

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Vliv hnojení dusíkem na výnos silážní kukuřice

Bakalářská práce

Autor práce: Jan Toula

Obor studia: Rostlinná produkce

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

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv hnojení dusíkem na výnos silážní kukuřice" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1. května 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichovi Černému, Ph. D. za vedení, odborné rady a trpělivost při zpracování této práce.

Vliv hnojení dusíkem na výnos silážní kukuřice

Souhrn

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv stupňovaných dávek dusíku na výnos a parametry nadzemní biomasy silážní kukuřice. Z pokusu byly vyhodnoceny celkové výnosy čerstvé hmoty, obsahy sušiny, výnosy sušiny, obsahy dusíku v sušině, odběry dusíku sklizenou biomasou s bilancemi dusíku v půdě a odběrové normativy.

V experimentální části bakalářské práce byly zpracovány výsledky roku 2019 z dlouhodobého pokusu založeného v roce 1992 na Demonstračním a pokusném pozemku České zemědělské univerzity. Celkem bylo vyhodnocováno 8 různých variant hnojení silážní kukuřice dusíkem. Každá z variant byla provedena ve čtyřech opakováních, ze kterých byly hodnoty zprůměrovány. Čtyři varianty sledovaly vliv aplikace ledku amonného s vápencem před setím o celkové dávce 60; 120; 180 a 240 kg N/ha. Alternativou hnojení před setím byla varianta 60 kg N/ha také v ledku amonném s vápencem, ale s aplikací během vegetace. Na dvou variantách bylo aplikováno v tříletém cyklu 360 a 720 kg N/ha v čistírenských kalech. Roční dávka N na hektar dosahovala výše 120 respektive 240 kg. Poslední variantu představovala kontrola, kde neproběhla žádná aplikace hnojiv.

Výsledky experimentální části poukazují na důležitost dusíkaté výživy při pěstování silážní kukuřice. S narůstající dávkou N narůstal i výnos čerstvé hmoty. Obdobný trend zaznamenal i výnos sušiny. U obsahu sušiny dosahovaly nejnižších hodnot varianty s nejvyššími dávkami dusíku. Obsah dusíku v sušině dosahoval vyšších hodnot u variant hnojených minerálním hnojivem. Tento parametr ovlivnila také skutečnost, že sledovaný ročník 2019 byl druhým rokem po aplikaci čistírenských kalů. Nejvyšší odběr dusíku sklizenou biomasou vykazala varianta 180 kg N/ha. Odběrový normativ byl nejnižší u varianty přihnojení během vegetace. Zároveň dosahoval nejvyšších hodnot u hnojení 60; 120 a 180 kg N/ha.

Klíčová slova: silážní kukuřice; dusík; výnos; bilance

Effect of nitrogen fertilization on silage maize yield

Summary

The aim of this thesis was to evaluate the effect of escalating amounts of nitrogen on an yield and parameters of above-ground silage corn biomass. Total yield of fresh mass, the contents of nitrogen in dry matter, the offtake of nitrogen by harvested biomass with nitrogen balances in soil and offtake normatives were evaluated in this experiment.

Outcome data from year 2019 out of longstanding experiment, which was established in 1992 on demonstrative and experimental land owned by Czech University of Life Sciences, were evaluated in the experimental part of this thesis. Eight different variations of silage corn fertilization by nitrogen were evaluated. Each of the variations was done in four repetitions, out of which the average value was made. Four variations observed the impact on application of calcium ammonium nitrate before planting, the total values were 60; 120; 180 and 240 kg N/ha. There was an alternative variation to fertilization, it was 60 kg N/ha in calcium ammonium nitrate with application during vegetation. In two variant 360 and 720 kg N/ha were applicated in 3-year cycle in a sewage sludge. The year amount of nitrogen per hectare reached up to 120 and 240 kg N/ha. The last variation was a check-up, where there was no application of fertilizers.

