018 (10.9. reziduální $N_{min.}$, uložení kejdy do 1 zóny + startovací výživa NPSZn pod patu při seti)



Obsah minerálního dusíku v půdě na jaře v roce 2018 vykazoval před zpracováním půdy pokusného pozemku 48,9 mg/kg (78 kg N/ha), tedy velmi dobrou zásobu N. Na všech variantách poloprovozního pokusu s vývojem technologie pásového zpracování půdy s aplikací kejdy prasat byly zjištěny rozdílné obsahy $N_{min.}$ v pěstebním pásu a v prostoru nezpracovaného mezipásu. V tomto roce byly zpravidla zjištěny vyšší až významně vyšší obsahy $N_{min.}$ v půdě po sklizni kukuřice v prostoru mezipásů. Nejvyšší obsah $N_{min.}$ v pěstebním meziřádku byl naměřen na kontrole (K1) družstvem Rostěnice a.s. standardizovanou technologií celoplošného zpracování s předchozím N-hnojením v podobě rozmetání močoviny na povrch půdy, který činil 105 mg/kg. Stejným způsobem hnojení půdy, druhem a dávkou hnojiva vykazovala půda lokálně zpracována v pásech s posklizňovým reziduem $N_{min.}$ ve výši 97 mg/kg. Varianty s organickým hnojením, tedy kejdou prasat do rýh pásového kypření měly obsah $N_{min.}$ v mezipásu nejvyšší po aplikaci dávky 30 t/ha (St5). Naopak nejnižší rezidua $N_{min.}$ po sklizni kukuřice v mezipásu byly zjištěny po aplikaci kejdy v dávce 20 t/ha (St4), kde bylo navíc při seti pod patu osiva přidáno dusíkato-fosforečné hnojivo Ultra Korn NPSZn. Zde byl ve výsledku nejvyšší obsah $N_{min.}$ v kypřeném pásu a docházelo zde tedy k dobrému využívání dusíku z prostoru pozemku. Tomuto jevu podobně došlo v paralelním měření na větší ploše s využitím stejných parametrů pokusné parcelky St4. Nejnižší posklizňové rezidua $N_{min.}$ v půdě v prostoru řádku, bylo zjištěno po pásovému zapravení aplikace močoviny na plochu s Ultra Korn pod patu při seti (St1) a při aplikaci kejdy v dávce 20 t/ha do rýh, včetně Ultra Korn hnojiva pod patu při seti (St2) s opakovaním vynechávky hnojiva Ultra Korn pod patu při seti kukuřice.

Podíl rezidua $N_{\min.}$ na ploše pozemku ponechaných po sklizni představoval v pásech 40 % a podíl obsahu $N_{\min.}$ na ploše v mezipásů zbylých 60 %. Nejnižší obsah $N_{\min.}$ v půdě po sklizni kukuřice byl celkově 50 mg/kg (váženým průměrem) na variatě striptilu St2 (20 t/ha kejdy prasat do rýhy + Ultra Korn NPSZn při setí) a dále reziduum 51 mg/kg na variantě vývoje St4 (30 t/ha kejdy prasat do rýhy + Ultra Korn NPSZn při setí). Na druhé straně nejvyšší zbytkový obsah $N_{\min.}$ v půdě po sklizni kukuřice 82 mg/kg byl zjištěn po současné technologie celoplošného zpracování a hnojení půdy minerálním dusíkatým hnojivem močovinou (K1). Reziduum 72 mg/kg vykazovala půda po rýhové aplikaci dávky 30 t/ha kejdy prasat (St5) a 70 mg/kg po plošné aplikaci močoviny před vlastním pásovým kypřením (St1). Všechny tři varianty vykazovaly zcela nízkou efektivitu využití dusíku z půdy pro příjem kukuřicí a jeho potenciální zabudování do biomasy rostlin (graf č. 3)

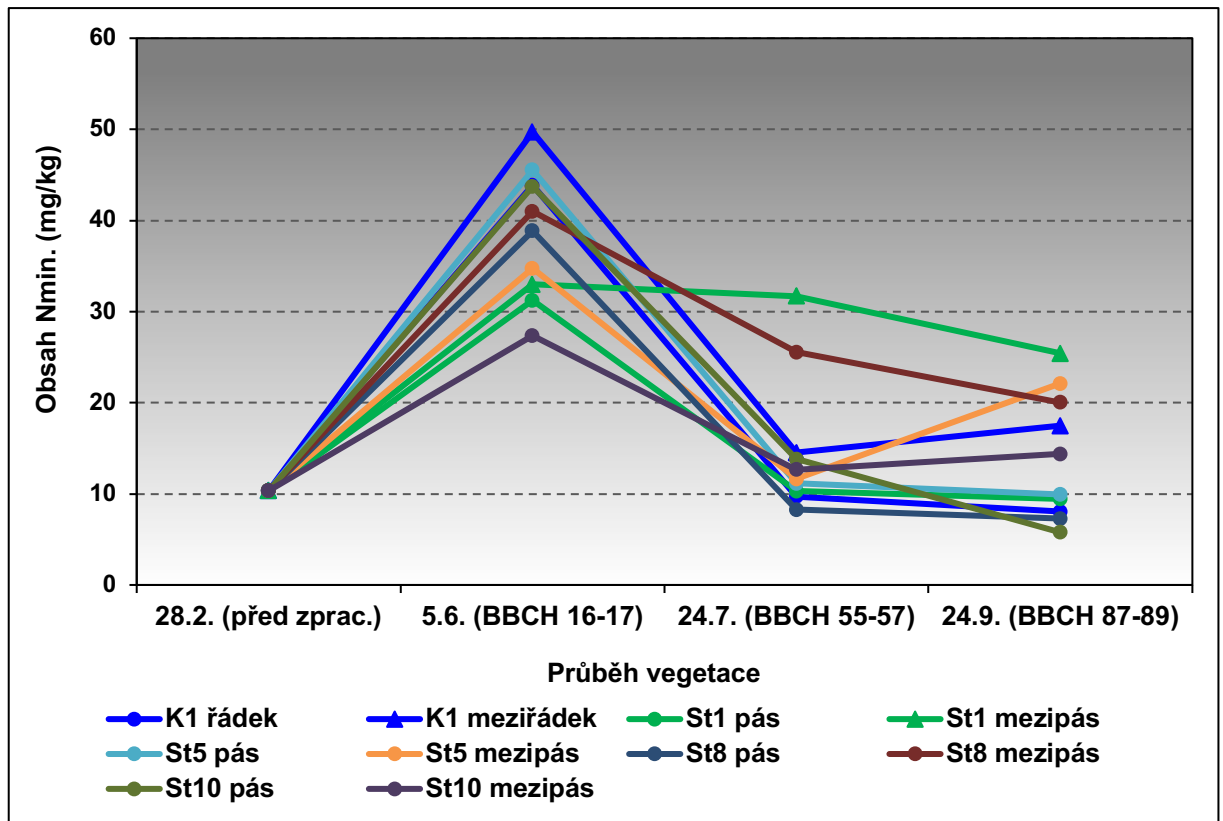
Graf č. 3: Dynamika a prostorová variabilita obsahu $N_{\min.}$ v půdě (0-30 cm) během vegetace porostu kukuřice při pásovém a celoplošném zpracování a hnojení půdy v roce 2018 (10. 9. = sklizeň, tj. posklizňové reziduum $N_{\min.}$)



Na počátku jara druhého pokusného roku 2019 byl obsah minerálního dusíku v porovnání rokem předchozím nižší 10,3 mg/kg (41 kg N/ha), které odpovídalo malé až střední zásobě. V první dekádě dubna (11. 4.) bylo následně po zpracování půdy provedeno setí porostu kukuřice. Významný nárůst obsahu $N_{\min.}$ byl zaznamenán na počátku vegetace dne 5. 6. ve fázi 6. – 7. listu rostlin po provedení hlavního hnojení dusíkem v podobě močoviny nebo kejdou prasat. Po plošné aplikaci minerálního dusíkatého hnojiva močovina v dávce 150 kg N/ha (330 kg/ha močoviny) na povrch půdy se zapravením systémem celoplošného zpracování půdy (K1) se nacházel v půdě nejvyšší obsah $N_{\min.}$ v řádku (49,7 mg/kg), než v prostoru meziřádku pěstované kukuřice ze všech sledovaných variant. V případě hnojení kejdou do rýh na dno vytvořených pásů se zásoba $N_{\min.}$ pohybovala mezi dobrou a velmi

dobrou, tedy nižší ve srovnání s minerálním hnojením. Dobrá a velmi dobrá zásoba $N_{min.}$ vykazovala v řádcích i v meziřádcích také varianta současného celoplošného zpracování půdy (K2), kde byla před vlastním zpracováním plošně aplikována kejda v dávce 40 t/ha (graf č. 4).

Graf č. 4: Dynamika obsahu minerálního dusíku ($N_{min.}$) v půdě (0-30 cm) v prostoru kypřeného pásu a nekypřeného mezipásu během vegetace kukuřice pro srovnání s technologií plošného zpracování a hnojení půdy v roce 2019 (uložení kejdy do 1 zóny + startovací výživa NPSZn pod patu při seti)

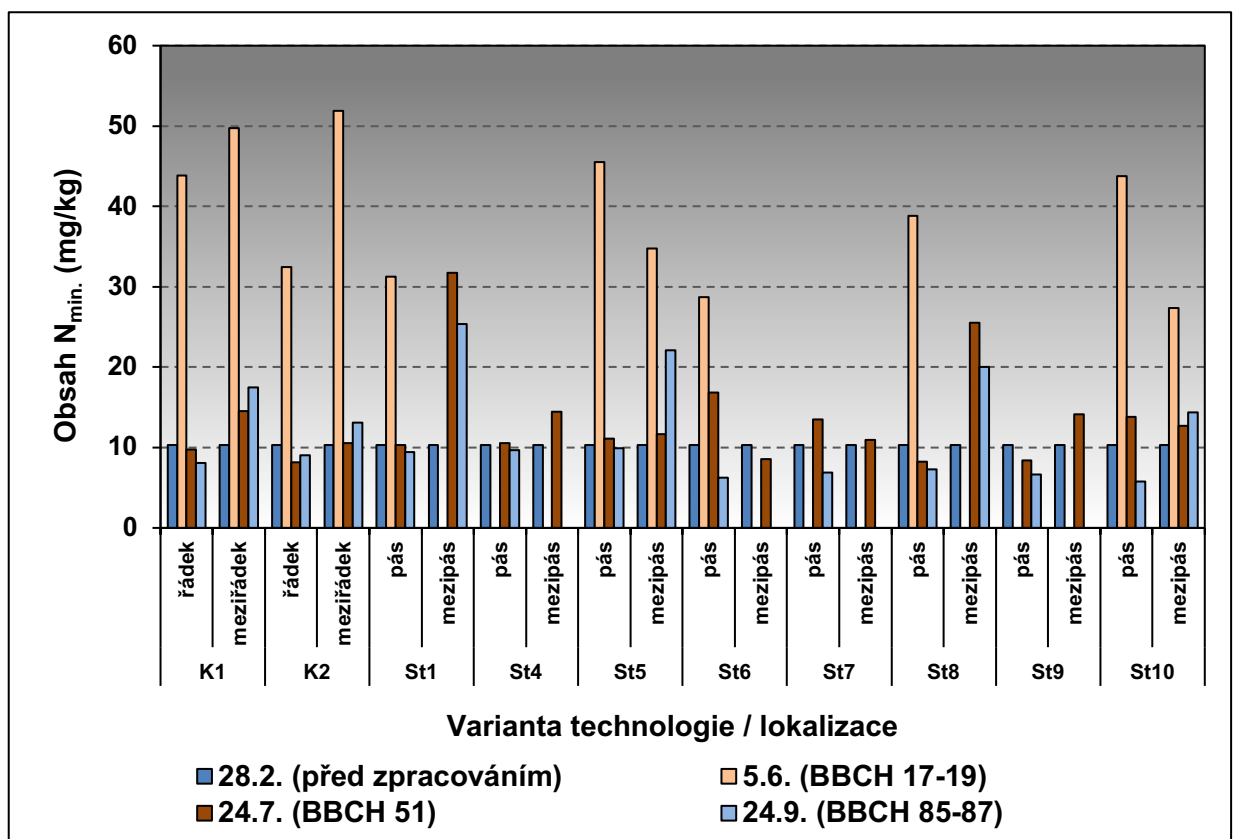


V pozdějším období (metání) intenzivního nárůstu nadzemní biomasy, hladiny obsahů $N_{min.}$ ve dni měření 24. 7. poklesly, zejména na celoplošném zpracování a hnojení půdy (K1 a K2) v řádcích i meziřádcích na úroveň malé až střední obsahy $N_{min.}$ a také v technologii pásového zpracování a hnojení půdy byly obsahy $N_{min.}$ v pásech malé až střední a v tvrdých, nezpracovaných nehnojených mezipásech byly malé až střední. Po aplikaci kejdy do pásů byl v kypřených a hnojených pásech a v sousedních nehnojených mezipásech obsah $N_{min.}$ vyrovnaný. Varianta St8, na které byla aplikována dávka kejdy ve výši 30 t/ha, tvořila výjimku v důsledku intenzivní mineralizace dusíku v půdě.

Před sklizní ve dne 24. 9. byly v technologii celoplošného zpracování a hnojení půdy (K1 a K2) zjištěny v řádcích malé obsahy $N_{min.}$ a v meziřádcích obsahy střední. Vyšší obsah $N_{min.}$ v meziřádcích dosahovaly půdy hnojené močovinou, než po aplikaci kejdy. V kombinované technologii pásového kypření a plošné aplikace močoviny (St1) byl zjištěn naopak malý obsah $N_{min.}$ v pásech a zvýšený dobrý obsah $N_{min.}$ v mezipásech. Ve variantách s aplikací kejdy 20 t/ha (St4, St5 a St6) podle úrovně zonality uložení kejdy do rýh, vykazovaly srovnatelně nízké, respektive velmi malé až malé hodnoty obsahu $N_{min.}$ v půdě. Z pohledu posklizňových reziduí bylo zde hnojení kejdou významně ekologické, pouze ve zkoušené variantě St5 stejných parametrů byl v mezipásech obsah $N_{min.}$ zvýšený na střední úroveň hladiny. Při zvýšení aplikační

dávky kejdy prasat na 30 t/ha do kypřených pásů (St7 a St8) do jedné nebo dvou zón uložení hnojiva, půdy vykazovaly také nízké obsahy $N_{min.}$, což odpovídalo v pásech velmi malé až malé zásoby, tedy s velmi dobrou využitelností živin z kejdy porostem. V mezipásech po sklizni u variant St7 a St8 s dávkou 30 t/ha kejdy vykazovaly střední reziduum $N_{min.}$ podobně zvýšené jako po dávce 20 t/ha. Po vysoké dávce 40 t/ha (St9 a St10) setrvalo také velmi dobré využití $N_{min.}$ z půdy. V kypřených a hnojených pásech kejdy byly zjištěny obsahy $N_{min.}$ velmi malé až malé a v nezpracovaných mezipásech střední. Pouze v nehnojených mezipásech se nacházela zvýšená střední rezidua $N_{min.}$. K odběru N porostem kukuřice došlo a půdní rezidua byla velmi malá a z hlediska rizika potenciální ztráty v zimním období zcela zanedbatelná (graf č. 5).

Graf č. 5: Dynamika a prostorová variabilita obsahu $N_{min.}$ v půdě (0-30 cm) během vegetace porostu kukuřice při pásovém a celoplošném zpracování a hnojení půdy v roce 2019



Obsah minerálního dusíku ($N_{min.}$) v půdě se měnil v závislosti na lokalizaci v prostoru řádků a meziřádků v porostu kukuřice a také, především v ročníku pěstování (2018 a 2019). Konveční postupy (K) celoplošného a lokální postupy redukovaného (St) zpracování a hnojení půdy byl statisticky významný rozdíl (na hladině významnosti $p < 0,05$) v obsahu $N_{min.}$ v půdě mezi roky pěstování 2018 a 2019 během celé vegetace plodiny. Obsah $N_{min.}$ v řádcích a meziřádcích kukuřice při celoplošném zpracování a hnojení půdy nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Statisticky významnému a průkaznému rozdílu prostorové variability $N_{min.}$ v řádcích a meziřádcích (tab. č. 11) došlo při použití lokální technologie zpracování a hnojení půdy stupňovanou dávkou kejdy prasat na dno kypřeného pásu v celém rozpětí 20 – 40 t/ha, pouze v období sklizně (BBCH 85 – 87).

Tab. č. 11: Porovnání obsahu minerálního dusíku ($N_{min.}$) v půdě v prostoru řádků a meziřádků porostu kukuřice (v mg/kg)

| Varianta | Plošné (K) | | | Pásové (St) | | |
|---------------------|-----------------|--------|---------|-----------------|--------|---------|
| | Fenofáze (BBCH) | | | Fenofáze (BBCH) | | |
| | 16-19 | 51-53 | 85-87 | 16-19 | 51-53 | 85-87 |
| 2018 | | | | | | |
| řádky/pásky | 124aB±21 | 27aA±2 | 52aB±5 | 169aA±11 | 30aA±8 | 41aA±5 |
| meziřádky/mezipásky | 147aB±29 | 54aA±1 | 81aB±24 | 109aA±13 | 53aA±3 | 64aA±11 |
| 2019 | | | | | | |
| řádky/pásky | 38aB±6 | 9aB±1 | 9aB±0 | 143aB±3 | 11aB±2 | 8aA±2 |
| meziřádky/mezipásky | 51aB±1 | 13aB±2 | 15aB±2 | 34aB±6 | 17aB±6 | 19aA±3 |
| Celkem | | | | | | |
| řádky/pásky | a | a | a | a | a | b |
| meziřádky/mezipásky | a | a | a | a | a | b |

Pozn.: Hodnoty označené v řádcích odlišnými malými písmeny (a, b) vykazují statisticky průkazné rozdíly v příslušném roce a hodnoty označené v řádcích odlišnými velkými písmeny (A, B) označují statisticky průkazné rozdíly mezi příslušnými roky na hladině významnosti $p < 0,05$ (ANOVA).

5.2 Vliv konvenčního a lokálního zpracování a hnojení půdy na výživný stav rostlin

Během vegetace založených porostů kukuřice byla rovněž monitorována dynamika růstu nadzemní biomasy a vyhodnoceny obsahy jednotlivých základních živin pro růst a vývoj porostů kukuřice, v závislosti na použité technologii lokálního pásového zpracování a hnojení půdy ve srovnání s celoplošným konvenčním systémem zpracování a hnojení půdy.

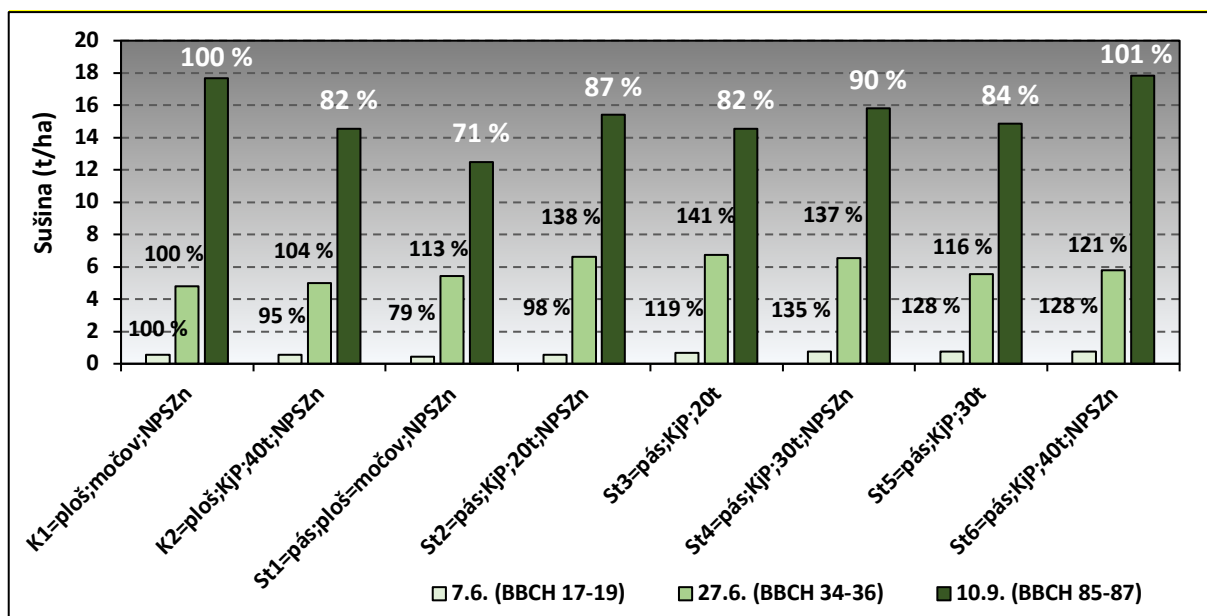
V roce 2018 během vegetace vykazovaly rostliny kukuřice pěstované v kypřených a hnojených zpracovaných pásech, zejména s použitím kejdy prasat do rýhy, rychlejší nárůst nadzemní biomasy (graf č. 6). Nárůst nadzemní biomasy kukuřice pozitivně ovlivnila vyšší teplota půdy ve zpracovaném pásu dána lepším vzdušným a částečně vodním režimem v okolí vzházející rostliny v porovnání s celoplošným kypřením půdy, dále také hloubka pásu do 20 cm, tzn. o 5 cm hlubší, než klasické celoplošné zpracování půdy s mulčem meziplodiny hořčice na jaře pro kukuřici.