The conclusion of the experiment part points out the importance of nitrogen nourishment. Yield of fresh mass was increased with the increasing amount of nitrogen. Similar trend was also detected with the yield of dry matter. Dry matter has reached the lowest numbers when using variations fertilizes with mineral fertilizers. This parameter was affected by the fact that year 2019 was a second year after application of sewage sludge. The highest offtake of nitrogen by harvested biomass was shown by variation with 180 kg N/ha. Offtake normative was the lowest in variation with fertilization during vegetation and the highest when using fertilization with 60; 120 and 180 kg N/ha.

Keywords: silage maize, nitrogen, yield, balance

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Kukuřice setá.....	3
3.1.1 Morfologie kukuřice	3
3.1.2 Hatch-Slackův cyklus	4
3.1.3 Užitékové směry	4
3.1.3.1 Silážní kukuřice.....	4
3.1.3.2 Zrnová kukuřice	5
3.2 Pěstování silážní kukuřice	5
3.2.1 Nároky na stanoviště.....	5
3.2.2 Zakládání porostů	6
3.2.3 Plevelná společenstva	7
3.2.4 Škůdci	7
3.2.5 Choroby	8
3.2.6 Sklizňové parametry	8
3.2.7 Sklizňová linka	9
3.3 Výživa silážní kukuřice.....	10
3.3.1 Odběrové normativy	10
3.3.2 Význam dusíku pro rostliny.....	10
3.3.3 Dynamika odběru dusíku během vegetace	10
3.3.4 Vliv dusíku na tvorbu biomasy	11
3.4 Přeměny dusíku v půdě	11
3.4.1 Amonifikace.....	12
3.4.2 Nitrifikace	12
3.4.3 Denitrifikace	13
3.4.4 Volatizace	13
3.5 Hnojení silážní kukuřice dusíkem	13
3.5.1 Základní předset'ové hnojení	13
3.5.2 Hnojení během vegetace	14
3.6 Minerální dusíkatá hnojiva využívaná ke hnojení silážní kukuřice.....	14
3.6.1 Močovina	14
3.6.2 DAM 390	15
3.6.3 Ledek amonný s vápencem.....	15
3.6.4 Síran amonný	15
3.7 Hnojení fosforem a draslíkem.....	16
3.7.1 Hnojení fosforem	16

3.7.2	Hnojení draslíkem.....	17
3.8	Statková hnojiva a digestát	17
3.8.1	Chlévský hnůj.....	18
3.8.2	Kejda.....	18
3.8.3	Digestát.....	19
3.9	Čistírenské kaly.....	19
4	Metodika.....	21
4.1	Charakteristika pokusu.....	21
4.1.1	Pokusné parcely a stanoviště	21
4.1.2	Varianty pokusu.....	22
4.1.3	RGT Sixxus	22
4.1.4	Sběr vzorků.....	23
4.2	Laboratorní analýza	23
4.2.1	Obsah dusíku v sušině	23
4.2.2	Odběr dusíku sklizenou biomasou.....	23
4.3	Úhrn srážek a průměrná teplota	24
5	Výsledky.....	26
5.1	Výnos čerstvé hmoty	26
5.2	Obsah sušiny v nadzemní biomase	26
5.3	Výnos sušiny	27
5.4	Obsah dusíku v sušině.....	28
5.5	Odběr dusíku sklizenou biomasou.....	29
5.6	Odběrový normativ dusíku	30
6	Diskuze.....	32
6.1	Výnos čerstvé hmoty a sušiny silážní kukuřice	32
6.2	Výnos sušiny	32
6.3	Obsah dusíku v sušině.....	33
6.4	Odběr dusíku, bilance dusíku a odběrové normativy.....	33
7	Závěr	35
8	Literatura.....	37
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	43

1 Úvod

Kukuřice je významnou plodinou nejen v České republice, ale i na celém světě. Sklizený produkt se snadno uchovává ve formě siláže. Svým složením představuje kvalitní zdroj živin pro skot a energeticky bohatou vstupní surovinu pro výrobu bioplynu. Zrno kukuřice lze využít nejen pro zkrmování hospodářskými zvířaty či pro výživu populace, ale také pro výrobu bioetanolu jakožto ekologické náhrady pohonných hmot. Vzhledem k široké škále využití a vysokým výnosům se řadí mezi celosvětově nejvýznamnější plodiny.