Plošně aplikovaná kejda prasat působila na kukuřici snížením rychlosti růstu biomasy, zatímco kejda aplikovaná v rýze zpracovaného pásu zvyšovala hmotnost sušiny nadzemní biomasy kukuřice již od období 7. – 9. listu rostlin (7. 6.). Kombinace aplikace kejdy do rýh na dno zpracované půdy s následnou aplikací minerálního granulovaného hnojiva Ultra Korn pod patu při setí, nebyl v počátečním růstu zjištěn pozitivní vliv na hmotnost rostlin. Později v období vyvinutého 4. – 5. kolénka (27. 6.) na stonku byl vliv hnojení kejdou v pásech zpracované půdy nejpronikavější do nárůstu hmotnosti nadzemní biomasy. Rostliny po rýhové aplikaci kejdy měly zejména tlustší stonky ve srovnání s plošným hnojením nebo zpracováním půdy.

Zajištění vyššího vegetačního komfortu v období intenzivního růstu rostlin, zajišťovala technologie prostorově omezeného přístupu pásového zpracování a hnojení půdy, než

srovnávané souvislé zpracování a hnojení půdy. Největší hmotnost sušiny nadzemní biomasy vykazovaly rostliny po aplikaci dávky kejdy 20 t/ha, případně po dávce 30 t/ha. V době sklizně (10. 9.) byl zanalyzován nejvyšší nárůst biomasy po celoplošném zpracování a hnojení půdy minerálními hnojivy (močovina + Ultra Korn pod patu při seti) a srovnatelně po nejvyšší testované dávce kejdy 40 t/ha do rýh kypřených pásů (kejda + Ultra Korn). Rostliny v ostatních variantách vykazovaly výrazně nižší nárůst biomasy stanovená jejich hmotností v rozpětí 10 – 29 %. Naopak nejnižší hmotnost nadzemní biomasy v době sklizně kukuřice byla zjištěna po pásovém zpracování půdy (St1) s předchozí plošnou aplikací močoviny. Co do hmotnosti vytvořené biomasy kukuřice v klasicky plošně zpracované půdy (K1 a K2) a aplikaci dávky kejdy 40 t/ha (St6) byl zjištěn nárůst biomasy nejbliže k půdě zpracované v prostorově omezených pásích po aplikaci střední dávky kejdy do rýh 30 t/ha (St4).

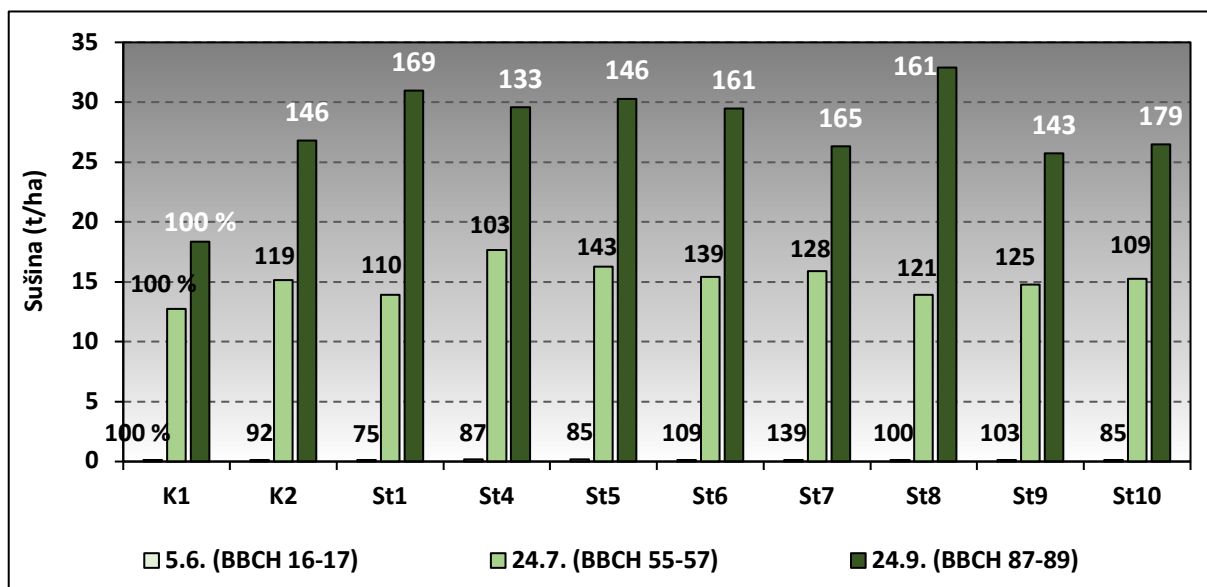
Graf č. 6: Dynamika nárůstu hmotnosti nadzemní biomasy rostlin kukuřice v závislosti na použité technologii zpracování a hnojení půdy v roce 2018 (10. 9. = sklizeň)



Pozn.: Popisky nad sloupci označují % rozdíl hmotnosti vůči současné technologii celoplošného zpracování půdy (K1), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

V roce 2019 porosty kukuřice v současné technologii celoplošného zpracování půdy s plošnou aplikací minerálního hnojiva močovina vykazovaly zpočátku středně rychlý nárůst nadzemní biomasy. V období ukončení intenzivního růstu stonku (24. 7.) rostliny vykazovaly již stagnaci růstu oproti vzrostlejšími rostlinám ve variantách s půdou zpracovanou v pásích (St varianty). Nejrychleji od počátku do konce vegetace narůstala nadzemní biomasa ve variantě St2, tedy s aplikací kejdy prasat v dávce 20 t/ha do 1 zóny kypřených pásů (na dno pásů). Vynechání aplikace seťové dávky startovací výživy ve hnojivu Corn Starter (secím strojem) na variantě St6 se neprojevovalo v počátečním růstu. Naopak pomalý vývoj porostu byl mimo současnou technologii K1 zjištěn ve vyvíjené technologii St1, tj. pásové zpracování bez aplikace hnojiv do pásů, pouze plošná aplikace močoviny na povrch půdy (graf č.7).

Graf 7. Dynamika nárůstu hmotnosti nadzemní biomasy rostlin kukuřice v závislosti na použité technologii zpracování a hnojení půdy v roce 2019 (24.9. = sklizeň)



Pozn.: Popisky nad sloupci označují % rozdíl hmotnosti vůči současné technologii celoplošného zpracování půdy (K1), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

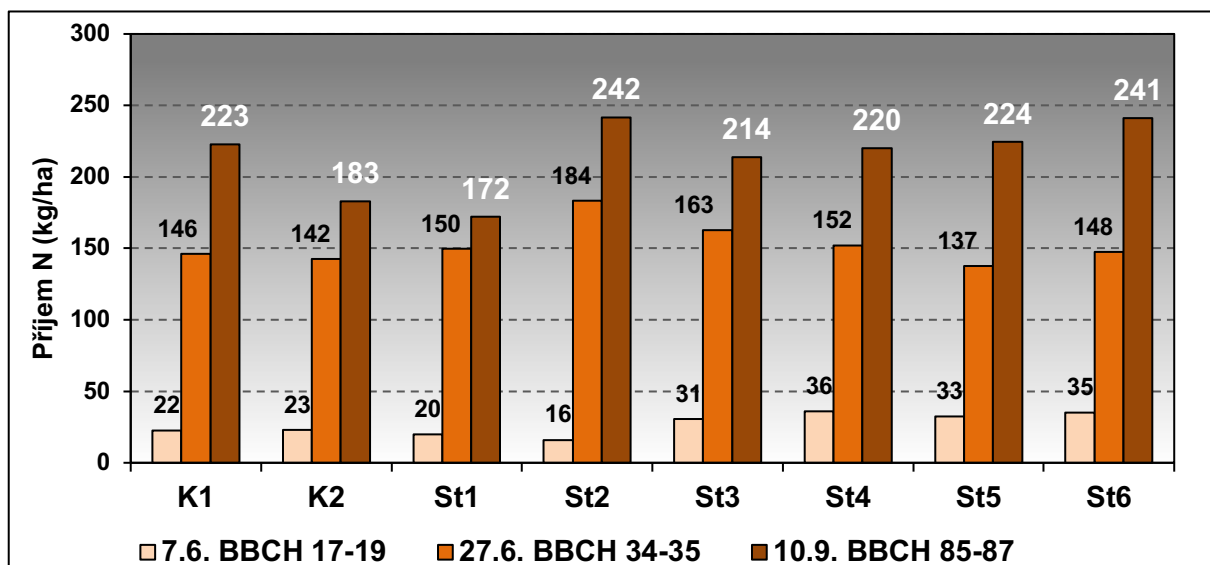
V termínech odběrů celých rostlin kukuřice pro stanovení nárůstu sušiny nadzemní biomasy byl vyhodnocován také biologický příjem dusíku rostlinami v roce 2018 (graf č. 8) a v r. 2019 (graf č. 9)

Příjem dusíku nadzemní biomasou kukuřice během vegetace byl rozdílný a korespondovala s nárůstem nadzemní biomasy podle schopnosti příjmu rostlinami, dané zejména velikostí rostliny v monitorovaném období.

V roce 2018 lepší osvojení dusíku (N) z půdy vykazovaly rostliny pěstované po aplikaci kejdy praset do rýh zpracovaných pásů a to v celém testovaném rozpětí dávky 20 – 40 t/ha. Pomalejší příjem dusíku rostlinami bylo patrné zejména na počátcích vegetace po plošném hnojení minerálním dusíkatým hnojivem močovina s následným pásovým zapravením pomocí pásového kypriče (St1) a po aplikaci kejdy do 1 zóny rýhy v dávce 20 t/ha (St2). V posledním monitorovacím termínu (10.9.), tj. doba sklizně, rostliny celkově po celoplošném zpracování půdy s aplikací močoviny (K1) přijaly 223 kg N/ha, po aplikaci kejdy 40 t/ha před celoplošným zapravením (K2) přijaly 183 kg N/ha.

Na pásově kypřené parcele se zapravením plošně aplikované močoviny (St1) byl příjem dusíku rostlinami ve sklizni 172 kg N/ha, na parcele s aplikací kejdy 20 t/ha do rýh (St2) příjem dusíku dosahoval 242 kg/ha, po aplikaci 20 t/ha kejdy do rýh bez následné aplikace Ultra Korn NPSZn (St3) poklesl příjem na 214 kg N/ha. Po aplikaci dávky kejdy 30 t/ha (St4) byl příjem dusíku 220 kg/ha, po aplikaci kejdy v dávce 30 t/ha bez následné aplikace Ultra Korn NPSZn pod patu setí rostliny přijaly 224 kg N/ha a po 40 t dávce kejdy na 1 ha do rýh v kypřených pásech přijaly rostliny 241 kg N/ha.

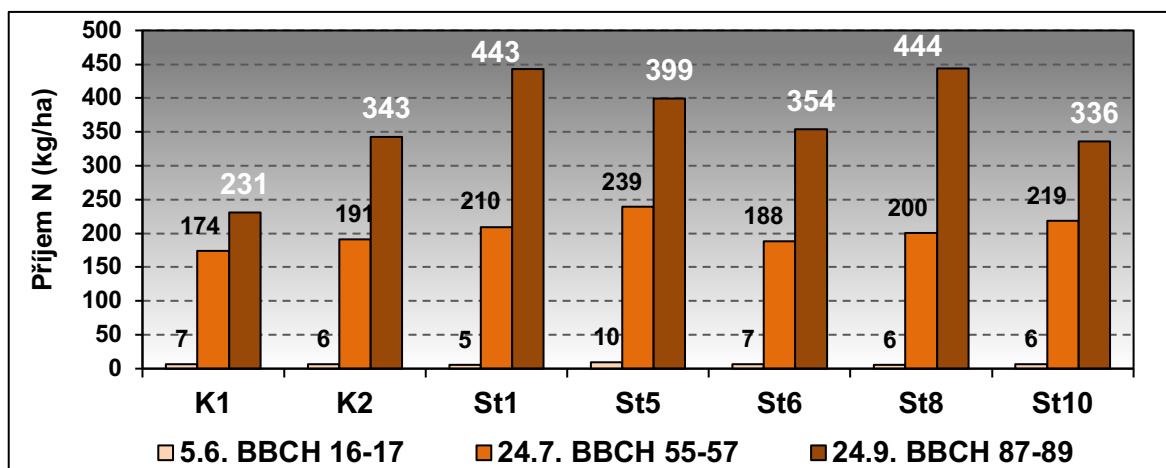
Graf č. 8: Dynamika příjmu dusíku nadzemní biomasou kukuřice v roce 2018 (v sušině, 1 zóna uložení kejdy prasat; 10. 9. = sklizeň)



Pozn.: Popisky nad sloupci označují příjem dusíku (v kg/ha) v dané fázi (termínu), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

V roce 2019 nejvyšší biologický příjem dusíku během první i druhé poloviny vegetace vykazovaly rostliny po aplikaci kejdy prasat v dávce 20 t/ha uložené a zpracované kypřičem do 1 zóny pásu půdy. Při vynechávce startovací výživy hnojivem Corn Starter (NPSZn) pod patu při setí a po uložení stejné dávky kejdy 20 t/ha do 1 zóny profilu kypřených pásů, byl zjištěn snížený příjem dusíku (St6). Naopak po dávce 30 t/ha aplikované do jedné zóny kypřených pásů (na dno pásů), včetně aplikace Corn Starter pod patu při setí, byl příjem dusíku mezi nejvyššími, příjem až 444 kg N/ha. Po aplikaci vysoké dávky kejdy 40 t/ha byl příjem dusíku rostlinami srovnatelný mezi uložení kejdy do 1 a do 2 zón (336-345 kg N/ha). Naopak zaostávaly v příjmu dusíku v první i druhé polovině vegetace rostliny na kontrolní (K1) současné technologii celoplošného zpracování půdy, a to zejména a ve druhé polovině vegetace. (graf č. 9).

Graf č. 9. : Dynamika příjmu dusíku nadzemní biomasou kukuřice v roce 2019 (v sušině, 1 zóna uložení kejdy prasat 24. 9. = sklizeň)

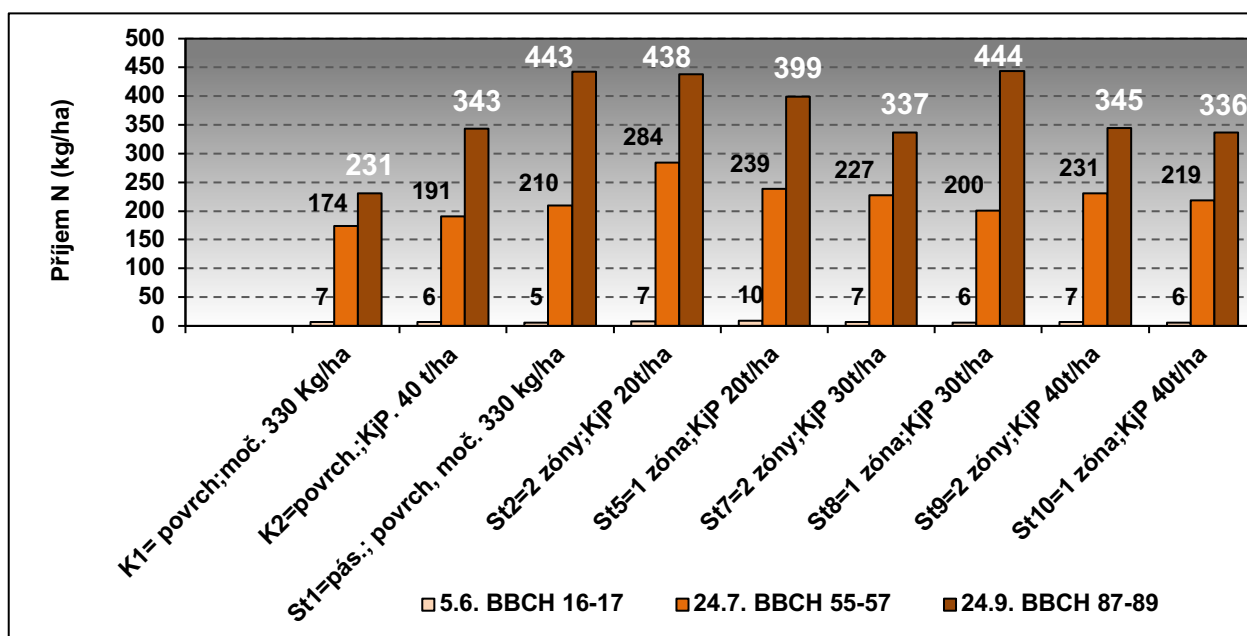


Pozn.: Popisky nad sloupci označují příjem dusíku (v kg/ha) v dané fázi (termínu), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

V porovnání s rokem 2018, kdy bylo v důsledku vyvyjení pásového kypříče možné aplikovat tekutá hnojiva pouze do 1 zóny půdního profilu (na dno rýhy), byl pásový kypříč v roce 2019 inovován o schopnost aplikovat tekutá hnojiva, resp. kejdu do 2 zón půdního profilu kypřeného pásu. V termínech monitoringu výživného stavu rostlin byl vyhodnocen vliv zpracování a uložení stupňované dávky kejdy prasat do kypřených pásů podle zonality půdního profilu v porovnání s kontrolními parcelkami (K1 a K2) současného celoplošného zpracování a předchozího hnojení na povrch půdy (Graf č. 10)

Porosty kukuřice pěstované systémem pásového zpracování a hnojení půdy ve všech sledovaných variantách dosáhly pozitivního příjmu dusíku ve srovnání celoplošným zpracováním a hnojením půdy. V období vývoje 6. – 7. listu (5.6.) rostlin kukuřice až do konce metání (24.7.), byl biologický příjem dusíku rostlinami nejlépe přijímán po aplikaci kejdy prasat v dávce 20 t/ha do 2 zón, který setrval až do konce vegetace. Naopak nejpomalejší příjem dusíku v počátcích vegetace byl zjištěn po aplikaci kejdy v dávce 30 t/ha do 1 zóny kypřeného pásu (St8), avšak do doby sklizně (24.9.) rostliny přijaly ze všech variant nejvíce, a to ve výši až 444 kg N/ha, zatímco po aplikaci stejného množství hnojiva do 2 zón (St 7), pozitivní příjem N rostlinami v období sklizně výrazně poklesl, a to až o 107 kg N/ha. Srovnatelně nejvyšší odběr dusíku po aplikaci kejdy v dávce 30 t/ha do 1 zóny půdního profilu, nastala v porostu na parcele celoplošně zpracované a zapravené předchozí plošně rozptýlené dusíkaté hnojivo močovina (330 kg/ha) na povrch půdy do hloubky 15 cm. Při dávce kejdy 40 t/ha vykazovaly rostliny uložení kejdy prasat do 2 zón nepatrně vyšší příjem dusíku (345 kg N/ha) než do 1 zóny (336 kg N/ha) půdního profilu.

Graf č. 10: Vliv zonality uložení stupňované dávky kejdy prasat na dynamiku příjmu N rostlinami v roce 2019 (vždy aplikace Corn Starter pod patu při seti)



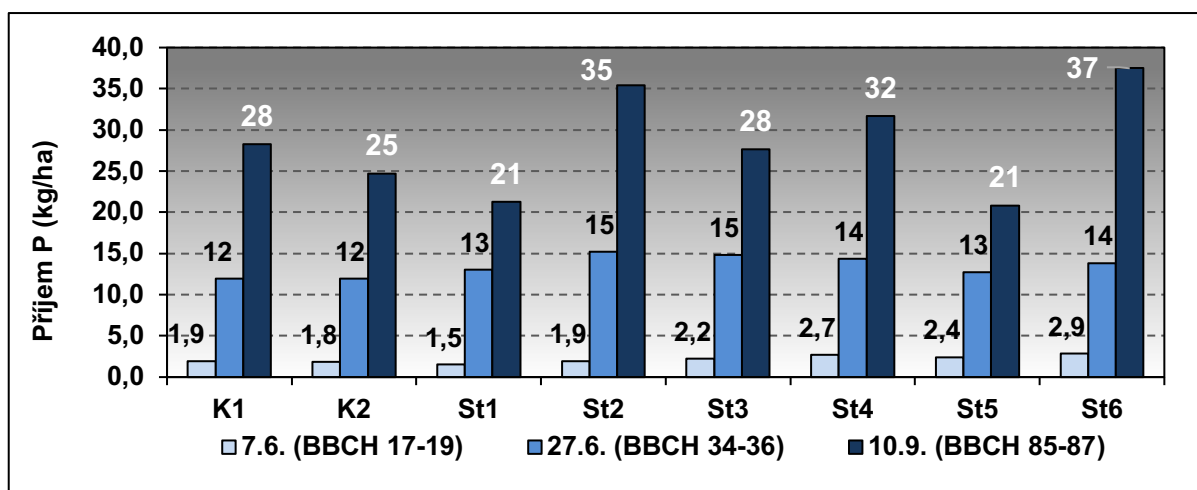
Pozn.: Popisky nad sloupci označují příjem dusíku (v kg/ha) v dané fázi (termínu), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

Výživný stav dusíkem ve vyvíjené technologii s hnojením kejdou prasat v období vyvinutého 7. – 9. listu kukuřice v roce 2018 byl na dobré až luxusní úrovni příjmu. Po současné technologii celoplošného zpracování s aplikací močoviny (K1) byla výživa rostlin dusíkem na

hranici optima s mírným deficitem ve výživě fosforem. Naproti tomu v druhém roce vykazovaly rostliny na všech variantách velmi dobrou výživu dusíkem, na úrovni nadbytkového optima až luxusní výživy. Hmotnost rostlin byla však rozdílná. Nejvyšší nárůst nadzemní biomasy vykazovaly rostliny po pásovém hnojení kejdou, ale také na kontrolní variantě celoplošného zpracování s aplikací močoviny. V intenzivním růstu kukuřice ve vyvinutém 4. – 6. kolénku byly porosty hluboce až středně deficitní dusíkem, kromě dusíku také fosforem, draslíkem, hořčíkem a zinkem. Dobrá výživa dusíkem se udržela v současné technologii celoplošného zpracování a hnojení půdy (K1). Příjem dusíku se na závěr vegetace (ve sklizni) stabilizoval, lepší a dostatečný výživný stav touto živinou byl ve vyvinuté technologii s aplikací kejdy do rýh v dávce 20 a 30 t/ha. Během metání v roce 2019 (24.7.) se výživa dusíkem naopak snížila ve všech variantách. Nejlepší výživný stav rostlin N bylo v závislosti na hmotnosti rostlin po hnojení kejdou do pásů, zejména při 2 zónovém uložení hnojiva v profilu kypřených pásů. Nejmenší, pomalu rostoucí byly rostliny na kontrolní variantě celoplošného zpracování s aplikací močoviny (K1).

Příjem fosforu (P) nadzemní biomasou kukuřice během prvního pokusného roku vegetace byl lepší také po hnojení kejdou prasat do rýh ve vyvinuté technologii redukovaného pásového zpracování půdy (graf č. 11). Ve sklizni (10. 9.) byl nejvyšší odběr fosforu zjištěn po nejvyšší dávce kejdy 40 t/ha a následně po dávce kejdy nižší 20 t/ha. Střední odběr fosforu ve sklizni nastal po dávce kejdy 30 t/ha. Na příjem fosforu nadzemní biomasou působilo ve sklizni pozitivně hnojení granulovaným hnojivem Ultra Korn NPSZn při seti secím strojem, především v kombinaci organicky hnojených stanovišť. Hnojení kejdou prasat, tedy organicky vázaným fosforem s dobrou mobilitou (nesrážlivostí) v půdě, mělo dominantní vliv na dostupnost přijatelného fosforu v půdě a potencionálně příjem fosforu nadzemní biomasou.

Graf č. 11: Dynamika příjmu fosforu nadzemní biomasou kukuřice v roce 2018 (v sušině, 10. 9. = sklizeň)

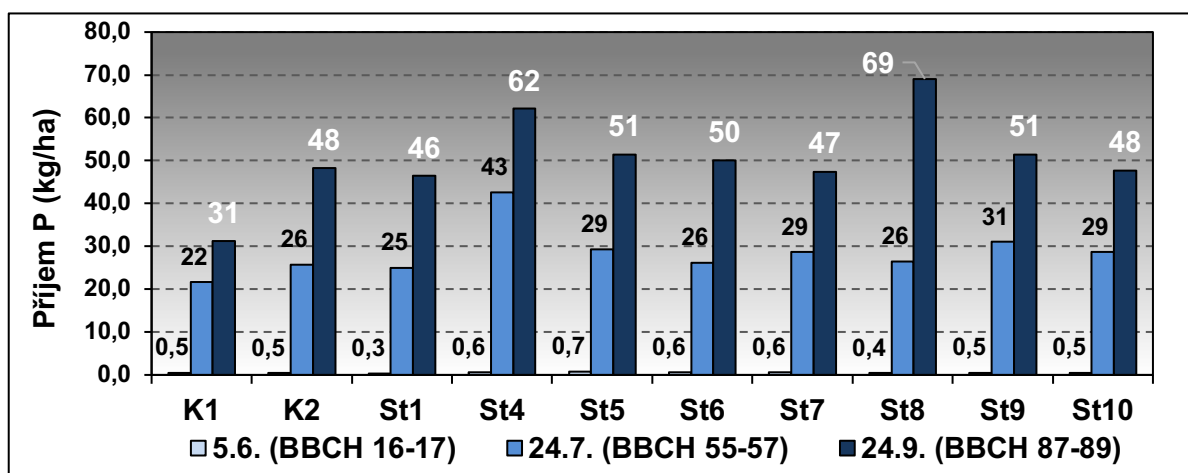


Pozn.: Popisky nad sloupci označují příjem fosforu (v kg/ha) v dané fázi (termínu), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

Během následujícího roku vegetace rostliny vykazovaly pomalý příjem fosforu, který byl poměrně vyrovnaný na počátku v době vzházení. Příjem fosforu z půdy nebo z již aplikovaných hnojiv při zpracování půdy v tu dobu postačoval potřebám rostlin. Během dalšího období a ve sklizňové zralosti byl nejvyšší příjem fosforu (69 kg P/ha) zaznamenán po pásovém zpracování půdy s aplikací kejdy v dávce 30 t/ha do 1 zóny (St8) a (62 kg P/ha) po aplikaci

dávky 20 t/ha do 2 zón kypřeného profilu pásů. Aplikace kejdy v nižší dávce 20 t/ha pouze na dno pásů (do 1 zóny) vykazovala ve druhé polovině vegetace nižší příjem fosforu rostlinami, který ještě mírně zeslabil na sousední variantě vynechanou seřovou dávkou hnojiva Corn Starter secím strojem. Dostačující celkový biologický příjem fosforu je nad hranicí 50 kg P/ha, což splnily zejména varianty pásového zpracování s aplikací kejdy již v dávce 20 t/ha. U kejdy uložení do 2 zón nebo do 1 zóny profilu zpracovaných pásů nemělo zásadní vliv na celkový příjem fosforu, ve sklizni. Ukazoval se spíše trend lepšího příjmu fosforu ze 2 zónové aplikace dávky 20 t/ha a 40 t/ha a u dávky střední 30 t/ha byl v době sklizně naopak nejlepší příjem z 1 zónové aplikace, dokonce ze všech sledovaných variant (graf č. 12)

Graf č. 12) Dynamika příjmu fosforu nadzemní biomasou kukuřice v roce 2019 (v sušině, 10. 9. = sklizeň)



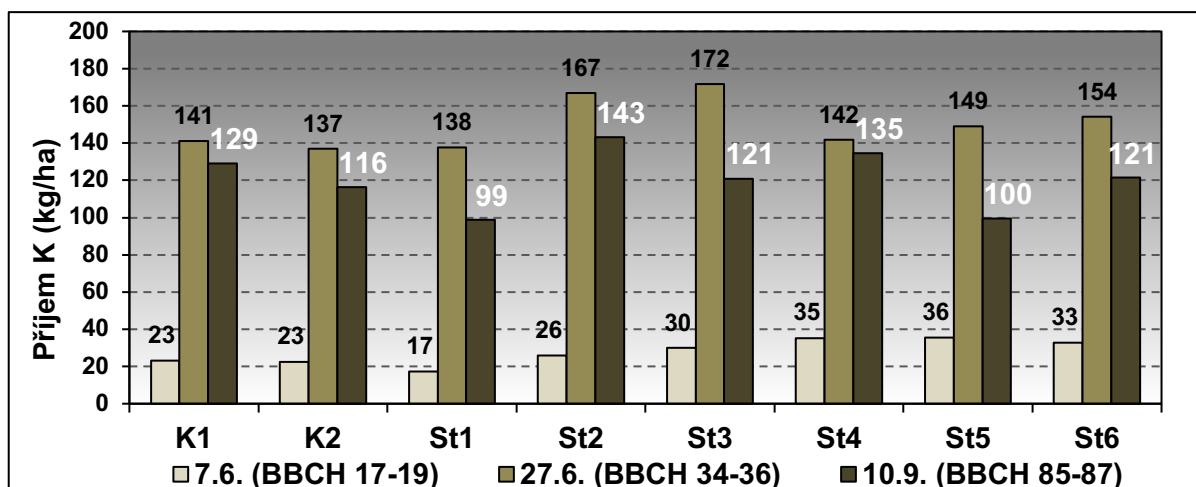
Pozn.: Popisky nad sloupci označují příjem fosforu (v kg/ha) v dané fázi (termínu), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

Rostliny ve výživě fosforem v roce 2018 v období vyvinutého 7. – 9. vykazovaly středně hluboký deficit ve srovnání s rokem 2019, které byly v mírném schodu až bez schodku s optimální úrovní výživy. Nadoptimální výživu fosforem druhého roku sledování dosáhly rostliny na půdě hnojené kejdou v dávce 20 a 30 t/ha v pásech. Hluboký nedostatek fosforu byl však již zjištěn po technologii pásového zpracování půdy ve variantě bez aplikace hnojiv do kypřených pásů, pouze předchozí plošná aplikace granulovaného hnojiva močovina na povrch půdy. V období tvorby 5. – 6. kolénka v roce 2018 výživa rostlin fosforem výrazně poklesla do hlubokého až velmi hlubokého deficitu, který přetrval až dokonce sklizňového období (10. 9). Tento stav výživy fosforem se v následujícím roce podobně opakoval. V období metání totiž obsah fosforu v rostlinách poklesl na všech variantách na hladinu hlubokého až středního deficitu. Nejlepší výživa fosforem byla v tuto dobu zjištěna po aplikaci střední dávky 30 t/ha do 1 zóny a vysoké dávky kejdy 40 t/ha do 2 zón kypřených pásů.

Příjem draslíku (K) nadzemní biomasou kukuřice v roce 2018 byl v podobném trendu s příjmem dusíku a fosforu (graf č. 13). Nejlépe se v příjmu draslíku kukuřicí projevila nižší 20 t/ha a střední 30 t/ha dávka kejdy prasat. Naopak nejnižší příjem draslíku ve sklizni (10. 9.) byl po plošném hnojení dusíkem v močovině a zapravení v pásech vyvíjeným kypřičem (St1). Nejvyšší příjem draslíku byla naopak po hnojení kejdou prasat v dávce 20 t/ha do rýh pásovým kypřením. Suché počasí a typicky aridní oblast v kontextu s hlinitou půdou spíše blokovala

příjem draslíku rostlinami, to zřejmě pro známou a účinnou fixaci labilního (vodorozpustného) podílu draslíku do mřížek jílových minerálů.

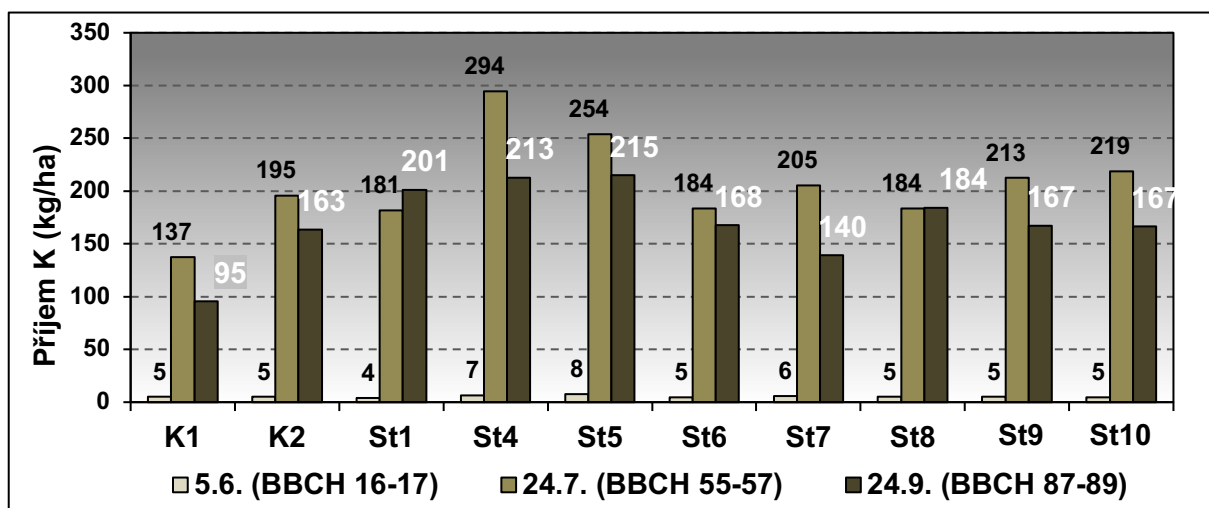
Graf č. 13: Dynamika příjmu draslíku nadzemní biomasou kukuřice v roce 2018 (v sušině, 10. 9. = sklizeň)



Pozn.: Popisky nad sloupci označují příjem draslíku (v kg/ha) v dané fázi (termínu), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

V roce 2019 na počátku vegetace byl příjem draslíku pozvolný, avšak již mírně vyšší u variant technologie pásového zpracování půdy s aplikací kejdy, zvláště v dávce 20 t/ha v 2 zónách a také v 1 zóně (St4 a St5), kde se mimojiné v tomto období příjem K vyskytoval nejvyšší i v době sklizně. Zcela nejnižší příjem draslíku během celé vegetace kukuřice byl na variantě současné technologie celoplošného zpracování půdy (K1) s aplikací dusíkatého hnojiva močovina. Rostliny ve srovnání s rokem 2018 trpěly vlivem letního sucha hlubokým deficitem draslíku a jeho příjem nadzemní biomasou byl v obou pokusných letech v období metání (v r. 2018 - 27.6. a v r. 2019 - 24. 7.) často vyšší, než v době sklizně. Právě v době sklizně byly obsahy draslíku v rostlinách ve velmi hlubokém deficitu. Nadzemní biomasa byla produkována v silném zředřovacím efektu u draslíku pro jeho velmi omezenou dostupnost v malém objemu půdního roztoku. (graf č. 14).

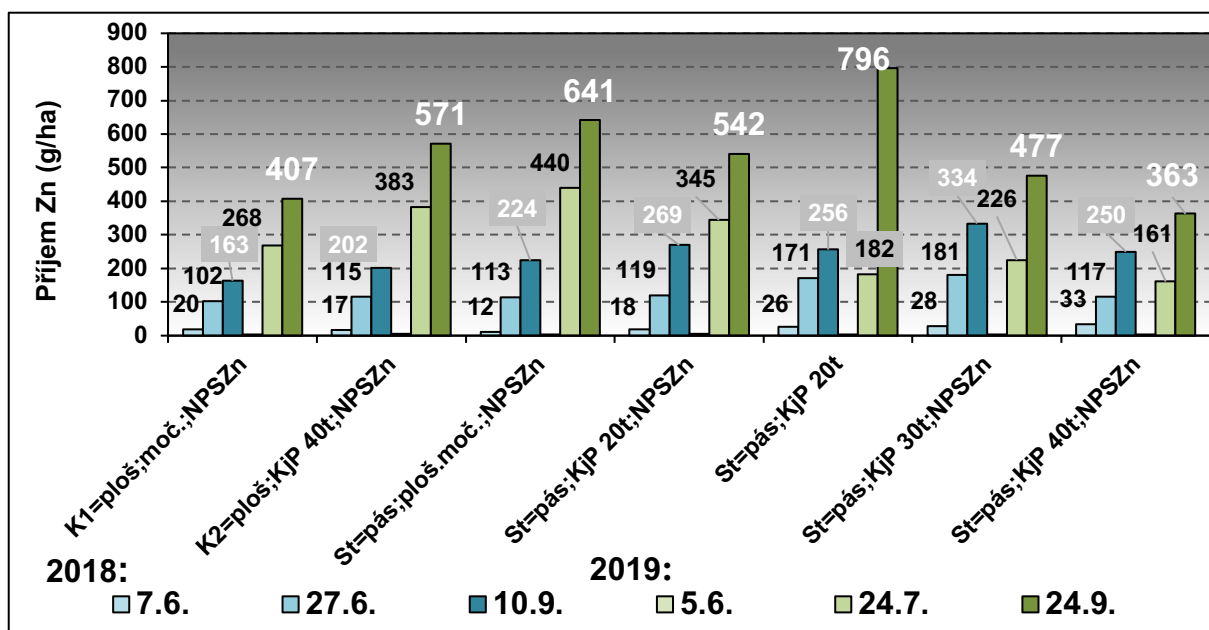
Graf č. 14: Dynamika příjmu draslíku nadzemní biomasou kukuřice v roce 2019 (v sušině, 24. 9. = sklizeň)



Výživný stav rostlin draslíkem v prvním roce sledování odpovídala z počátku vegetace optimální úroveň, obdobně jako v druhém roce monitoringu zásobování rostliny touto živinou, kdy byla výživa K zpravidla v optimu, tedy v mírném deficitu až bez deficitu. Střední deficit K byl u rostlin po aplikaci kejdy v dávce 20 t/ha bez podpory startovací dávky živin seřovou aplikací hnojiva Corn Starter (St6). V obou letech výživa draslíkem vykazovala velmi hluboké až střední deficity na všech variantách podobně jako výživa fosforem.

Příjem zinku (Zn), jakožto nejzásadnější živina ve výživě mikroprvky kukuřičí byl během vegetace v letech 2018 a 2019 výrazně rozdílný podle intenzity hnojení kejdou a nepoužité kombinace přídatku zinku v seřové dávce hnojivem Ultra Korn NPSZn (graf č. 15). Kejda prasat jako organické hnojivo je nejbohatším zdrojem mikroprvků, zvláště zinku. V roce 2018 z počátku vegetace byl nejlepší příjem zinku právě po aplikaci kejdou, zejména v hnojených pásů. Tato skutečnost se neprojevila v následjícím roce 2019, neboť zpočátku vegetace byl biologický příjem Zn rostlinami kolísavý, tedy nebyl po kejdě zjištěn lepší příjem zinku, vyjma v technologii plošné aplikace kejdy v dávce 40 t/ha s celoplošným zapravením (K2), kde příjem Zn přetrvával i do druhé poloviny vegetace. Dále pásové aplikace kejdy v dávce 20 t/ha (St5) na dno rýhy (1 zóny), zajišťovaly lepší příjem Zn rostlinami. V roce 2018 na konci vegetace v době sklizně byl příjem Zn nadzemní biomasou nejvyšší po dávce kejdy prasat 30 t/ha společně s aplikací hnojiva Ultra Korn (NPSZn) při seti, podobně tak i při dávce 20 t/ha. V roce 2019 při dávce 20 t/ha byl také zjištěn nejvyšší příjem Zn rostlinami, ale naopak bez seřové aplikace startovací výživy v hnojivu Corn Starter (NPSZn). Druhý nejvyšší příjem Zn stejného roku byl po pásovém zpracování půdy bez aplikace hnojiv do pásů, konkrétně močovina na povrch půdy s plošným zapravením hnojiva do 15 cm. Naopak nejnižší příjem zinku ve sklizni se projevila u rostlin pěstované po pásové aplikaci nejvyšší dávky 40 t/ha na dno pásů (St10). Nejméně přijímaly zinek rostliny pěstované v technologii celoplošného zpracování a hnojení minerálním hnojivem močovina v obou sledovaných letech (K1).

Graf č. 15: Dynamika příjmu zinku (g/ha) nadzemní biomasou kukuřice v roce 2018 a 2019 (v sušině, 10. 9. a 24.9. = sklizně)



Pozn.: Popisky nad sloupci označují příjem zinku (v g/ha) v dané fázi (termínu), označení variant a fenofáze termínu odběru viz metodika pokusu.

Výživa zinkem porostů kukuřice v prvním roce na počátku vegetace vykazovaly hluboký deficit, který setrval během celé vegetace. Nejlepší výživu zinkem na úrovni výživy 64 % optima vykazovaly rostliny po aplikaci nejvyšší dávky kejdy prasat 40 t/ha.

V roce 2019 výživa zinkem od počátku vývoje rostlin nadále setrvala do doby metání ve velmi hlubokém deficitu a zinek byl hlavním limitujícím prvkem výživy rostlin. Nejlepší výživa zinkem na úrovni 56 % optima byla dosažena pásovým zapravením hnojiva močoviny z povrch půdy (St1) a druhá nejlepší výživa zinkem na úrovni 51 % optima byla po celoplošné aplikaci kejdy v plošném zpracování půdy (K2). Aplikace kejdy do pásů ve vyvíjené technologii, nepodpořila přímo ani ve vysokých, lokálně koncentrovaných dávkách výživný stav rostlin zinkem. Aplikace kejdy však podpořila nárůst sušiny rostlin, ale zinek zůstal vlivem zředění (rychlého růstu) ve velmi hlubokém až hlubokém deficitu.