Pro dosažení maximálních výnosů je zapotřebí věnovat hnojení kukuřice značnou pozornost. Bez zabezpečení dostatečného množství živin nelze dosahovat stabilních a uspokojivých výsledků. Stanovením optimální hladiny především hnojení dusíkem se zabývá mnoho studií. Přebytek dusíku ústí ve ztráty vyplavením a následně až kontaminaci spodních a povrchových vod. Nadbytečné hnojení dusíkem také představuje ekonomickou ztrátu umocněnou vysokou cenou dusíkatých hnojiv. Při stanovení plánu hnojení je nutné brát v potaz aktuální zásobu živin na pozemku, půdní a klimatické podmínky, pěstovaný hybrid kukuřice, užitkový směr kukuřice a v neposlední řadě výnosovou hladinu, na kterou daný porost bude cílit.

Vzhledem ke snižování stavu hospodářských zvířat v České republice ubývá organických hnojiv. Hlavní výhodou této skupiny hnojiv je jejich schopnost dlouhodobě zlepšovat půdní úrodnost. V dnešní době je důležité hledat alternativy, které jsou ekonomicky dostupné a zároveň dokážou zlepšovat kvalitu zemědělské půdy. Jednou z alternativ se nabízí aplikace upravených čistírenských kalů. Jakožto odpad z čistíček odpadních vod se jedná o ekonomicky dostupnou surovinu, kterou po splnění vyhláškou stanovených obsahů rizikových látek a parametrů lze využít jako zdroj živin nejen pro pěstování kukuřice.

Při řešení bakalářské práce bude ověřeno působení dusíkatých hnojiv a čistírenských kalů na silážní kukuřici, a to jak literárními poznatky, tak i výsledky polních pokusů.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv stupňovaných dávek dusíku na výnos silážní kukuřice a obsah dusíku v nadzemní biomase. Z výsledků byl vypočítán odběr dusíku a bilance dusíku rostlinami.

Hypotézy:

- 1) Předpokládám, že při zvyšování dusíkatého hnojení se do určité dávky bude zvyšovat výnos silážní kukuřice.
- 2) Předpokládám, že při zvyšování dávek dusíkatého hnojení se bude zvyšovat obsah dusíku v rostlinách.
- 3) Předpokládám, že při zvyšování dávek dusíkatého hnojení nebude úměrně růst i odběr dusíku rostlinami.

3 Literární rešerše

3.1 Kukuřice setá

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) je významnou plodinou pěstovanou na orné půdě v České republice. Svědčí o tom osevní plocha, která v roce 2019 dosáhla 307 220 hektarů, což odpovídá 12,5 % z celkové osevní plochy České republiky (Český statistický úřad a 2019).

Společně s pšenicí a rýží je nejdůležitější světovou obilninou. V dnešní době hraje významnou roli nejen v potravinářství, ale i ve výrobě krmiv, průmyslu a energetice (Zimolka et al. 2008). Největšími producenty kukuřice jsou Spojené státy americké, Brazílie, Francie, Indie a Itálie. V Africe je převážná část produkce určena pro lidskou spotřebu (Onasanya RO et al. 2009).

Původ této plodiny je v tropických a subtropických oblastech Jižní a Střední Ameriky. Nejprve byla využívána sběrem před 12 000 lety. S pěstováním kukuřice začali Aztékové, Mayové a Inkové před 5 600 lety. Přelomem v pěstování kukuřice byly první hybridní linie pěstované od roku 1930 (Skládanka 2006).