Výživný stav rostlin kukuřice ostatními sledovanými živinami byla podle roku rozdílná, taktéž stanoveny na základě optimálního obsahu prvku v sušině nadzemní biomasy v dosažené růstové fázi (viz metodika), zejména tedy výživa hořčíkem (Mg) a vápníkem (Ca). V období vyvinutého 7. – 9. listu rostlin kukuřice v roce 2018 byla výživa hořčíkem po současné technologii celoplošného zpracování s aplikací močoviny (K1) spolu se zinkem v hlubokém deficitu, kde výživa dusíkem byla na hranici optima podobně jako tomu bylo s draslíkem a vápníkem, vzápětí s mírným deficitem fosforu. Středně hluboký deficit hořčíku nastal v porostu na parcele s plošně aplikovaným hnojivem močovina zapravenou v pásech pásovým kypřičem. Výživa hořčíkem byla v této fázi růstu na všech variantách hluboce deficitní. Stejně tak v roce 2019 byla výživa hořčíkem na všech variantách nedostačující, převážně se pohybovala ve velmi hlubokém až hlubokém deficitu, výjimečně ve středním. Výživa vápníku byla v této fázi v obou letech u všech variant až v nadbytkovém optimu. V intenzivním růstu kukuřice ve vyvinutém 4. – 6. kolénku se projevil se suchem hluboký deficit hořčíku, zinku a draslíku, ale i hluboký až středně hluboký deficit dusíku a fosforu, důležitý pro počáteční rozvoj kořenového systému, a tím potenciálně lepším příjmem všech živin. Deficit draslíku, hořčíku a zinku vlivem sucha přetrvával na všech variantách pásové (St varianty) a současné technologie (K varianty). Slabě také poklesla výživa vápníkem, zejména na kejdou hnojených variantách v pásovém zpracování půdy.

5.3 Vliv konvenčního a lokálního zpracování a hnojení půdy na výnos a kvalitu zrna

Po sklizni hlavní plodiny kukuřice v pokusných letech 2018 a 2019 byla vyhodnocena výsledná produkce a kvalita zrna v technologii pásového zpracování a lokálního hnojení kejdou prasat v porovnání se současně používanou technologií celoplošného zpracování a hnojení půdy. Dále byl vyhodnocen vliv redukováného zpracování a hnojení půdy ve stupňovaných dávkách kejdy prasat na výnos zrna kukuřice podle hloubky uložení hnojiva v půdním profilu.

Souvislé zpracování půdy (K1) pozemku do hloubky 15 cm talířovým kypřičem a s aplikací minerálních hnojiv (močovina plošně rozmetadlem + Ultra Korn NPSZn secím strojem pod patu osiva) pro výsev širokořádkové kukuřice v roce 2018, dosáhla výnosu vlhkého zrna 7,44 t/ha s výnosem škrobu v zrna 4,64 t/ha a dusíkatých látek (NL) zrnem 0,66 t/ha a zároveň tento porost vykazoval nejmenším vzrůstem, co do délky rostlin v průměru 240 cm a počtem palic na rostlinu v průměru 0,83 ks/r. Výměnou minerálního hnojiva močovina za

organické hnojení kejdou (K2) z vlastní farmy výkrmu prasat v dávce 40 t/ha a její celoplošné zapravení do půdy, vykazovaly porosty kukuřice výnosu zrna o 4 % vyšší, škrobu a NL o 3 % ve srovnání s použitím minerálních hnojiv (K1).

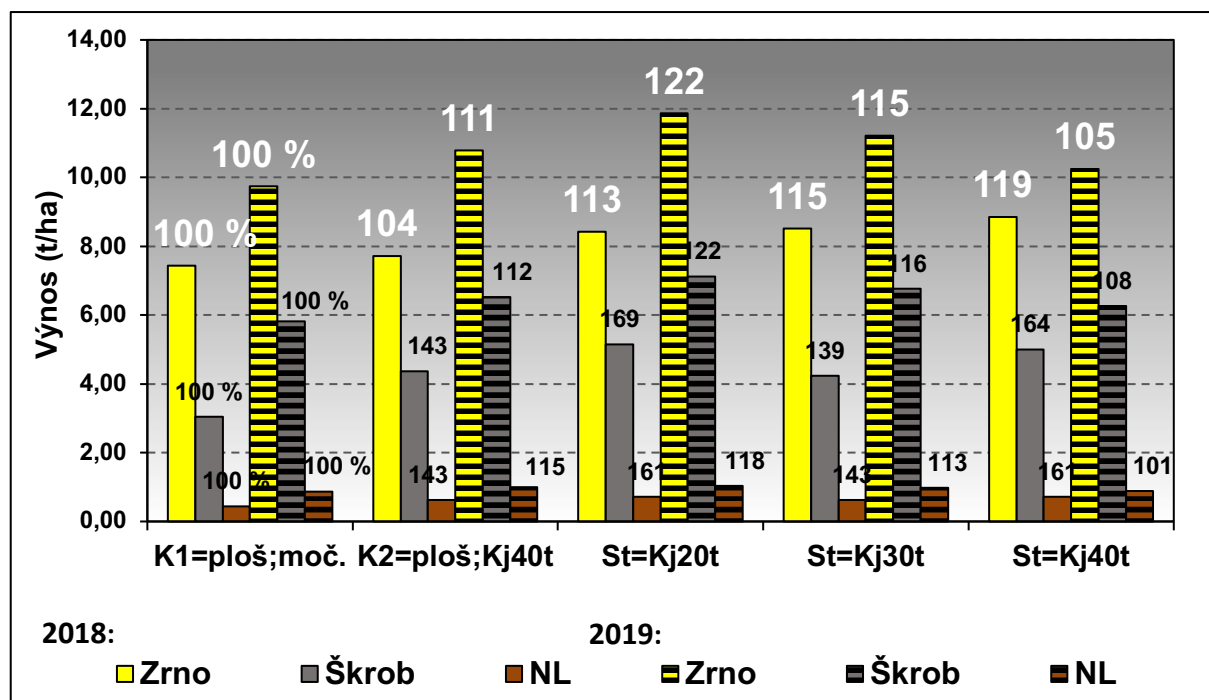
Redukované pásové zpracování půdy pouze s předchozí rozmetanou granulovanou močovinou (N-hnojivo) na povrch půdy (St1), zvýšila celkový výnos zrna a škrobu o 8 % a NL o 13 % oproti současné technologii (K1). Výnos a kvalita porostů kukuřice na pozemcích zcela prostorově redukovaného zpracování a hnojení kejdou prasat přímo do pásu půdního profilu se pozitivně zvýšila. Významný navýšení výnosu zrna nastalo již při dávce kejdy prasat 20 t/ha až o 13 % (8,42 t/ha), škrobu o 12 % (4,24 t/ha) a NL zrnem o 10 % (0,63 t/ha). Při této dávce kejdy bez aplikace startovací dávky živin v hnojivu Ultra Korn NPSZn (140 kg/ha) pod patu osiva při seti došlo k mírnému poklesu výnosu zrna a o 2 %, oproti ponechané aplikaci Ultra Korn pod patu (St3). Zatímco výnos zrna poklesl, kvalita zrna se snížila. Kvalita byla významně snížena především v porovnání současného konvečního postupu (K1) v podobě výnosu škrobu o 11% a NL o 2 %. Dávka kejdy ve výši 30 t/ha na dno zpracovaného pásu v kombinaci startovací výživy v hnojivu Ultra Korn (NPSZn) při seti (St4), prokázala navýšení výnosu zrna o 15 %, škrobu o 14 % a došlo ke zvýšení o 19 % výnosu dusíkatých látek v zrně oproti konvečně zpracované půdě (K1). Zároveň výnos NL při dávce kejdy 30 t/ha byl ze všech zkoušených variant nejvyšší.

Vynechání aplikace startovací výživy při seti (St5) po předchozí aplikaci kejdy prasat v dávce 30 t/ha do rýhy kypřeného pásu, se projevila mírným poklesem výnosu zrna o 2 %, dále také výnos škrobu o 2 % a téměř o 17 % výnosu NL v zrně, podobně jako po dávce kejdy 20 t/ha (St3) oproti variantě s aplikací startovací výživy pod patu osiva (St4). Při takové dávce kejdy na dno pásů se startovací výživou vykazovaly rostliny kukuřice jako druhé nejvyšší porost i přes jejich hmotnost zcela nejnižší ze všech variant oproti variantě bez startovací výživy, kde výška (délka) rostlin byla téměř stejná, ale hmotnost celých rostlin ze všech variant zcela nejvyšší (tab. č. 12). Po aplikaci nejvyšší testované dávky kejdy prasat 40 t/ha do rýh na dno pásu půdy (St6) se dostavil nejpozitivnější vliv na výnos zrna a škrobu ze všech variant pásového zpracování a uložení kejdy do zóny dna. Výnos zrna byl zjištěn až 8,86 t/ha, tedy o 19 % vyšší a výnos škrobu zrnem o 17 % vyšší, než po současné technologii celoplošného zpracování s plošným minerálním hnojením (K1). Výnos NL v zrně byl také vyšší, než po celoplošné technologii až o 17 %.

V druhém pokusném roce 2019 podobně jako v předchozím roce 2018, technologie redukovaného zpracování a lokální hnojení vykazovaly mírně až vysoce zvýšené výnosy zrna kukuřice, včetně nutričních látek, zejména škrob a dusíkaté látky (NL), než konveční postupy pěstování kukuřice na zrno. Konveční souvislé zpracování půdy (K1) s předchozí aplikací minerálního dusíkatého hnojiva močovina, jako základní dávky dusíku (150 kg N/ha) poskytlo výnos vlhkého zrna 9,74 t/ha s výnosem škrobu 5,82 t/ha a 0,87 t/ha NL v zrně. Modifikace hnojení močovinou výměnou za kejdu prasat v dávce 40 t/ha s celoplošným zapravením (K2), zvýšila výnos o 11 %, tj. 10,78 t/ha. Po pásovém zpracování plošně rozptýlené močoviny rozmetadlem na povrch půdy byl dosažen výnos zrna 11,34 t/ha. Aplikace kejdy prasat v dávce 20 t/ha (St5) a její uložení na dno pásu (1 zóny), včetně set'ové výživy NPSZn, bylo zjištěno zvýšení výnosu zrna na 11,87 t/ha (tab. č.13). Avšak výnos zrna nebyl v souladu s největší hmotností rostlin, s nejvyšším počtem řad v palici a hmotností tisíce zrn (HTZ) kukuřice ze všech zkoušených variant v pokusu. Zatímco na podvariantě stejné dávky kejdy (20 t/ha) již

bez startovací dávky v minerálním hnojivu Corn Starter NPSZn při seti pod patu (St6) a zároveň jedno s nejnižším počtem palic na rostlinu (1,2 ks/r) byl dosažen naopak rekordní výnos zrna 12,39 t/ha ze všech variant uložení kejdy do 1 zóny půdního profilu, včetně kontrolních, konvečních postupů. Na této variantě byl dosažen nejvyšší výnos zrna o 22 % vyšší a kvalita produkce, co do výnosu škrobu o 22 % a NL o 18 % vyšší, než konvenčním postupem aplikace močoviny na povrch půdy (K1). Při dávce 30 t kejdy na 1 ha na dno kypřených pásů ponecháním aplikace Corn Starter při seti (St8) došlo k poklesu výnosu zrna na 11,21 t/ha, výnosu škrobu na 16 % a NL na 13 % v porovnání s nejnižší dávkou 20 t/ha oproti konvečnímu postupu pěstování (K1). Po aplikaci nejvyšší dávky kejdy 40 t/ha došlo k nejnižšímu výnosu zrna na lokálně zpracovaných a hnojených pozemcích, 10,25 t/ha zrna spolu s nejnižší kvalitou, co do výnosu škrobu pouze o 8 % a NL o 1 % vyšší, než po aplikaci močoviny celoplošně zapravené (K1) taliřovým kypříčem (graf č. 16.)

Graf č. 16: Výnos vlhkého kukuřičného zrna, škrobu a dusíkatých látek (NL) v technologii lokálního zpracování a hnojení půdy v porovnání s konvečními postupy v jednotlivých letech (1 zóna, vždy se startovací výživou NPSZn pod patu při seti)



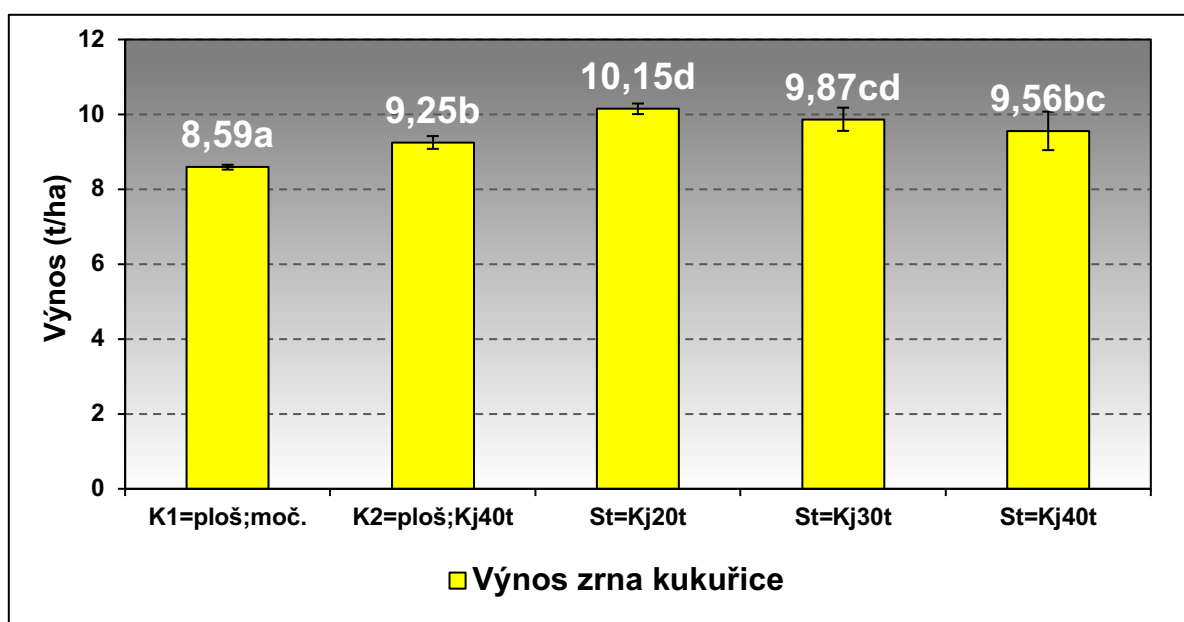
Pozn.: Popisky nad sloupci označují % rozdíl hmotnosti vůči současné technologii celoplošného zpracování půdy (K1) v jednotlivých letech, označení variant viz metodika pokusu.

Enviromentálně nevyhovující konveční technologie celoplošného taliřového zpracování půdy s přecházející plošnou aplikací minerálního hnojiva močovina (330 kg) v dávce 150 kg N/ha pro kukuřici vykazovala výnos zrna v průměru 8,59 t/ha za rok 2018 a 2019. Zjištěné rozdíly ve výnosu zrna za příslušné roky byl statisticky průkazný na hladině významnosti $p < 0,05$. Hnojení tekutým organickým hnojivem kejdou prasat na povrch půdy s celoplošným taliřovým zapravením v dávce 40 t/ha a s celkovým přívodem dusíku 164 kg/ha bylo dosaženo zvýšení výnosu zrna v průměru o 8 % na 9,25 t/ha. Rozdíl ve výnosu zrna mezi konvenčními technologiemi K1 a K2 byl statisticky průkazný.

Cílené lokální uložení kejdy na dno kypřených pásů v dávce 20 t/ha s celkovým přívodem 82 kg N/ha byl výnos zvýšen v průměru o 18 % na 10,15 t/ha oproti konveční technologii (K1). Rozdíl ve výnosu zrna mezi současnou technologií K1, včetně K2 a vyvíjenou pásovou

technologii zpracování a hnojení půdy kejdou v dávce 20 t/ha na dno půdního profilu kypřeného pásu, byl statisticky významný. Navýšení celkového přívodu dusíku na 123 kg v dávce kejdy 30 t/ha na dno pásu bylo dosaženo mírnějšího poklesu výnosu, než při aplikaci nejnižší testované dávky kejdy 20 t/ha, ale stále o 15 % vyšší výnos zrna, tj. v průměru o 1,28 t/ha více (na 9,87 t/ha), než při celoplošném zpracování a hnojení půdy minerální močovinou (K1). Nejnižší vliv na výnos zrna kukuřice pěstované na lokálně zpracované hnojené půdy, byla aplikace nejvyšší dávky kejdy prasat 40 t/ha. Nejvyšší dávka v porovnání s nejnižší dávkou kejdy prasat, se na výnosu kukuřičného zrna projevila poklesem o 6 %, tj. v průměru o 0,59 t/ha méně. Aplikace kejdy v dávce 40 t/ha na dno kypřeného pásu stále poskytovala vyšší výnos kukuřičného zrna o 11 % vyšší (0,97 t/ha), než konveční systém pěstování kukuřice (K1), tedy s celkovým výnosem zrna v průměru 9,56 t/ha za roky 2018 a 2019. V technologii pásového zpracování a lokálním hnojením kejdou prasat z vlastní farmy Hlubočany zemědělského podniku Rostěnice a.s. na dno (do 1 zóny) kypřeného pásu s aplikací startovací výživy v minerálním hnojivu NPSZn v dávce 140 kg/ha při setí pod patu, nebyl za roky 2018 a 2019 statisticky průkazný rozdíl ve výnosu zrna kukuřice (graf č. 17).

Graf č. 17: Průměrný výnos zrna kukuřice za rok 2018 a 2019 (při 14 % vlhkosti)



Pozn.: Sloupce označené odlišnými písmeny vykazují statisticky průkazné rozdíly na hladině významnosti $p < 0,05$ (ANOVA, Fisherův LSD test).

Tab. č. 12: Struktura porostu a výnosotvorné prvky kukuřice dle volby technologie zpracování a hnojení půdy v roce 2018

| Varianta vývoje | pořadí | Výnos při 14 % (t/ha) | Hustota porostu | Délka rostlin cm | Palice ks/rostlina | Hmotnost č. h. | | Palice | | HTZ g |
|--------------------------|--------|--------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|-----------------|----------|
| | | | | | | celá rostlina g | odlistěná palice g | řady zrn ks | zrn/ řada ks | |
| | | | | | | tis. ks/ha | cm | ks/rostlina | g | |
| K1=ploš;močov;NPSZn | 8. | 7,44 | 61,6 | 235-245 | 0,83 | 256 | 130±33 | 16,7±1,5 | 27±6 | 251±21 |
| K2=ploš;KjP;40t;NPSZn | 7. | 7,72 | 73,7 | 230-250 | 0,96 | 236 | 127±44 | 16,8±2,0 | 28±7 | 216±7 |
| St1=pás;ploš=močov;NPSZn | 6. | 8,04 | 78,4 | 245-250 | 1,00 | 216 | 115±32 | 17,4±1,2 | 27±5 | 210±6 |
| St2=pás;KjP;20t;NPSZn | 3. | 8,42 | 79,1 | 240-250 | 0,95 | 234 | 137±37 | 17,5±1,3 | 29±4 | 247±29 |
| St3=pás;KjP;20t | 5. | 8,29 | 71,0 | 230-250 | 0,92 | 248 | 142±50 | 16,9±1,9 | 29±6 | 237±6 |
| St4=pás;KjP;30t;NPSZn | 2. | 8,52 | 74,4 | 250-260 | 0,95 | 230 | 120±28 | 17,1±1,5 | 28±5 | 220±4 |
| St5=pás;KjP;30t | 4. | 8,39 | 71,7 | 240-260 | 0,94 | 296 | 135±38 | 17,8±1,6 | 28±5 | 234±10 |
| St6=pás;KjP;40t;NPSZn | 1. | 8,86 | 58,3 | 230-260 | 1,11 | 268 | 155±43 | 17,5±1,6 | 32±5 | 241±22 |

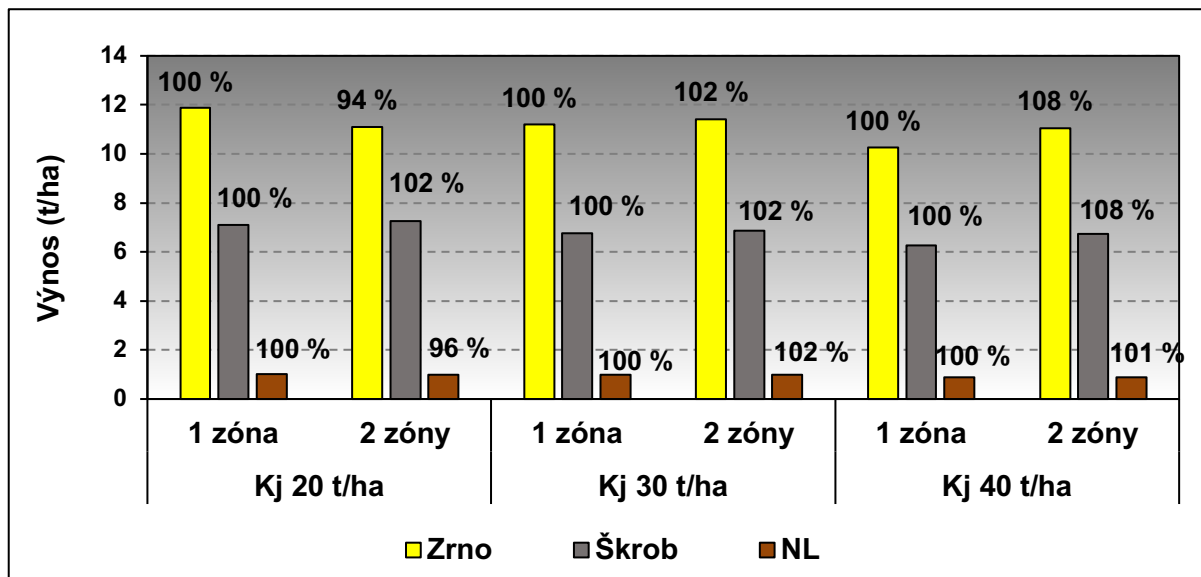
Tab. č. 13: Struktura porostu a výnosotvorné prvky kukuřice dle volby technologie zpracování a hnojení půdy v roce 2019

| Varianta (hloubka) | pořadí | Výnos při 14 % (t/ha) | Hustota porostu tis. ks/ha | Délka rostlin cm | Palice ks/rostlina | Hmotnost č. h. | | Palice | | HTZ g |
|------------------------------|--------|--------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| | | | | | | celá rostlina g | odlistěná palice g | řady zrn ks | zrn/ řada ks | |
| | | | | | | tis. ks/ha | cm | ks/rostlina | g | |
| K1=ploš;močov;NPSZn | 10. | 9,74 | 75 | 265±7 | 1,0 | 650 | 262±24 | 14,0±1,0 | 36±2 | 494±3 |
| K2=ploš;KjP;40t;NPSZn | 8. | 10,78 | 77 | 275±14 | 1,2 | 882 | 284±40 | 14,7±1,0 | 33±3 | 495±4 |
| St1=pás;ploš=močov;NPSZn | 4. | 11,34 | 79 | 262±16 | 1,4 | 916 | 300±50 | 15,0±1,1 | 33±4 | 521±6 |
| St4=pás;KjP;20t;NPSZn;2 zóny | 6. | 11,10 | 81 | 270±28 | 1,3 | 844 | 263±86 | 15,0±1,3 | 32±8 | 445±4 |
| St5=pás;KjP;20t;NPSZn | 2. | 11,87 | 83 | 267±19 | 1,3 | 964 | 281±65 | 15,2±1,0 | 33±6 | 508±1 |
| St6=pás;KjP;20t | 1. | 12,39 | 84 | 273±11 | 1,2 | 900 | 247±110 | 14,6±2,5 | 28±11 | 500±3 |
| St7=pás;KjP;30t;NPSZn;2 zóny | 3. | 11,41 | 81 | 270±14 | 1,0 | 792 | 298±48 | 15,1±1,1 | 35±3 | 497±4 |
| St8=pás;KjP;30t;NPSZn | 5. | 11,21 | 79 | 260±14 | 1,4 | 768 | 245±78 | 15,2±2,0 | 31±7 | 390±0 |
| St9=pás;KjP;40t;NPSZn;2 zóny | 7. | 11,05 | 73 | 270±14 | 1,4 | 898 | 265±105 | 13,8±2,5 | 32±11 | 503±2 |
| St10=pás;KjP;40t;NPSZn | 9. | 10,25 | 76 | 265±7 | 1,2 | 834 | 296±46 | 15,6±1,3 | 34±6 | 488±1 |

5.3.1 Vliv stupňovaných dávek a lokality uložení kejdy prasat v půdě na výnos zrna

Technologie pásového zpracování půdy v roce 2019, resp. pásový kypřič, disponoval inovací funkce uložení tekutého statkového hnojiva kejdy prasat do 1 nebo 2 zón, tj. cílené hnojení do hluboké (1 zóny 20 - 25 cm, na dno) a mělké (2 zóny 5 - 10 cm) zóny kypřených pásů. Uložení kejdy bylo provedeno při hloubce kypření 23 cm do hloubky v průměru 20 cm (hluboká zóna) a do hloubky 10 cm (mělká zóna). Zóna uložení kejdy do kypřených pásů působila na výnos a kvalitu rozdílně podle intenzity dávky. Nejnižší, v praxi často využívaná dávka kejdy 20 t/ha vykazovala při uložení rozvrstveném v profilu kypřených pásů (aplikaci do 2 zón) pokles výnosu z 11,87 na 11,10 t/ha, tedy o více než 6 % v srovnání po aplikaci do hlubokého depa (do 1 zóny) na dno zpracovaných pásů. Po aplikaci střední dávky kejdy 30 t/ha rozvrstveně do 2 zón byl zjištěn mírný nárůst výnosu zrna z 11,21 na 11,41 t/ha, tedy o 2 %, oproti uložení do 1 zóny hlubokého depa. Rozdíl ve výnosu zrna podle uložení dávky kejdy 30 t/ha do profilu pásů byl zanedbatelný. Naopak významný rozdíl ve výnosu zrna byl po aplikaci vysoké, nejvyšší testované dávky kejdy 40 t/ha. Uložení kejdy rozvrstveně v profilu kypřených pásů do 2 zón poskytlo zvýšení výnosu zrna z 10,25 na 11,05 t/ha, tj. o 8 % spolu s nejvyšším výnosem škrobu také o 8 %, oproti uložení kejdy na dno kypřených pásů do hlubokého depa. Výnos škrobu a dusíkatých látek (NL), tedy kvalita zrna se v závislosti na lokalizaci uložení kejdy prasat v kypřeném pásu, nikterak výrazně nezměnila, v případě uložení kejdy rozvrstveně do 2 zón spíše zanedbatelně zlepšila (graf č. 18)

Graf č. 18. Vliv lokalizace uložení kejdy prasat v kypřených pásech půdy na výnos a kvalitu zrna kukuřice v roce 2019 (dovyvinutá nadstavba inovace hnojení)



5.4 Odběr živin sklizní z konvenčních a lokálních postupů pěstování

Kukuřice je obilovina vytvářející velké množství nadzemní biomasy s velkou produkcí generativních orgánů (tj. palic), rovněž poskytuje největší výnosy zrna z pěstovaných obilovin v ČR a spolu s tím koresponduje i nejvyšší odběr živin sklizní ze zemědělské půdy. Uvedené varianty zpracování a hnojení půdy v tab. č. 14 jsou vždy s aplikací minerálního granulovaného hnojiva Ultra Korn v roce 2018 a Corn Starter v roce 2019 (NPSZn) pod patu osiva při setí,

jako startovací výživa při pěstování kukuřice. Redukované zpracování a lokální hnojení kejdy prasat se na odběr živin v zrna sklizni projevilo pozitivně vyšší za oba pěstební roky 2018 a 2019. Po souvislém zpracování a hnojení půdy minerálním dusíkatým hnojivem močovina (K1) v roce 2018 si rostliny s výnosem 7,44 t/ha zrna kukuřice na 1 tunu zrna odebraly a uložily do zásobních látek 19,4 kg dusíku (N), 3,2 kg fosforu (P), 4,6 kg draslíku (K), 2,3 kg vápníku (Ca), 1,1 kg hořčíku (Mg) a 230 g zinku (Zn). Po modifikaci celoplošného hnojení aplikací kejdy prasat v dávce 40 t/ha (K2), tzv. hadicovým aplikátorem na povrch půdy a její plošně zapravení do hloubky 15 cm talířovým kypřičem, došlo k mírnému poklesu odběru dusíku (o 0,2 kg N/t zrna), ale odběr ostatních živin aplikace kejdy naopak podpořila oproti plošnému hnojení a zapravení močoviny (K1), zvláště fosforu (3,8 kg/t) a hořčíku (1,4 kg/t), kde jejich obsah v zrně bylo ze všech sledovaných variant nejvíce. K druhému nejvyššímu odběru živin sklizni, lze zařadit pěstování kukuřice po plošně aplikované a zapravené kejdy (40 t/ha) prasat (K2). Aplikace tekuté kejdy účelně do kypřených pásů v různých dávkách do 1 zóny půdního profilu se projevila pozitivně na nutriční hodnotě sklizené produkce ve všech variantách pěstování ve srovnání s technologií souvislého zpracování a hnojení močovinou (K1). Nejvyšší odběr všech sledovaných živin sklizni zrna ze všech postupů zpracování a hnojení půdy, byl zaznamenán po aplikaci střední testované dávky kejdy 30 t/ha, s druhým nejvyšším výnosem 8,52 t/ha zrna v roce 2018. Zde nastal odběr dusíku sklizni zrna o 4 % vyšší, tj. o 0,73 kg N/t, dále také žádoucí navýšení odběru fosforu o téměř 11 % tj. o 0,34 kg/ha, o 10 % draslíku, tj. o 0,45 kg K/ha v porovnání s celoplošným mělkým zapravením močoviny z povrchu půdy (K1). Nejnižší a nejvyšší dávka kejdy prasat na dno kypřených pásů se v obou případech projevila poklesem odběru N zrnem sklizni. Při těchto dávkách kejdy došlo ke snížení o 4 % N na tunu zrna, odběr fosforu, draslíku, hořčíku byl zjištěn zanedbatelně vyšší.

Tab. č. 14: Odběr živin sklizni zrna kukuřice podle technologie zpracování a hnojení půdy za rok 2018 (ve 100 % sušině; NPSZn pod patu při seti; 1 zóna uložení kejdy prasat = KjP)

| Varianta | Odběr | N | P | K | Ca | Mg | Zn |
|-----------------------------|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| K1= plošně; moč. | celkem kg/ha | 222,7 | 28,3 | 129,0 | 42,4 | 17,7 | 0,163 |
| | zrno kg/ha | 124,0 | 20,2 | 29,2 | 15,0 | 7,3 | 0,148 |
| | zrno kg/t | 19,4 | 3,2 | 4,6 | 2,3 | 1,1 | 0,023 |
| K2 = plošně; KjP 40t | celkem kg/ha | 183,1 | 24,7 | 116,3 | 43,6 | 14,5 | 0,202 |
| | zrno kg/ha | 127,4 | 25,5 | 34,0 | 15,5 | 9,3 | 0,158 |
| | zrno kg/t | 19,2 | 3,8 | 5,1 | 2,3 | 1,4 | 0,024 |
| St = pásově; KjP 20t | celkem kg/ha | 241,7 | 35,4 | 143,2 | 41,6 | 21,6 | 0,270 |
| | zrno kg/ha | 135,6 | 23,6 | 32,9 | 16,9 | 8,4 | 0,149 |
| | zrno kg/t | 18,7 | 3,3 | 4,5 | 2,3 | 1,2 | 0,021 |
| St = pásově; KjP 30t | celkem kg/ha | 220,0 | 31,7 | 134,5 | 50,6 | 17,4 | 0,334 |
| | zrno kg/ha | 147,2 | 25,6 | 36,7 | 17,1 | 9,4 | 0,182 |
| | zrno kg/t | 20,1 | 3,5 | 5,0 | 2,3 | 1,3 | 0,025 |
| St = pásově; KjP 40t | celkem kg/ha | 241,0 | 37,5 | 121,4 | 41,1 | 21,4 | 0,250 |
| | zrno kg/ha | 143,4 | 25,7 | 35,5 | 17,8 | 8,9 | 0,160 |
| | zrno kg/t | 18,8 | 3,4 | 4,7 | 2,3 | 1,2 | 0,021 |

V roce 2019 došlo k celkovému poklesu odběru všech živin sklizní zrna kukuřice. Stejně jako v předchozím roce pěstování kukuřice, došlo ke zlepšení především v lokálně zpracovaných a hnojených půdách (do 1 zóny kypřených pásů), včetně aplikace minerální startovací výživy NPSZn (Corn Starter) pod patu při setí. Po celoplošné aplikaci minerálního dusíkatého hnojiva močoviny (K1) a její mělké zapravení do půdy mělo za následek jeden z nejvyšších odběrů dusíku 16,6 kg na 1 tunu sklizeného zrna, ale fosforu (2,3 kg/t), draslíku (3,2 kg) a hořčíku (0,96 kg/t) nejméně ze všech variant zpracování a hnojení půdy v roce 2019 uvedené v tab. č. 15. Záměnou plošné aplikace minerální močoviny (K1) za plošnou aplikaci organické kejdy prasat v dávce 40 t/ha na povrch půdy a její následné mělké zapravení (K2), způsobilo zvýšení obsahu živin v zrna kukuřice. Zde došlo především k nejvyššímu odběru dusíku (17,3 kg/t) a důležitého mikroprvku zinku 230 g/t zrna sklizní.

Lokální zpracování půdy a hnojení stupňovanou dávkou kejdy (20 – 30 – 40 t/ha) byl zjištěn pokles odběru dusíku v průměru o 3 % (tj. 0,49 kg/t) v porovnání s celoplošným postupem zpracování a hnojení půdy (K1). Aplikace kejdy do kypřených pásů však významně zvýšila odběr ostatních důležitých živin. Při aplikaci střední dávky kejdy 30 t/ha na dno kypřených pásů byl zjištěn odběr fosforu o více než 21 % (tj. 0,5 kg/t) vyšší, než celoplošný postup aplikace hnojiva močoviny na povrch půdy (K1), dále také o 6 % draslíku a zanedbatelně vyšší odběr hořčíku. Odběr zinku v zrna sklizní byl v roce 2019 nejmenší na půdách lokálně zpracované a hnojené na dno půdního profilu kypřených pěstebních pásů kukuřice. Při aplikaci nejvyšší testované dávky 40 t/ha došlo dokonce k nejnižšímu odběru dusíku 15,97 kg/t a zinku 180 g na 1 tunu zrna sklizní ze všech technologií zpracování a hnojení stanovišť.

Tab. č. 15: Odběr živin sklizní zrna kukuřice podle technologie zpracování a hnojení půdy za rok 2019 (ve 100 % sušiny; NPSZn pod patu při setí; 1 zóna uložení kejdy prasat = KjP)

| Varianta | Odběr | N | P | K | Ca | Mg | Zn |
|-------------------------------------|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| K1 = plošně; moč. | celkem kg/ha | 231,2 | 31,2 | 95,4 | 40,4 | 27,5 | 407,4 |
| | zrno kg/ha | 139,4 | 19,3 | 26,8 | 1,8 | 8,0 | 1,9 |
| | zrno kg/t | 16,6 | 2,3 | 3,2 | 0,2 | 1,0 | 0,2 |
| K2 = plošně; KjP 40t | celkem kg/ha | 343,0 | 48,2 | 163,5 | 61,6 | 37,5 | 570,8 |
| | zrno kg/ha | 144,7 | 20,9 | 27,6 | 1,8 | 8,4 | 1,9 |
| | zrno kg/t | 17,3 | 2,5 | 3,3 | 0,2 | 1,0 | 0,2 |
| St = pásově; KjP 20t | celkem kg/ha | 399,5 | 51,4 | 214,9 | 54,5 | 33,3 | 541,7 |
| | zrno kg/ha | 135,4 | 20,1 | 25,1 | 1,8 | 8,0 | 1,5 |
| | zrno kg/t | 16,2 | 2,4 | 3,0 | 0,2 | 1,0 | 0,2 |
| St = pásově; KjP 30t | celkem kg/ha | 444,0 | 69,1 | 184,2 | 49,3 | 36,2 | 476,9 |
| | zrno kg/ha | 136,7 | 23,5 | 28,5 | 1,8 | 9,2 | 1,6 |
| | zrno kg/t | 16,3 | 2,8 | 3,4 | 0,2 | 1,1 | 0,2 |
| St = pásově; KjP 40t | celkem kg/ha | 336,3 | 47,7 | 166,8 | 53,0 | 29,1 | 362,8 |
| | zrno kg/ha | 133,8 | 23,5 | 28,5 | 1,8 | 9,2 | 1,5 |
| | zrno kg/t | 16,0 | 2,8 | 3,4 | 0,2 | 1,1 | 0,2 |

6 DISKUZE

Sledování změn obsahu $N_{\min.}$ v půdě, výživného stavu rostlin a výsledný výnos a kvalita pěstované kukuřice za účelem produkce zrna byl uskutečněn v rámci agroekologického monitoru poloprovozních pokusů zemědělského družstva Rostěnice a. s. v letech 2018 a 2019. Dvouletý monitoring probíhal v rámci projektu vývoje nové komplexní technologie pěstování zrnové kukuřice a vývoje pěstební technologie s účinným ochranným vlivem na půdu (meziplodna) vůči erozi, neproduktivnímu výparu vláh a zhutnění půdního profilu. Tato technologie se souborem ochranných vlivů na půdu byla vyvinuta společně s technologií profilového hnojení půd do rýh (pásů) kejdou prasat z vlastní farmy Hlubočany, které mělo zamezit ztráty na živinách, a tím i jejich lepší využití rostlinami, dále také zamezit znečištění životního prostředí únikem nitrátů do spodních vod a úniku pachového znečištění. Polní pokusy za účelem vývoje pásového zpracování a zonálního hnojení kejdou do 1 zóny (hluboké, na dno) a do 2 zón (mělké) půdního profilu bylo porovnáváno s enviromentálně nevyhovujícími konvečními postupy celoplošného zpracování a hnojení půdy.

Poloprovozní pokusy za účelem sledování změn obsahu $N_{\min.}$ v půdě, výživný stav rostlin, výnos a kvality produkce zrna kukuřice pěstované v technologii lokálního zpracování a hnojení v porovnání se současným celoplošným zpracování a hnojení půdy byly sledovány převážně na identických stanovištích. V roce 2018 představovaly plochu téměř 4,5 ha rozdělené na 8 dílčích parcel, z toho celkem 2 konvečně zpracované a hnojené a s celkem 6 parcelkami redukovaného zpracování a hnojení půdy stupňovanou dávkou kejdy prasat uluženou na dno vytvořených pásů (1 zóna) a opakování v roce 2019 s rozšířením o uložení kejdy do 2 zón půdního profilu s celkovou výměrou 5,4 ha. Na reprezentativní ploše byly odebrány vzorky zemin a rostlin vždy ve stejné denní době a ve stejném odběrovém bodu. Tento způsob monitoringu výživy rostlin popisuje také Baier a Baierová (1985); Baier a kol. (1988); Zimolka a kol. (2008). Interpretace výsledků touto diplomovou prací bylo dosaženo podle základních aspektů výše uvedených autorů a pracovních postupů pod vedením výzkumné instituce AGROEKO Žamberk s.r.o.

Rok 2018 podle inoformací o průběhu počasí nejbližší a veřejně dostupné meteorologické stanice Brno – Tuřany evidovány českým meteorologickým ústavem, byl pro vegetaci méně příznivý, avšak bylo dosaženo uspokojivých výnosů zrna, zvláště ve vyvíjené technologii pásového kypření a hnojení půdy kejdou prasat. Počasí v průběhu vegetace v roce 2019 bylo významně příznivější, zejména ve vydatnosti srážek v době intenzivního růstu, tedy doby s nezbytnou dávkou vláh pro intenzivní příjem živin, a tím tvorbu nadzemní biomasy. Srážek (v mm) v tomto roce ve srovnání s předchozím méně příznivým ročníkem, bylo dostatek během celé vegetace a to se významně projevilo na výnose a kvalitě zrna kukuřice. Rekordní výnos (8,86 t/ha) kukuřičného zrna v roce 2018 došlo po aplikaci nejvyšší dávky kejdy prasat 40 t/ha do 1 zóny kypřených pásů se startovací výživou v minerálním hnojivu Corn Starter pod patu při setí. Ve srážkově příznivějším ročníku 2019 bylo rekordního výnosu zrna dosaženo naopak po aplikaci nejnižší dávky kejdy 20 t/ha s vynechávkou minerálního hnojení pod patu při setí (12,39 t/ha), zatímco dávka kejdy 40 t/ha rovněž do 1 zóny pásů s hnojivem Corn Starter pod patu při setí se na výnosu projevila nejhůře, srovnatelně s variantou celoplošného zpracování a předchozím hnojení půdy rozmetáním dusíkatého hnojiva močovina na povrch půdy.