3.1.1 Morfologie kukuřice

Kukuřice má dvě rozdílné kořenové soustavy. Primární soustava je složena z kořínků založených již v zárodku. Tyto kořeny disponují malou velikostí, ale hrají podstatnou roli při zásobení živin vzcházejících rostlin. Sekundární soustava se vyvíjí zhruba 2,5 cm pod povrchem půdy. Od fáze pátého listu již tato soustava převládá a přebírá hlavní funkci v zásobení rostliny živinami (Froelich 2013). Adventivní kořeny se tvoří v bazálním interkalárním meristému spodního článku stébla. Představují hlavní podíl kořenové soustavy rostliny. Podle podmínek prorůstají do hloubky 1,5 až 3 a více metrů. Převážná část se nachází v hloubce 20 cm v okruhu 1 metru od stébla. Kukuřice vytváří ze tří až čtyř nadzemních kolének vzdušné kořeny, které chrání rostlinu před polehnutím (Zimolka et al. 2008).

Nadzemní část rostliny je tvořena vzpřímeným zdužnatělým stéblem o výšce 1 až 4 metry, listy a generativními orgány. Některé kultivary mohou mít schopnost tvorby odnoží. Stéblo se skládá z článků (internodií) a plných kolének (nodu). Internodia se směrem k vrcholu zužují. Dospělá rostlina má zhruba do 30 listů (Office of the Gene Technology Regulator 2008). Listy jsou dlouze kopinaté s výrazným středním žebrem. Na povrchu listu nalezneme chloupky, spodní strana je hladká. Tvoří také pochvu chránící báze jednotlivých článků, které si dlouhou dobu uchovávají meristémový charakter (Zimolka et al. 2008).

Generativními orgány je kukuřice odlišná od dalších lipnicovitých druhů. Květy má jednopohlavné a jednodomé. Na vrcholu rostliny se nachází samčí květenství – terminální

lata. Samičím květenstvím je palice nacházející se v úžlabí listů. Obal tvoří papírové listeny, ze kterých vyčnívají dlouhé žláznaté nitkové blizny. Obilky vyrůstají ze zdužnatělého větene palice. Barva obilek je nejčastěji žlutá, bělavá či červená (Novák & Skalický 2017).

3.1.2 Hatch-Slackův cyklus

Kukuřice náleží mezi rostliny s C4 cyklem též nazývaným Hatch-Slackův cyklus. Prvním produktem procesu je oxalacetát, který vzniká v buňkách mezofylu se zvýšeným počtem granálních tylakoidů. Katalyzátorem reakce je enzym fosfoenolpyruvát karboxyláza – PEP (Sage 2003). Oxalacetát se mění na malát, který dále zpracují buňky pochev cévních svazků. Tyto buňky disponují mimořádným množstvím mitochondrií a chloroplastů. Zde oxalacetát pomocí oxidativní dekarboxylace přechází na pyruvát, který je postupně zpracován Calvinovým cyklem. Fixační cesta C4 představuje efektivní využívání oxidu uhličitého a omezuje fotorespirační ztráty. Oproti C3 rostlinám potřebuje větší přísun energie. Rostliny s C4 cyklem jsou vhodnější do teplejších oblastí s vyšším přísunem slunečního záření (Gloser 2003).

3.1.3 Užitkové směry

3.1.3.1 Silážní kukuřice

Kukuřičná siláž představuje levný zdroj energie ve formě škrobu a vlákniny. Často tvoří až 50 % sušiny krmné dávky skotu. Obsah dusíkatých látek se pohybuje v rozmezí 8-9 %. Při vysokém zastoupení kukuřice v krmných dávkách je nutné kompenzovat poměr dusíkatých látek přidáním bílkovinných či jaderných krmiv (Zimolka et al. 2008). Silážní kukuřice v roce 2019 na území České republiky zaujímal 231 367 hektarů orné půdy, což odpovídá 75,3 % z celkové osevní plochy kukuřice v České republice (Český statistický úřad a 2019).

Vzhledem k vysokému zastoupení energie se silážní kukuřice používá nejen jako krmivo skotu, ale i pro energetické využití. V bioplynových stanicích dochází k fermentaci rostlinného materiálu za vzniku methanu. Výťažnost bioplynu z jednoho hektaru se pohybuje v rozmezí 5 700 až 7 800 m³/ha. Při výnosu 50 t/ha se rovná energetický zisk 16 MWh/ha. Další energetické plodiny jako jsou obilniny sklizené v mléčné či voskové zralosti či cukrovka mají výrazně menší energetický zisk (Zimolka et al. 2008).