Z výsledků je patrné, že obsah minerálního dusíku ($N_{\min.}$) v půdě se měnil v závislosti na lokalizaci v prostoru řádků a meziřádků v porostu kukuřice, a také především v ročníku pěstování 2018 a 2019. Na obsah $N_{\min.}$ v půdě a na jeho celkové dynamice změn se během vegetace podílel průběh počasí v příslušném roce, forma, dávka a lokalizace uložení hnojiva v půdním profilu pěstované plodiny. Na jaře v roce 2018 před zpracováním půdy, kde se účelně náchazel pokrýv vyvrzající meziplodiny hořice seté, disponovalo stanoviště velmi dobrou zásobou $N_{\min.}$ v půdě. V počátečním období růstu (BBCH 17 – 19) byly na všech variantách zpracování a hnojení půdy zjištěny velmi dobré až nadoptimální, luxusní obsahy $N_{\min.}$ v půdě, které rostliny kukuřice dokázaly v průběhu celé vegetace až do konce sklizně (BBCH 85 – 87) odčerpat a využít pro tvorbu fytohmoty. Domnívám se, že vysoké obsahy $N_{\min.}$ v půdě před zpracováním půdy byly v důsledku intenzivnější mineralizace mrazem narušené organické hmoty a zvýšená mikrobiální aktivita mineralizačních bakterií, které při zámrazu bývají zcela neaktivní. Z výsledků je dále patrné, že hypotéza prostorové variability obsahu $N_{\min.}$ v půdě mezi kypřeným (zpracovaným) řádkem a nezpracovaným (přirozeně tvrdým) meziřádkem je potvrzena, nejen vlivem volby technologie zpracování půdy, ale také použitého hnojiva. Obsah $N_{\min.}$ v půdě po současné technologii souvislého zpracování a předcházejícím dusíkatým minerálním hnojením močovinou (150 kg N/ha) na povrch půdy (K1), dosahoval na počátku vegetace (BBCH 17 – 19) nadoptimální zásoby, které byly během vegetace rostlinami odebrány, podobně jako po aplikaci kejdy (40 t/ha) na povrch půdy s celoplošným zapravením (K2). Zatímco po aplikaci močoviny s následným zapravením v pásech pásovým kypřičem tyto obsahy rostliny nedokázaly odčerpat a sestřávaly až do konce sklizně. Aplikovaný dusík (150 kg/ha) v močovině plošně před pásovým kypřením nebyl rostlinami dostatečně přijímán během celé vegetace. Mimo tohoto efektu se domnívám, že mohlo také dojít ke ztrátě dusíku z močoviny v prostorech nezpracovaných meziřádků/mezipásů těkáním amoniaku (volitalizace NH_3) a elementárního dusíku (denitrifikace N_2) do ovzduší nebo v případě vydatnějších srážek k vyplavení z povrchu půdy a ohrozit tak životní prostředí znečištěním vodních toků dusičnany, než v případě, kdyby hnojivo močovina byla aplikována přímo do kypřeného pásu. Autoři Bielek (1984) a Baier a Baierová (1985) potvrzují ztráty N volitalizací v podobě NH_3 a autoři Lošák a kol. (2014) doplňují, že NH_3 iont znečišťuje ovzduší, může reagovat se sloučeninami síry a také má vliv na vznik skleníkového efektu. Vaněk (1997) uvádí kromě volitalizace i ztráty a znečištění ovzduší procesem denitrifikace N_2 díky přítomnosti vysokého obsahu nitrátů, které na stanovišti byly zjištěny. Dále uvádí, že tento proces má za následek významné snížení efektivnosti použitých minerálních hnojiv, zvláště potom koncem vegetace a v mimovegetačním období. Gupta a kol. (2011) doplňuje, že fakultativní anaerobní bakterie vznikající denitrifikaci, využívají nitráty k dýchání místo kyslíku v podmínkách nedostatečného vzdušného režimu a vysokých hodnotách pH. Tato vlastnost následně vede ke snížení jeho obsahu v půdě, jenž dále vede k tvorbě dusitanů, oxidu dusnatého a na závěr dusíku. V termínech odběru půdních vzorků panovalo významné sucho, které mohlo negativní přeměny N podpořit (příloha č. 5). Rozdíl v obsahu $N_{\min.}$ v řádcích a meziřádcích mezi kontrolními parcelkami současné technologie K1 a K2 nebyl statisticky významný. O možných ztrátách a nebezpečí úniku dusíku z horní vrstvy půdy (5 – 10 cm) píše také autoři Moeller a Stinner, (2009); Wyngaard a kol. (2012). V případě teplejších a suchých oblastech dochází podle autorů Nerušil, Kincl a kol. (2017) k mnohem výraznějším ztrátám N volitalizací, kde se

v takovýchto podmínkách poloprovozní pokus s pěstováním širokořádkové kukuřice v roce 2018 a 2019 uskutečnil. Redukované (lokální) zpracování půdy v pásech a hnojení stupňovanou dávkou kejdy prasat vykazovalo v počátečním růstu nadoptimální až luxusní zásoby $N_{min.}$ v půdě v prostoru pásů a mezipásů, které dokázaly rostliny v následujícím vývoji až do konce sklizně pozvolně odčerpat. Z výsledků je zřejmé, že lokální (pásově) zpracování půdy vyžadovalo lokalizované hnojení pro horší schopnost kukuřice prokořenění do prostoru nekypřeného (tvrdého) mezipásu. Navíc v kypřeném pásu byly zajištěny lepší podmínky pro růst kořenů, vzdušný, vláhový a tepelný režim a zdroj přijatelných živin pro mladý růst ze set'ově aplikovaného hnojiva Ultra Korn NPSZn v roce 2018. Po aplikaci maximální dávky kejdy 40 t/ha do 1 zóny kypřených pásů je patrné, že v první polovině vegetace dochází i přes velmi vysoké (nejvyšší naměřené) obsahy $N_{min.}$ (dobré pro biologickou činnost půd) v nehnojeném mezipásu, k malému odběru N. Nekypřený mezipás vyvíjené technologie mohl prokořenění prostoru mezi řádky zpomalovat, tím zde kumulovat $N_{min.}$. Prokořenění pěstebních pásů kukuřice do mezipásů v technologii aplikace stupňované dávky kejdy prasat v celém rozpětí (20 - 30 – 40 t/ha) do 1 zóny, tj. na dno půdního profilu kypřeného pásu, došlo pozvolna až ve druhé polovině vegetace od vyvinutého 3. - 4. kolénka (BBCH 55 – 57). V roce 2019 vykazovalo stanoviště velmi malou až malou zásobou $N_{min.}$. Je možné, že na časnější jarní termín (28.2.) odběru zeminy pro analýzu obsahu $N_{min.}$ o téměř 2 měsíce dříve, než v roce 2018 (19.4.) měla vliv nízká teplota půdy. Vliv teploty půdy na započítání mineralizace, zejména po zimě uvadějí Černý a kol. (1997), kteří uvadějí, že mineralizace je velmi malá při nízkých teplotách (kolem 0 °C) a s každými 10 °C navíc zrychlí průběh mineralizace 2x – 3x. Z výsledků je patrné a zároveň se potvrdilo, že i přes velmi malé až malé obsahy $N_{min.}$ v půdě v prostorech řádků a meziřádků dochází vlivem jeho odběru rostlinami ke stagnaci obsahu v druhé polovině vegetace podobně jako to mu bylo předchozí rok sledování. Vyšší obsah $N_{min.}$ v mezipásu se opakovaně nacházel na parcele hnojené dusíkatým hnojivem močovina na povrch půdy pásovým zapravením a nově střední dávkou kejdy 30 t/ha do 1 zóny půdního profilu kypřeného pásu. Obsah $N_{min.}$ v půdě lokalizované v řádku a meziřádku mezi konvečními a lokálními postupy zpracování a hnojení půdy byl statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $p < 0,05$. Ve volbě dávky kejdy prasat aplikované do půdy lokálními postupy zpracování a hnojení půdy byl obsah $N_{min.}$ v prostoru pásu a mezipásu statisticky průkazný ($p < 0,05$) mezi roky 2018 a 2019, statisticky významný rozdíl v příslušném roce, zjištěn nebyl. Počet odběrů půdních vzorků za účelem měření obsahu $N_{min.}$ v půdě v prostoru řádku a meziřádku bylo pro statistický test málo. Pro zvolenou metodu polorprovozního pokusu, které je při vyvoji plnohodnotných strojů (velikosti) nutné, malé parcelové pokusy s opakováním jsou bezpředmětné, avšak zde lze získat opakování a statistickou průkaznost rozdílů dle technologie zpracování a hnojení půdy.

Výživný stav kukuřice byl monitorován ve 3ech stejných fázích vývoje kukuřice jako byl proveden odběr zeminy. Odběr nadzemních částí rostlin bylo provedeno od jejího počátku vegetace (BBCH 16 – 19) přes období intenzivního růstu (BBCH v r. 2018 34 – 36; v r. 2019 51 – 55), tzv. v době zřed'ovacího efektu až do doby termínu sklizně (BBCH 85 – 89). Zřed'ovací efekt popisují autoři Baier a kol. (1988), kdy zředění živin nastává nárůstem sušiny rostlin během vegetace ve fázi plného kvetení. V obou letech sledování výživného stavu na počátku vegetace došlo k rychlejšímu nárůstu nadzemní biomasy rostlin po použití organického tekutého hnojiva kejdy prasat do vytvořené rýhy pásovým kypřičem. Nárůst nadzemní biomasy

kukuřice pozitivně ovlivnila vyšší teplota a hloubka půdy ve zpracovaném pásu dána lepším vzdušným a částečně vodním režimem v okolí vzházející rostliny v porovnání s celoplošným kypřením půdy. Plošně aplikovaná kejda prasat systémem vlečených hadic a celoplošně zapravena působila na počátku růstu kukuřice od období 7. – 9. listu rostlin (7. 6.). snížením rychlosti růstu biomasy. Domnívám se, že s ohledem na celkový nízký biologický příjem dusíku rostlinami hnojené kejdou prasat, jakožto hnojivem s lehce uvolnitelným dusíkem, docházelo spíše k vysokým ztrátám dusíku volatilizací v podobě amoniaku (těkání do ovzduší), celoplošně a relativně z mělce (12 cm) zapraveného hnojiva taliřovým kypřičem. Podle autorů Baier a Bairová (1985) dochází k volitalizaci zejména při vyšších teplotách, které v tomto období panovaly. Ke ztrátám dusíku takto obhospodařené půdě mohlo naopak dojít k poutání N_{\min} mikroorganismy (imobilizace). Autoři Fecenko a Ložek (2000) a Vaněk a kol. (2012) definují imobilizaci jako proces, při kterém mikroorganismy syntetizují organické sloučeniny z minerálních forem N pro zabudování jej do svých bílkovin, a tím výstavbu biomasy. Obecně se z N_{\min} stává organický dusík, který je pro rostliny nedostupným. Příklad příjem dusíku nadzemní biomasou během vegetace byl rozdílný a korespondovala s nárůstem sušiny nadzemních částí rostlin podle schopnosti příjmu rostlinami, zejména dána velikostí rostliny ve sledovaném období.

V obou ročnících bez ohledu na množství srážkové vody vykazovaly rostliny lepší osvojení dusíku z půdy pěstované v technologii redukováného zpracování půdy po aplikaci kejdy prasat do rýh zpracovaných pásů, a to v celém testovaném rozpětí dávky 20 – 40 t/ha, a tím byla tato hypotéza potvrzena. Pomalejší příjem dusíku rostlinami bylo patrné zejména na počátcích vegetace roku 2018 po plošném hnojení minerálním dusíkatým hnojivem močovina s následným zapravením hnojiva z povrchu do pásů. V tomto případě rostliny přijaly nejméně ze všech variant kromě dusíku, také důležitého fosforu pro počáteční rozvoj kořenového systému, a tím lepší schopnost přijímat živiny, včetně draslíku důležitý pro lepší hospodaření s vodou v rostlině, a tím rychlejší metabolismus růstu (pro tvorbu biomasy). Problematikou fosforu a jeho vliv na morfologii kořene kukuřice popisuje Fink a kol. (2016). Naopak v roce 2019 na této variantě rostliny vykazovaly nejvyšší biologický příjem dusíku ze všech variant i příjem fosforu a draslíku se zlepšil. Autoři Fecenko a Ložek (2000) a Torma (2005) tvrdí, že vlastní příjem dusíku je ovlivňován také zevnějším prostředím, především průběhem počasí kromě srážek (přílohy č. 5 a 6), také teplota. Při nižší teplotě klesá příjem i využití NO_3^- a naopak stoupá příjem NH_4^+ . Lze se domnívat, že za rozdíl výživy dusíkem mezi ročníky měl v této době významný vliv průběh počasí, kdy v červnu (5.6.) spadlo téměř největší množství srážek (80 mm). Podobně pomalý příjem dusíku v roce 2018 vykazovala varianta celoplošné aplikace a zapravení močoviny v dávce 330 kg spolu s modifikací celoplošné aplikace kejdy prasat v dávce 40 t/ha se souvilym zapravením do půdy, které byly zároveň v souladu s nízkým nárůstem nadzemní biomasy. Na tyto pokusné parcelky byla jednotně v kejdě (podle uvolnitelného podílu, viz metodika) a v močovině aplikována dávka 150 kg N/ha. Lze tedy usuzovat za kladnou bilanci využití aplikované dávky dusíku porostem. Nejlepší výživu dusíkem vykazovaly porosty po aplikaci kejdy prasat v dávkách 20 a 30 t/ha do jedné zóny kypřených pásů v obou letech 2018 a 2019, včetně aplikace startovací výživy v minerálním hnojivu převážně s obsahem dusíku, fosforu, draslíku, ale i síry hořčíku a zinku, jakožto nejdůležitější mikroživina v pěstování kukuřice. Porosty totiž projevíly i nejvyšší příjem fosforu. Domnívám se, že díky tomu dokázaly rostliny vytvořit dostatečně velký kořenový

system pro příjem všech živin, zvláště dusíku a zinku ze všech testovaných variant. Vynechávka startovací výživy pod patu osiva během setí vedlo ke snížení účinnosti příjmu živin. Dle výsledků tohoto faktoru se ukázalo, že hnojení organickým hnojivem kejda prasat, bohaté na mikroživiny, se pozitivně projevilo na příjmu zinku rostlinami. Nevyšší příjem zinku v době sklizně došlo u rostlin při aplikaci nejnižší dávky kejdy 20 t/ha do jedné zóny bez startovací výživy pod patu. Naopak nejnižší příjem zinku v období sklizně byl na současné technologii bez hnojení kejdou prasat. Lze tedy usuzovat na velmi dobrý vliv aplikace kejdy na příjem zinku kukuřicí. Je patrné, že zinek z aplikované kejdy prasat byl v půdě mobilní a rostliny dokázaly i přes sušší průběh počasí tuto živinu přijímat. Antagonismus vyššího příjmu fosforu a nižšího příjmu zinku a obráceně (potlačení příjmu) se v pokuse nedostavil pro přiměřenou „konzumaci“ zinku rostlinami. V roce 2019 se zcela nejnižší příjem zinku projevilo na variantě vyvíjené technologie s aplikací vysoké dávky kejdy 40 t/ha na dno pásů a na variantě současné technologie celoplošného zpracování půdy s aplikací minerálního hnojiva močovina. Zvýšený příjem zinku z aplikované kejdy se neprojevil, zřejmě pro suchý průběh počasí v době intenzivního růstu kukuřice, tedy v období nejvyšší metabolické potřeby. Taktéž podle autorů Vaněk a kol. (2007), kteří uvádějí, že rostliny kukuřice přijmou převážnou část živin v období před kvetením.

Vyhnocení výsledné produkce a kvality zrna v technologii pásového zpracování a zonálního hnojení kejdou prasat v porovnání se současně používanou technologií celoplošného zpracování a hnojení půdy proběhlo podrobnými anorganickými rozbory palic kukuřice (viz metodika). V obou ročnících vývoje technologie redukováného zpracování a lokální hnojení vykazovaly mírně až vysoce zvýšené výnosy a kvalitu zrna v porovnání s celoplošnými postupy zpracování a hnojení půdy, tímto byla tato hypotéza potvrzena. Konveční postupy souvislého zpracování a hnojení (močovinou nebo kejdou prasat na povrch) půdy byl prokázán statisticky významný rozdíl výnosu zrna kukuřice za roky 2018 a 2019. V případě lokálních postupů zpracování a hnojení kejdou prasat z vlastní farmy Hlubočany zemědělského podniku Rostěnice a.s. na dno půdního profilu kypřeného pásu, včetně aplikace set'ové výživy NPSZn (v dávce 140 kg/ha) pod patu při setí, statisticky významný rozdíl ve výnosu zrna kukuřice prokázán nebyl. Z celkových výsledků je zřejmé, že pro vyvinutou technologii pásového zpracování půdy s redukovanou plochou hnojení kejdou prasat poskytuje nejvyšší výnos zrna (10,15 t/ha) již při dávce kejdy 20 t/ha s uložením do hlubokého depa (do 1 zóny). Aplikace kejdy nejnižší (20 t/ha) a střední (30 t/ha) testované dávky na dno půdního profilu kypřeného pásu byla statisticky významná na hladině významnosti $p < 0,05$ v porovnání se souvislým zpracováním a hnojením močovinou na povrch (K1). Porosty po této variantě technologie vykazovaly hlubší a širší zakořenění, které umožnilo zvýšit toleranci vůči suchu. Po uplatnění technologie pásového zpracování a lokální hnojení půdního profilu kejdou prasat, se současným pokryvem neživého mulče v prostorech mezipásů lze předpokládat podle dosavadních výsledků dobré využití aplikovaného dusíku rostlinami pro výnos zrna a obsah dusíkatých látek (NL) v zrně.

V rámci chemických rozborů za účelem stanovení nutričních hodnot zrna, byla analýza zaměřena kromě stanovení obsahu dusíkatých látek a škrobu, také na stanovení obsahů přijatých živin zrnem, resp. jejich odběr sklizní v pokusných letech 2018 a 2019. Konveční postupy zpracování a hnojení půd dosahovaly v průměru vyššího odběru dusíku (18,2 kg/t) v kg na 1 tunu zrna v porovnání s lokálními postupy pásově redukováného zpracování a hnojení

půdy (17,6 kg/t). V případě fosforu, draslíku a v některých případech i hořčíku docházelo spíše ke stagnaci odběru sledovaných živin ve srovnání s lokálními postupy, které se projevily významně vyššími obsahy těchto živin v zrně za oba roky pěstování. Porosty konvečně obhospodřené byly však nízké, včetně jejich výnosu zrna. Je možné, že rostliny kukuřice pěstované konvečnými postupy měly mělké kořenové soustavy v půdním profilu způsobené odebíráním dusíku spíše více z povrchu půdy, kde ho bylo z důvodu plošné a mělké aplikace dusíkatého hnojiva nejvíce koncentrováno. Autoři Brant a kol. (2016) totiž uvádějí, že při mělké aplikaci dusíku a fosforu může docházet k intenzivnímu prokořenění horní vrstvy půdy a k omezení prorůstání kořenů do spodních vrstev půdního profilu. Nejvyšší sklizňové odběry dusíku, ale i ostatních živin zrnem se dostavily při redukovaném zpracování a lokálního hnojení tekutou kejdou prasat ve střední dávce (30 t/ha) na dno půdního profilu kypřeného pásu (20,1 kg N v roce 2018 a 16,3 kg N/t v roce 2019), a tím zajištění vyšší nutriční hodnoty sklizené produkce. Klír a kol. (2007) uvádí, že by rostliny z 1 ha pro tvorbu 1 t zrna měly odebrat 25,9 kg N. Odběr důležitého mikroprvku zinku pro pěstování kukuřice je z výsledků zřejmé, že s vyšší dávkou kejdy prasat uložené na dno kypřených pásu docházelo k poklesu jeho uložení do zrna. Seťová výživa NPSZn dodané v granulovaném minerálním hnojivu Ultra Korn, popřípadě Corn Starter nebyl rostlinami dostatečně využit. Nedostatečná výživa zinkem korespondovala s celkovými výnosy zrna za roky 2018 a 2019. Při vynechávce seťové výživy s přidavkem zinku spolu s aplikací nejnižší dávky kejdy 20 t/ha na dno pásu, došlo dokonce k rekordnímu výnosu zrna za rok 2019, v opačném případě aplikace zinku v rámci seťové výživy pod patu při setí se ve výnosu zrna projevil minimálně za oba dva sledované roky pěstování. Tyto výsledky jsou v souladu s experimentem provedené autory Dun-Yi a kol. (2017), kteří zjistili, že při jakékoliv dávce zinku (0 - 50 kg ZnSO₄ · 7 H₂O/ha) se u kukuřice dosáhlo vyšších výnosů zrna v palici a celkový výnos biomasy. Uvádí, že je to zapříčiněno pozitivním snížením počtu sterilních zrn ve špičce palice. Domnívám se tedy, že pěstování kukuřice v technologii pásového zpracování a hnojení kejdou prasat do kypřených pásu, by se měl při zjištěném deficitu Zn v půdě, aplikovat Zn na listy vzešlé kukuřice, a to děleně. Potvrzení pozitivního vlivu aplikace zinku v podobě foliární (listové) výživy v dělené dávce, píše autoři Tahir a kol. (2016) a Chand a kol. (2017). Z pohledu sklizňového odběru živin v zrně se projevila nejstabilněji aplikace nejnižší testované dávky kejdy (20 t/ha) a jako druhá, střední dávka kejdy prasat (30 t/ha). Z tohoto hlediska, lze z dosavadních výsledků poloprovozního pokusu za roky 2018 a 2019 uvést jako nejvohodnější dávku kejdy prasat v rozmezí 20 – 30 t/ha do 1 zóny (na dno) kypřených pásů spolu s aplikací seťové výživy (NPSZn) pod patu při setí. Z pohledu odběru živin sklizeného zrna kukuřice mezi konvečnými a lokálními postupy zpracování a hnojení půdy nebyly statisticky významné rozdíly.