Správná konzervace siláže fermentací je klíčová pro kvalitu výsledného produktu. Nejdříve probíhá eliminace aerobního prostředí, které je zapříčiněno vzduchem mezi jednotlivými částmi rostlinného materiálu. Důležité je zamezení přístupu vzduchu a dokonalé utužení silážované hmoty, aby došlo k eliminaci aerobního prostředí co nejrychleji. V opačném případě dochází k nežádoucí mikrobiální aktivitě, která znehodnocuje výsledný produkt. Následuje fermentace, při které se zvyšuje zastoupení bakterií mléčného kvašení. Dochází ke snížení pH na výslednou hodnotu pH 3,9 (Whitlock et al. 2000), kde dochází

ke snížení mikrobiální aktivity a stabilizaci krmiva. Při zkrmování je nutné zamezit dlouhé expozici siláže vzduchu. V opačném případě dochází ke kontaminaci kvasinkami a plísněmi (Mohd-Sepatar et al. 2012).

Rostliny se sklízí před dosažením fyziologické zralosti při sušině v rozmezí 30 až 35 %, což napomáhá správnému průběhu fermentačních procesů. Nízká sušina zapříčiňuje rozvoj bakterií rodu *Clostridium*, které přeměňují přístupné cukry v siláži na kyselinu máselnou a oxid uhličitý. Výsledné krmivo má vysoké pH, nízkou kvalitu a zhoršené sensorické vlastnosti (Elferink et al. 2000).

3.1.3.2 Zrnová kukuřice

V roce 2019 na území České republiky zaujímala zrnová kukuřice celkem 75 853 ha osevní plochy (Český statistický úřad a 2019). Reálná plocha sklizené kukuřice na zrno je ale vyšší. Navýšení zapříčiňuje sklizeň části silážní kukuřice na zrno ve vlhkých letech, kdy jsou pokryty požadavky na produkci silážní kukuřice. Zrno kukuřice je především využíváno jako potravina, k výrobě krmných směsí a pro průmyslové zpracování. Kukuřičné šroty hospodářská zvířata lépe přijímají oproti ostatním jadrným krmivům s výjimkou ovsu (Zimolka et al. 2008).

3.2 Pěstování silážní kukuřice

3.2.1 Nároky na stanoviště

Kukuřice patří mezi teplomilné rostliny. Klíčení začíná probíhat při teplotě půdy 6 °C. Nízké teploty pod bodem mrazu trvající déle jak 3-4 hodiny jsou pro již vyklíčené rostliny likvidační. Optimum pro tvorbu vegetativních orgánů se pohybuje kolem 20 °C (Vrzal et al. 1995). Kukuřice se hodí spíše do teplejších oblastí, kde je dostatečná suma teplot za vegetační období. Hybridy kukuřice mají přiřazené číslo ranosti FAO, které promítá potřebnou sumu teplot. V České republice se nejčastěji používají hybridy s číslem FAO v rozmezí 200-350 (Rüdelsheim & Smets 2011).

Tabulka 1: Rozdělení čísel FAO vzhledem k ranosti a sumě teplot za vegetaci (Vrzal et al. 1995)

Skupina ranosti	Číslo FAO	Průměrná denní t °C	Suma t °C
Velmi raná	150-199	13,5-14,4	1700-1950
Raná	200-249	14,5-15,5	1950-2200
Poloraná	250-299	15,5-16,4	2200-2500
Polopozdní	300-340	16,5-17,4	2500-2800
Pozdní	nad 350	nad 17,5	2800-3200

Nevhodné pro pěstování kukuřice jsou těžké a zamokřené půdy, které neumožňují včasné prohřátí půdy v jarních měsících. Opačným extrémem jsou půdy lehké, kde kukuřice

během vegetace trpí přísušky. Obecně lze říci, že kukuřice je daleko více náchylná na teplotu, než na půdní podmínky (Vrzal et al. 1995). Optimální pH půdy při kyselém podorničí je 6-6,5 (Pagani 2011).