Na základě výsledků poloprovozního pokusu z hlediska biologického příjmu a využití dusíku a jiných živin, výnosu a nutriční hodnoty zrna, včetně logisticky a materiálově náročného hnojení půdy, byla zjištěna výsledná dávka kejdy prasat 20 t/ha do 1 zóny (na dno), jako optimální pro lokální zpracování a hnojení půdy kukuřice.

7 ZÁVĚR

Z dosažených výsledků dvouletého sledování obsahu $N_{\min.}$ v půdě, výživného stavu rostlin a výsledné produkce zrna vyplývá:

V technologii pásového zpracování a zonální aplikace tekutého hnojiva kejda prasat existuje prostorová variabilita v prostorách zpracovaného nakypřeného pásu (dle fenofáze v prům. 58,8 g N/m² r. 2018 a 8 g N/m² v r. 2019) a nezpracovaného (přírodně utuženého) mezipásu (dle fenofáze v prům. 68,0 g N/m² r. 2018 a 10 g N/m² v r. 2019).

- Ve zpracovaných pásech byl přednostně přijímám dusík a další živiny oproti nezpracovanému mezipásu.
- Plošně rozptýlené minerální dusíkaté hnojivo močovina s bezprostřední pásovým zpracováním půdy nebyla dostatečně využita rostlinami v pěstebním pásu. Z hlediska ochrany životního prostředí (podzemních vod) proti reziduálnímu $N_{\min.}$, bylo hnojení kukuřice během kypření přímo do pásů efektivnější v celém testovaném rozpětí 20 – 40 t/ha kejdy prasat. Zhlediska lokalizace uložení kejdy poskytovalo na dno rýhy (1 hluboká zóna 17 – 20 cm) v kombinaci startovací výživy NPSZn pod patu při setí, mírně vyšší pozitivní efekt (+2 %) ve výnosu zrna.

Výživa rostlin kukuřice dusíkem za použití technologie lokálního zpracování a hnojení půdy je pozitivně ovlivňována.

- Lokální postupy aplikace kejdy prasat zvýšily obsah dusíku v půdě a jeho využití během celé vegetace. Nejvyšší efektivitu využití dusíku vykazovaly rostliny kukuřice po dávce kejdy 30 t/ha (110 kg využitelného N a 27 kg P₂O₅/ha) s minerálním hnojivem Ultra Korn NPSZn (26 kg N, 35 kg P₂O₅, 20 kg S a 616 g Zn/ha) pod patu při setí.
- Aplikace kejdy prasat do kypřených pásů významně zvýšily obsah přístupného fosforu (+47 %, tj. 27 mg/kg) a draslíku (+40 %, tj. 54 mg/kg) v pěstebních řádcích kukuřice, které zajišťovaly vyrovnanou výživu rostlin dusíkem, fosforem a draslíkem. Nespotřebovaná zásoba fosforu a draslíku plnila zásobní, zúrodnovací funkci pro následnou plodinu.

Lokální zpracování a hnojení půdy organickou kejdou prasat zvyšuje tvorbu výnosu kukuřice oproti celoplošnému zpracování a hnojení minerálními hnojivy.

- Podle intenzity lokálního hnojení kejdou do kypřených pásů o 11 – 20 %, tedy s průměrným výnosem 9,6 – 10,3 t/ha a v průměru při dosahované sklizňové vlhkosti 25 – 35 %.
- Nejvýnosnější variantou inovace byla v průměru varianta s aplikací nižší dávky kejdy prasat 20 t/ha do 1 zóny na dno kypřených pásů, kde byly dosaženy výnosy zrna o 18 – 20 % vyšší (10,2 – 10,3 t/ha), než konvenční technologie. Lokální aplikace dávky 20 t/ha přináší úsporu až 50 % oproti běžné dávce 40 t/ha uplatňované při celoplošné aplikaci v současné technologii plošného zpracování půdy.

Dostupná diagnostická kritéria pro hodnocení potřeby hnojení dusíkem na základě znalosti aktuálního obsahu $N_{\min.}$ v půdě budou vyžadovat validaci pro technologii plošně redukováného lokálního hnojení kukuřice.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- Abrahimian, E., Bybordi, A., Eslam, B. P. 2010. Efficiency of zinc and iron application methods on sunflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 8. 3-4:783-789.
- Al-kaisi, M., Licht, M., A. 2004. Effects of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. *Agronomy journal*. 4. 96:1164-1171.
- Ashworth, J. A., Allen, L. F., Saxton, M. A., Tyler, D. D. 2016. Long-Term Corn Yield Impacted by Cropping Rotations and Bio-Covers under No-Tillage. *Agronomy Journal*. 108 4:1495-1502.
- Araus, J.J., Serret, M.D., Edmeades, G.O. 2012. Phenotyping maize for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*. 3. 305 s.
- Baier, J., Baierová, V. 1985. *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 364 s.
- Baier, J., Smetánková, M., Baierová, V. 1988. *Diagnostika výživy rostlin*. IVV MZVŽ ČSR. Praha. 284 s.
- Badalíková, B. a Bartlová, J. 2011. Tvorba výnosů pšenice ozimé a silážní kukuřice při různém zpracování půdy. In: Salaš, P. (ed): „Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu“. Lednice. Úroda, vědecká příloha. s. 1-5. ISSN 0139-6013.
- Bateman, E. J., Baggs, E. M. 2005. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. *Biology and Fertility of Soils*. 41:379 – 388.
- Bednorz, D., Tauchnitz, N., Bischoff, J., Schrödter, M., Koblenz, B., Rücknagel, J., Rupp, H., Wiese, F., Christen, O., Meissner, R. 2015. Bewertung der N-effizienz des Gülle-Strip-Till-Verfahrens – Kombinierte Lysimeter – und Feldversuche als Grundlage zur Modellierung der Stickstoff-kinetik in der ungesättigten Zone. In: 16. Gumpensteiner Lysime – tertagung „Lysimeter: Forschung im System Boden – Pflanze - Atmosphäre am 21. und 22. April 2015. HBLFA Raumberg-Gumpenstein. 131-136 s.
- Benson, T.; Fermont, A. 2011. Estimating yield of food crops grown by smallholder farmers: A review in the Uganda context. In *International Food Policy Research Institute*. Washington. 69 s.
- Bergmann, W. 1986. *Farbatlas. Erna-hrungsstorungen bei Kulturpflanzen*. VEB Gustav Fisher Verlag Jena. 306 s.
- Bielek, P. 1984. Dusík v pódě a jeho premeny. *Príroda*. Bratislava. 135 s.
- Bischof, J. 2012. Strip-Till-Verfahren bei Mais. Erosions-schutz verbessern und Stickstoffeffizienz steigern. *Mais*. 39:162-165.
- Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*. 218. s. 443–448.
- Bopp, M. 2013. Strip-till im Praxiseinsatz getestet. *Pflanzenbau*. 19. 22-25.

- Brant, V., Bečka, D., Cihlář, P., Fuksa, P., Hakl, J., Holec, J., Chyba, J., Jursík, M., Kobzová, D., Krček, V., Kroulík, M., Kusá, H., Novotný, I., Pivec, J., Prokinová, E., Růžek, P., Smutný, V., Škeříková, M., Zábranský, P. 2016. Pásové zpracování půdy (strip tillage): klasické, intenzivní a modifikované. Profi press s.r.o. Praha. 135 s. ISBN 978-80-6726-76-2.
- Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P. 2015. Pásové zpracování půdy – strip tillage. Úroda. (5). 63:98-103
- Cameron, K, C, Di, H. J., Moir, J. L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant systém: a review. *Annals of Applied Biology*. 162 (2). 145 – 173.
- Campos, H., Cooper, M., Habben, J.E., Edmeades, G.O., Schussler, J.R. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crop Research*. 90. s. 19–34.
- Carman, K., Cital, E., Marakoglu, T., Gur, K., Kirilmaz, H. 2018. Comparison of Strip Tillage Systems for Silage Maize Production in Middle Anatolia. *Selcuk Journal of Agriculture & Food Sciences / Selcuk Tarim ve Gida Bilimleri Dergisi*. (3). 32:430-435.
- Ciampitti, I. A., Murrell, S. T., Camberato, J. J., Tuinstra, M., Xia, Y., Friedemann, P., Vyn, T. J. 2013. Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and nitrogen stress factors: II. Reproductive phase. *Crop Science*. (6). 53:2588-2602.
- Čepl, J. 2005. Hnojení brambor. VÚB. Havlíčkův Brod. 8 s.
- ČSÚ – český statistický úřad. 2019. Příloha – Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní zemědělských plodin. Soupis ploch osevů – k 31. 5. 2019. Veřejná databáze ČSÚ.
- Eghball, B., Power, G. J. 1999. Composted and Noncomposted Manure Application to Conventional and No-Tillage Systems: Corn Yield and Nitrogen Uptake. *Agronomy Journal*. 91 5:819-825.
- Evans, L.T.; Fischer, R.A. 1999. Yield potential: Its definition, measurement and significance. *Crop Sci*. 39:1544–1551.
- Đalović, I. 2014. More Important Morphological Traits and the Content of Mineral Elements in Maize at the Different Levels of Fertilization (In Serbian). Ph.D. Thesis. University of Novi Sad. Faculty of Agriculture. Serbi.
- Doležal, P., Dvořáček, J., Loučka, R., Mikyska, F., Mudřík, Z., Opitz von Boberfeld, W., Prokeš, K., Přikryl, J., Hansen, Ch., Skládanka, J., Straková, E., Suchý, P., Szwedziak, K., Tukiendorf, M., Zeman, L., Červinka, J. 2012. Konzervace a jejich využití ve výživě zvířat. Vydavatelství Baštan. Olomouc. 307 s. ISBN: 9788087091333.
- Drury, C. F., Tan, C. S., Reynolds, W. D., Welacky, T. W., Weaver, S. W., Hamill, A. S., Vyn, T. J. 2003. Impacts of zone till and red clover on corn performance and soil physical quality. *Soil Science Society of America Journal*. 67 3:867 – 877 s.

- Dvořák, M. 1984. Příjem a pohyb minerálních látek v rostlině. UK. SPN. Praha. 77 s.
- Dun-Yi, L., Wei, Z., Peng, Y., Xin-Ping, Ch., Fu-Suo, Z., Chun-Qin, Z. 2017. Soil application of zinc fertilizer could achieve high yield and high grain zinc concentration in maize. *Plant and Soil*. Issue ½. 411:47-55.
- Dupuis, I., a Dumas, Ch. 1990. Influence of Temperature Stress on in Vitro Fertilization and Heat Shock Protein Synthesis in Maize (*Zea mays* L.) Reproductive Tissues. France. *Reconnaissance Cellulaire et Amélioration des Plantes*. Université Lyon I. s. 665-670.
- Edwards, R.A., Merrick, M. J. 1995. Nitrogen control in bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. American Society of Microbiol. 59:604-622.
- Fabrizzi, P. K., García, O. F., Costa, L. J., Picone, I. L. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 81 1:57-69.
- Fecenko, J., Ložek, O. 2000. Výživa a hnojení poľných plodín. SPU. Nitra. 442 s. ISBN 80-7137-777-5.
- Fink, R. J., Inda, V. A., Bavaresco, J., Sánchez-Rodríguez, R. A., Barrón, V., Torrent, J., Bayer, C. 2016. Diffusion and uptake of phosphorus, and root development of corn seedlings, in three contrasting subtropical soils under conventional tillage or no-tillage. *Biology and Fertility of Soils*. 52 2:203-210.
- Forde, B. G. 2002. Local and long-range signaling pathways regulating plant responses to nitrate Annu. A review. *Plant Biology*. 53.
- Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B., Fanale, H. 2016. Effect of different fertilizer resources on yield and yield components of grain maize (*Zea mays* L.) affected by tillage managements. *Ferdowsi University of Mashhad*. 7. 4:499-512.
- Goulding, K., Jarvis, S., Whitmore, A. 2008. Optimizing nutrient management for farm systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 363:667 – 680.
- Gupta, K. J., Fernie, A. R., Kaiser, W. M., van Dongen, J. T. 2011. On origins of nitric oxide. *Trends in Plant Science*. 16:160 – 168.
- Habben, J. E., Schssler, J.R. 2017. Maize kernel development. DuPont-Pioneer. Johnston. USA. ISBN: 9781786391216
- Hermann, W., Bauer, B., Bischof, J. 2012. Strip Till, Mit Streifen zum Erfolg. DLG-Verlag. Frankfurt am Main. *Agrarpraxis*. 120 s. ISBN 978-3769020113
- Hoegen, B., W. Werner 1991. Chemische und mikrobiologische Charakterisierung des N-Haushalts langjährig begüllter bzw. mineralisch gedüngter Podsolflächen. *VDLUFA-Schriftenreihe. Kongressband*. 33:263-268. ISBN: 3-922712-43-6.
- Hora, P., Kohut, M., Knozová, G. 2011. Vlhkost půdy v lokalitě Hodonín-Pánov. In: Salaš, P. (ed): „Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu“. Lednice. *Úroda* (10). 111-121 s.

- Hůla, J., Abrahám, Z., Bauer, F. 1997. Zpracování půdy. Praha. Nakladatelství Brázda s.r.o., 144 s.
- Hůla, J., Procházková, B., a kol. 2002. Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. Praha. ÚZPI. Zemědělské informace. č. 3/2002. 103 s.
- Hůla, J., Procházková, B., Kovaříček, P., Dovrtěl, J., Abrahám, Z., Neudert, L., Hartman, I., Mayer, V., Vlášková, M. 2004. Minimalizační a půdoochranné technologie. VÚZT. Praha. 58 s. ISBN 80-86884-01-5.
- Hůla, J., Procházková, B. a kolektiv. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press s. r. o. Praha. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1
- Hůla, J., a kolektiv. 2010. Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí. Uplatněná certifikovaná metodika. Praha. VÚZT. v.v.i. 58 s. ISBN 978-80-86884-53-0.
- Hůla, J., Kovaříček, P., Vlášková, M. 2019. Infiltrace vody do půdy při pásovém zpracování půdy. Praha. VÚZT. v.v.i. s. 145. 93-98 s.
- Chand, S. W., Susheela, R., Sreelatha, D., Shanti, M., Surendra, P. 2017. Growth and yield of baby corn (*Zea mays* L.) As influenced by zinc fertilization. IJCS. 5. 6:1362-1364.
- Ismail, I., Blevins, L. R., Frye, W. W. 1994. Long-Term No-tillage Effects on Soil Properties and Continuous Corn Yields. Soil Science Society of America Journal. 58 1:193-198.
- Janeček, M., Bohuslávka, J., Dumbrovský, M, Gergel, J., Hrádek, F., Kovář, P., Kubátová, E, Pasák, V., Pivcová, J., Tipl, M., Toman, F., Tomanová, O., Váška, J., 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství. Praha.
- Javor, T., Beranová, L., Staněk, L., Jelínek, K., Martincová, J., Dostál, J. 2017. Inovace v rostlinné výrobě. AGROEKO Žamberk, s.r.o. Žamberk. 75 s.
- Jenkinson, D. S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. Plant Soil. 228 s. 3-15.
- Jocković, Đ.; Stojaković, M.; Ivanović, M.; Bekavac, G.; Popov, R.; Đalović, I. 2010. NS maize hybrids-Today and tomorrow. Ratar. 47:325–333.
- Kane, D. A., Snapp, S. S., Davis, A. S. 2015. Ridge tillage concentrates potentially mineralizable soil nitrogen, facilitating maize nitrogen uptake. Soil Science Society of America Journal. (1). 79:81-88.
- Katai, Z. 2009. Soil tillage systems as an abiotic factor in the production of oilseed rape. Cereal research communications. 37:411-414. ISSN 0133-3720.
- Khalid, F., Tahir, N., Fiaz, m., Nadeem, M. A., Gillani, S. M. W. 2013. Hybrid maize response to assorted chelated and non-chelated foliar applied zinc rates. Journal Agriculture. 9. s. 295–309
- King, J., Gay, A., Sylvestr-Bradley, R., Bingham, I., Foulkes, J., Gregory, P., Robinson D. 2003. Modeling cereal root systems for water and nitrogen capture: towards an economic optimum. Annals of Botany. 91:383 – 390.

- Kincl, M., Krpeš, V. 2000. *Základy fyziologie rostlin*. 2. doplněné vydání. Montanex. 220 s. ISBN 80-7225-041-8.
- Kitur, K. B., Smith, S. M., Blevins, L., R., Frye, W. W. 1984. Fate of ¹⁵N-Depleted Ammonium Nitrate Applied to No-Tillage and Conventional Tillage Corn. *Agronomy Journal*. 76 2:240-242.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. 2007. *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*. Praha. VÚRV. 40 s. ISBN 978-80-87011-14-0
- Kovar, J. L., Barber, S. A., Kladivko, E. J., Griffith, D. R. 1992. Characterization of soil temperature, water content, and maize root distribution in two tillage systems. *Soil Tillage Res.* 24:11–27.
- Křen, J., Neudert, L., Procházková, B., Smutný, V., Hůla, J. 2015. *Obecná produkce rostlinná – 2. část. Zpracování půdy, Herbologie*. MENDELU. ASTRON studio CZ, a.s. 152 s. ISBN 978-80-7509-327-1.
- Kunzová, E. 2009. *Výživa rostlin a hnojení fosforem. Metodika pro praxi*. VÚRV, v.v.i. Praha. 24 s. ISBN: 9788074270154
- Li, S., Wang, Z., Steward, B. A. 2013. Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N. *Advances in Agronomy*. 118:205-397.
- Liu, Z., Yang, X., Lin, X., Hubbard, K.G., Lv, S., Wang, J. 2016. Narrowing the agronomic yield gaps of maize by improved soil, cultivar, and agricultural management practices in different climate zones of Northeast China. *Earth Interact.* 20:1–18.
- Lukas, V., Ryant, P., Neudert, L., Dryšlová, T., Gnip, P., Smutný, V. 2012. Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství – metodika pro praxi. MENDELU. s. 45 ISBN 978-80-7375-686-4.
- Lošák, T., Hlušek, J., Jůzl, M., Elzner, P., Musilová, L., Čepl, J., Kasal, P. 2014. Uplatnění dusíku a hnojiva s inhibítorem ureázy při hnojení brambor. VÚBHB. 31 s. ISBN 978-80-86940-62-5
- Ma, B. L., Subedi, K. D., Stewart, D. W., Dwyer, L. M. 2006. Dry Matter Accumulation and Silage Moisture Changes after Silking in Leafy and Dual-Purpose Corn Hybrids. *Agronomy Journal*. 98:922-929.
- Mader, P., a Čurdová, E. 1997. *Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků*. ČZU. Praha. s. 227 – 236.
- Maharjan, B., Venterea, R. 2014. Anhydrous ammonia injection depth does not affect N₂O emission in a silt loam over two growing seasons. *Journal of Environmental Quality*. 43 s. ISSN 1527 – 1535.
- Markulj, A., Marijanovič, M., Tkalec, M., Jožič, A., Kovačević, V. 2010. Effects of precipitation and temperature regimes on maize (*Zea mays* L.) yields in northwestern Croatia. *Acta Agriculture Serbica*. v. 15. s. 39-45. ISSN: 0354-9542
- Mašek, J. 2017. *Zpracování půdy v praxi. Mechanizace*. 67 2:64-69. ISBN: 0373-6776.

- Matula, J. 1977. Výživa rostlin. IVV. MZVŽ. ČSR. Praha. 181 s.
- McGonigle, T. P., Miller, M. H. Young, D. 1999. Mycorrhizae, crop growth, and crop phosphorus nutrition in maize-soybean rotations given various tillage treatments. *Plant Soil* 210:33–42.
- Mikanová, O., Šimon, T. 2013. Alternativní výživa dusíkem. VÚRV. Praha. 3 s. ISBN 978-80-7427-143-4.
- Miransari M., Mackenzie, A. F. 2010. Wheat grain nitrogen uptake, as affected by soil total and mineral nitrogen, for the determination of optimum nitrogen fertilizer rates for wheat production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. (13). 41:1644-1653.
- Moeller, K., Stinner, W. 2009. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*. 1. 30:1-16
- Morgan, R. P. C. 2005. Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing. Oxford. 304 s. ISBN: 1-4051-1781-8.
- Ndhleve, S., Nakin, M.D.V., Longo-Mbenza, B. 2017. Impact of supplemental irrigation as a climate change adaptation strategy for maize production: A case of the Eastern Cape Province of South Africa. *Water SA*. 43:222–228.
- Neave, P., Fox, C. 1998. Response of soil invertebrates to reduced tillage systems established on a clay loam soil. *Appl. Soil Ecol*. 9:423–428.
- Nerušil, P., Kincl, D. a kolektiv. 2017. Základání kukuřice seté do travních porostů na orné půdě s využitím půdoochranné technologie pásového zpracování půdy. Certifikovaná metodika. VÚRV. v.v.i. Praha Ruzyně. 32 s. ISBN: 978-80-7427-264-6
- Neuberg, J., Jedlička, J., Červená, H. 1995. Výživa a hnojení plodin. ÚZPI. VÚRV. Praha. 64 s. ISSN 0231-9470
- Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. 2008. Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia*. 12 (4). 3 – 8.
- Petr, J. (ed.) 1987. Počasí a výnosy. Státní nakladatelství. Praha. VÚRV. 368 s.
- Philips, F. A., Leuning, R., Baigent, R., Kelly, K. B., Denmead, O. T. 2007. Nitrous oxide flux measurements from an intensively managed irrigated pasture using micrometeorological techniques. *Agricultural and Forrest Meteorology*. 143:92 – 105.
- Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Academia Praha, 488 s. ISBN 80-200-0586-2.
- Procházková, B., Dovrtěl, J., Hůla, J. 2004. Minimalizační technologie zpracování půdy. *Úroda*. (52) 2:46-49. ISSN 0139-6013.
- Prokeš, K. 2009. „Kukuřice v praxi 2009“ - Sborník z odborného semináře. MZLU. Brno. 47 s. ISBN 978-80-7375-263-7

- Rasmussen, I S., Dresbol, D. B., Thorup-Kristensen, K. 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization – Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 68:38 – 49.
- Reckleben, B. 2013. Stip-Tilalgae könnte bald gängige, Praxis sein Kosteneinsparung beim Maisanbau durch neues Anbauverfahren. *Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. BauerBlatt*. 22-26 s.
- Richter, R., Hlušek, J. 1999. Výživa a hnojení rostlin – I. obecná část. MENDELU. Brno. 171 s. ISBN 80-7157-138-5.
- Richter, R., Hlušek, J. 2003. Půdní úrodnost. ÚZPI. Praha. 44 s.
- Richter, R., Hlušek, J. 2006. Využití dusíku rostlinami z aplikovaných hnojiv. In: Sborník z konference „Nové trendy v používání dusíkatých hnojiv“. VÚRV. Praha. s. 5-14. ISBN 80-86555-96-8
- Rinnofner, T. a kol. 2008. Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming. *Agron. Sustain. Dev.* 28.4: 551-558
- Robinson, D. 1994. The reasons of plant to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist*. 127:635-674
- Saggar, S., Luo, J., Giltrap, D. L., Maddena, M. 2009. Nitrous oxide emissions processes, measurements, modeling and mitigation. *Nitrous Oxide Emissions Research Progress*. 1 - 66.
- Saraukis, E., Vaitauskiene, K., Romaneckas, K., Sakalauskas, A., Jasinskas, A., Butkus, V., Karayel, D., Kriauciuniene, Z. 2015. Research in strip tillage machine row cleaner technology proces.. Aleksandras Stulginskis University. Lithuania. Engineering for rural development. 56 s.
- Shaw, R.H. 1983. Soil moisture stress prediction for corn in a western corn belt state. *Korean Journal of Crop Science* 28. s. 1–11.
- Smutný, V. a kolektiv. 2015. Význam technologií zpracování půdy a dalších agrotechnických opatření při pěstování obilnin. Certifikovaná metodika. MENDELU. ISBN 978-80-7509-369-1.
- Sohrabi, U., Ahmadi, a., Heidari, G. R., Siosemarde, A. 2019. Effect of sulfur and zinc fertilizers on physiological characteristics and grain yield of corn (*Zeamays L.*) under drought stress. University of Birjand.
- Sommer, S. G., Christensen, B. T. 1992. Ammonia volatilization after injection of anhydrous ammonia into arable soils of different moisture levels. *Plant and soil*. Kluwer Academic Publishers. 142. 1: 143 – 146.
- Sommer, S. G., Schjoering, J. K., Denmead, O. T. 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy*. 82:558 – 622.
- Suškevič, M. 1998. Konvenční nebo minimalizační technologie. *Úroda*, č. 1. s. 1-2.

- Svoboda, P., Haberle, J. 2006. The effect of nitrogen fertilization on root distribution of winter wheat. *Plant Soil Environment*. 52: 308 – 313.
- Szczepaniak, W., Grzebisz, W., Potarzycki, J., Łukowiak, R., Przygocka-Cyna, K. 2016. The magnesium and calcium mineral status of maize at physiological maturity as a tool for an evaluation of yieldforming conditions. *Journal of Elementology*. v. 21. 3:881-897.
- Šabatka, J. 2017. Pohled na současné zemědělství oknem soukromého zemědělce, vývoj počasí a udržení struktury půdy a zadržování vody v půdě. In: *Sborník přednášek pro Zimní agrotechnické semináře*. s. 3 – 8
- Šimek, M. 2000. Nitrifikace v půdě – terminologie a metodologie (studie). In: *Rostlinná výroba*. 46 (9). 385 – 395.
- Šuk, J., Balík, J., Jakobe, P., Jambor, V., Kohout, V., Loučka, R., Táborský, V., Vrzal, J. 1998. *Kukuřice – kolektiv autorů*. VP AGRO spol. s.r.o. Praha. 131 s. ISBN 80-86153-99-1
- Švehla, P., Tlustoš, P., Balík, J. 2004. *Odpadní vody*. PowerPrint. Praha. 46 s. ISBN 80-213-1169-X
- Tahir, M., Nasir, M., Sheikh, A. A., Mahynour, I., Rehman, H., Majeed, M. A. 2016. Effect of zinc sulphate as foliar application on the yield and quality of maize. *Pakistan Journal of Life & Social Sciences*. 14 3:196-199. ISSN 1727-4915
- Takatoshi K., Krapp, A. 2016. Release Characteristics of Release controlled Nitrogen Fertilizer in Winter Wheat on Dry Land. *Plant Cell Physiology*. (4). 57:707-714. s. 714. ISSN 0032-0781
- Tian, S., Ning, T., Wang, Y., Liu, Z., Li, G., Li, Z., Lal, R. 2016. Crop yield and soil carbon responses to tillage method changes in North China. *Soil and Tillage Research*. 163. 207-213.
- Tiritan, S. C., Büll, T. L., Crusciol, C. A. C., Filho, C. A. C. A., Fernandes, M. D., Nascente, S. A. 2016. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. *Soil and Tillage Research*. 155. 437-447.
- Torma, S. 2005. Dusík nenahraditelný prvek v půdě a rostlině. *Agro*. 10 (1). s. 27-29.
- Trčková, M., Raimanová, I., Svoboda, P. 2009. *Listová výživa obilnin*. VÚRV. Praha. 39 s. ISBN 978-80-7427-030-7.
- Vaněk, V., Pavliková, D., Balík, J., Tlustoš, P. 1997. Dusík v půdě a jeho přeměny. *Sborník z 3. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*. ČZU. Praha. 8 – 11.
- Vaněk, V. (ed.) 2007. *Výživa a hnojení polních a zahradních plodin*. Profí Press. Praha. 176 s. ISBN 976-80-86726-25-0
- Vaněk, V. (ed.) 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Academia. 570 s. ISBN 978-80-200-2147-2.
- Vaněk, V. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Profí Press. Praha. 224 s. ISBN 978-80-86726-79-3.

- Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Res.* 52:197–208.
- Vostál, J. 1983. Sledování dynamiky minerálního dusíku v půdách vybraných stanovišť. In: Sb. Optimalizace využití dusíku na tvorbu výnosů. ČSAZ. 109-114.
- Vostal, J. 1994. Základy výživy a hnojení hlavních plodin. Agrofert. Praha. 94 s.
- Vostal, J., Matousch, O. 1988. Bilance dusíku v zemědělství. I. Část: Aktivní složky. VŠZ. Praha. 104 s.
- Vrzal, J., Novák, D. 1995. Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícnin. IvaV. MZe ČR. Praha. s. 3 ISBN 80-7105-097-0
- Wessolek, G., Kaupenjohann, M., Dominik, P., Llig, K., Schmitt, A. 2008. Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17. TF. Berlín. 162 s.
- Wetsch, A. J., Randall, W. G. 2002. Corn Production as Affected by Tillage System and Starter Fertilizer. *Agronomy Journal.* 94 3:532-540.
- Wyngaard, N., Echeverria, H., Rozas, R., S., Divito, G. 2012. Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll. *Soil science.* 119:22-30. ISSN 0167-1987
- Zembery, J. 2003. Effects of year and fertilization on variability in yield forming elements and yield maize grains/Vplyv ročníka a hnojenia na variabilitu urodovných prvkov a urodu zrna kukurice. Nitra. The scientific journal for phytotechny and zootechny. v. 6. 2:40-45.
- Zimolka J. (ed.) 2008. Kukuřice - hlavní směry a alternativní užitkové směry. Profi Press. Praha 5. 200 s. ISBN 978-80- 86726-31-1.
- Zhang, X., Zhu, A., Xin, X., Yang, W., Zhang, J., Ding, S. 2018. Tillage and residue management for long-term wheat-maize cropping in the North China Plain: I. Crop yield and integrated soil fertility index. *Field Crops Research.* 221. 157-165.

Internetové zdroje

- Balík, J., Černý, J., Tlustoš, P. Principy hnojení kukuřice. [online]. Úroda. 14. listopadu. 2001. [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: <<http://uroda.cz/principy-hnojeni-kukurice/>>
- Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Holec, J., Cihlár, P., Fuksa, P., Procházka, L. 2011. Pásové zpracování půdy v porostech silážní kukuřice [online]. ČZU. Agromanuál. 10. března 2011. [cit. 11-5-2019]. Dostupné z <<http://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pasove-zpracovani-pudy-vporostech-silazni-kukurice>>.
- Cassman, K.G. Long-term trajectories: Crop yields, farmland, and irrigated agriculture. [online]. Federal Reserve Bank of Kansas City Agricultural Symposium. 1–26 s. 11.-12. července, 2016. [cit. 2020-1-13]. Dostupné z: <<http://www.KansasCityFed.org>>
- Černý, J., Balík, J., Tlustoš, P., Němeček, R. Minerální a organický dusík v půdě. Odborné konference. [online]. Agrární www portál. 27. listopadu 1997. [cit. 2019-09-7]. Dostupné z: <<http://www.agris.cz/clanek/118821/mineralni-a-organicky-dusik-v-pude>>.
- Kusá, H. Růžek, P., Vavera, R., Svoboda, P. Zakládání porostů a hnojení kukuřice v sušších oblastech. [online]. Agromanuál. VÚRV. 9. května 2016. [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/zakladani-porostu-a-hnojeni-kukurice-v-sussich-oblastech>>.
- Richter, R. 2005. Hnojení plodin – Kukuřice, multimediální učební text. [online]. MZLU. Brno. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/obilniny/kukurice.htm>.
- Škarpa, P., Ryant, P., Antošovský, J. 2016. Základní hnojení pšenice ozimé. [online]. Agromanuál. 8. září 2016 [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-psenice-ozime>>.
- Žalmanová, A. Analýza statkových a organických hnojiv [online]. ÚKZÚZ. 16. listopadu 2010 (cit. 2019-11-14). Dostupné z: <<http://www.ukzuz.cz/.../161872-7Analyza+statkovych+a+organickych+hnojiv.pdf>>.

Normy, zákony, směrnice

- Nariadení vlády 235/2016 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, v platném znění. (11. července 2016).
- Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd. (1. listopadu 2017).
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Nitrátová směrnice § 33. (1. února 2020).

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Schéma neseného pásového kypřiče půdy (strip tillage)

Příloha č. 2: Aplikační technika pásového zpracování a zonální hnojení půdy v pokusu

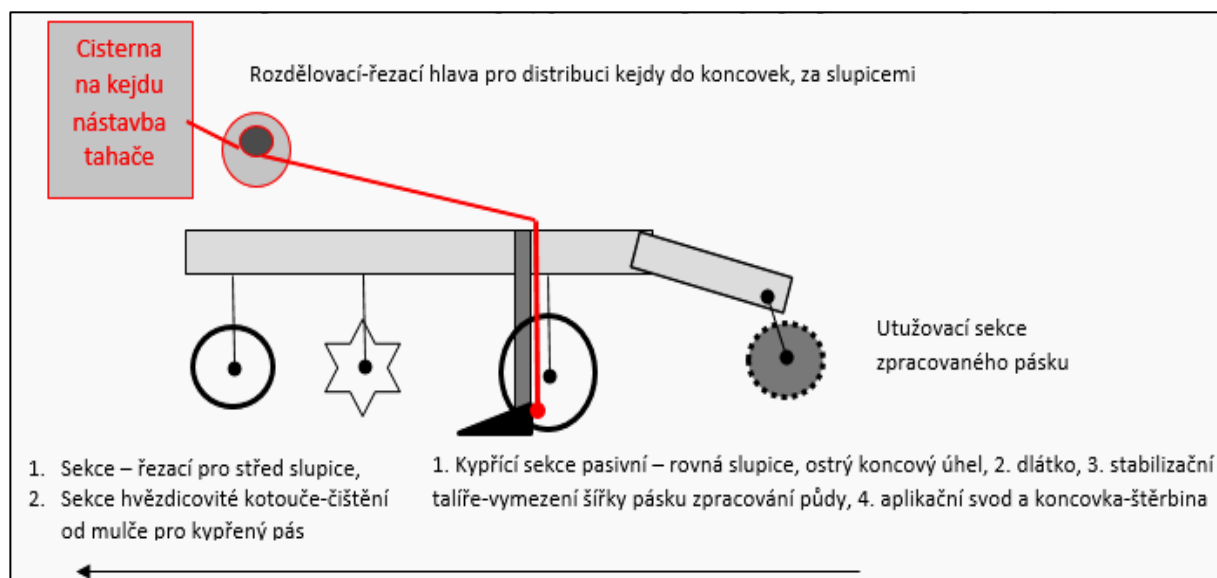
Příloha č. 3: Schéma tažených prutových bran s distribucí osiva do rozptylových terčíkových aplikátorů pro extenzivní založení porostu meziplodiny

Příloha č. 4: Aplikační technika pro založení porostu meziplodiny v pokusu

Příloha č. 5: Celkový úhrn srážek v měsících v roce 2018

Příloha č. 6: Celkový úhrn srážek v měsících v roce 2019

Příloha č. 1: Schéma neseného pásového kypřiče půdy (strip tillage)



Technické specifikace

Záběr: 8 normovaných řádků kukuřice s roztečí 75 cm.

Šířka pásu: max. 30 cm, regulovatelné mezi 17 – 30 cm

Hloubka: nastavitelné rozpětí mezi 20 – 40 cm

Druh a uložení hnojiva: Kejda, uložení ve hloubce 20 – 30 cm ve 2 zónách (mělké a hluboké)

Dávka hnojiva: štěrbinovými koncovkami za každou slupicí pomocí řezací a rozvodové hlavy v dávce 10 -40 t/ha

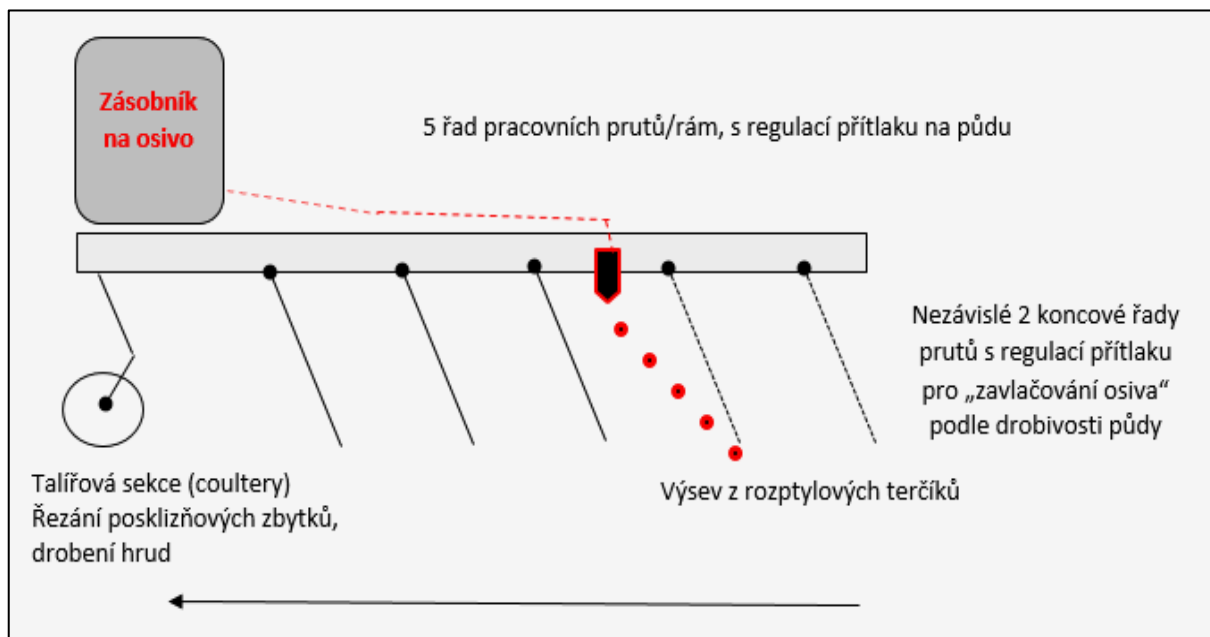
Zásobník: Pásový kypřič s již vlastněným samojízdným nosičem cisternové nástavby, osazený na flotačních pneumatikách zvyšující ochranný účinek technologie proti zhutňování a degradaci půdní struktury.

Příloha č. 2: Aplikační technika pásového zpracování a zonální hnojení půdy v pokusu



*) vlevo záběr na pracovní jednotku konstrukce YETTER MANUFACTURING CO.

Příloha č. 3: Schéma tažených prutových bran s distribucí osiva do rozptylových terčkových aplikátorů pro exstenzivní založení porostu meziplodiny



Technické specifikace

Záběr: 12 m

Hloubka: 0 – 5 cm podle agresivity prutů, tj. postavení prutů vůči povrchu půdy

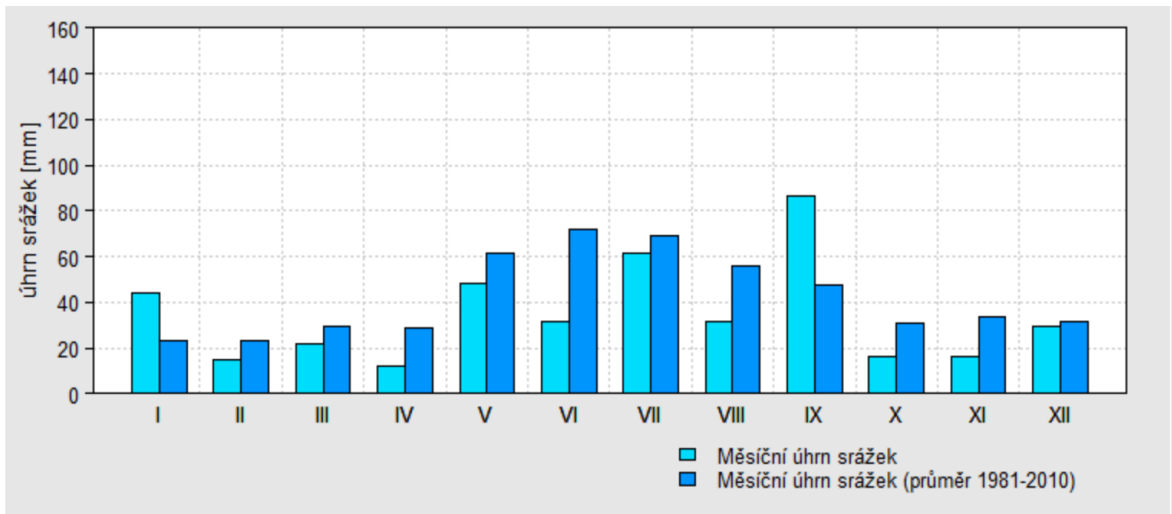
Výsevek a jeho nastavení: 12 kg/ha hořčice seté, nastavení pomocí válečkového mechanismu elektronicky ovládaný z kabiny traktoru

Zásobník: objem vysevního zásobníku 800 l s pneumatickou distribucí osiva

Příloha č. 4: Aplikační technika pro založení porostu meziplodiny v pokusu



Příloha č. 5: Celkový úhrn srážek v měsících v roce 2018



Příloha č. 6: Celkový úhrn srážek v měsících v roce 2019