Kukuřice není nikterak náročná na zařazení do osevního postupu. Dokáže velice dobře využít zlepšující předplodiny jako jsou jeteloviny a luskoviny, které zanechávají kvalitní posklizňové zbytky. V současné době ale dochází k zařazení kukuřice po zlepšujících předplodinách pouze zřídka. Nejčastěji je zařazena mezi dvě obilniny jako přerušovač obilného sledu. Kukuřici je možné pěstovat za zvýšených nároků na regulaci plevelů a hnojení i více let po sobě (Zimolka 2008).

Při výběru pozemku musíme brát v úvahu erozní ohroženost daného DPB. Nízká pokryvnost půdy v počátcích růstu a lineární struktura porostu jsou hlavními faktory zapříčínující vodní erozi (Vogel et al. 2016). Určení erozně ohrožených DPB a následných legislativních opatření pro pěstování kukuřice jakožto plodiny s nízkou ochrannou funkcí na daném místě lze dohledat v aplikaci LPIS.

3.2.2 Zakládání porostů

Příprava půdy představuje důležitý agrotechnický zásah pro správný vývoj rostlin. Kukuřice vyžaduje půdy zpracované do větších hloubek. Vhodným zásahem je podrývání do hloubky 45-50 cm. Pokud neprovádíme podrývání, vhodným sledem operací je podmínka po sklizni předplodiny a podzimní střední až hluboká orba. Jarní přípravu zaměříme na urovnání povrchu hrubé brázdy a kypření do hloubky 40-60 mm, která odpovídá následné hloubce setí (Skládanka 2006).

Zajímavou alternativou pro omezení vodní eroze při pěstování širokořádkových plodin je zakládání porostů technologií strip-till. Podstatou tohoto systému zpracování půdy je kypření pouze 20-25 cm širokých řádků, do kterých následně sejeme kukuřici. Zbylá plocha zůstává nenakypřena s pokryvem rostlinných zbytků předplodiny či meziplodiny. Toto opatření přispívá ke snížení vodní eroze. Oproti no-till technologiím se nakypřená půda v jarních měsících rychleji prohřívá a vysychá, čímž je umožněno včasné setí (Roozeboom et al. 2007).

Osivo kukuřice vyžaduje pro vzcházení zahřátou a vlhkou půdu s dostatkem vzduchu. Datum výsevu se odvíjí především od teploty půdy, která by měla dosahovat 8-10 °C (Rüdelsheim & Smets 2010). Dle Czarnak-Klos & Rodríguez-Cerezo (2010) odpovídající datum pro Českou republiku je v teplejších oblastech Moravy 10.4.-25.4. a v ostatních regionech 15.4.-10.5. V centrální Evropě zemědělci nejčastěji volí výsevek ve výši 40 000 až 135 000 jedinců na hektar (Bavec & Bavec 2002). V České republice se nejčastěji vysévá 74 000 až 95 000 jedinců na hektar (Fuksa et al. 2020). Šířka řádku se pohybuje od 45 cm do 75 cm, kdy užší řádky napomáhají redukovat erozi (Brant et al. 2017).

3.2.3 Plevelná společenstva

Vzhledem k pozdějšímu datu výsevu oproti dalším jařinám a dlouhé časové periodě před uzavřením řádků vznikají v porostech kukuřice vhodné podmínky pro klíčení a růst plevelů. Mezi jednoděložné plevele kukuřice patří *Echinochloa crus-galli* (L.), *Elytrigia repens* (L.) a *Setaria viridis* (L.). Z dvouděložných rostlin nacházíme v porostech především *Chenopodium album* (L.), *Amaranthus retroflexus* (L.) a *Cirsium arvense* (L.) (Rüdelsheim & Smets 2010).

Regulace plevelných společenstev má velký vliv na vývoj kukuřice, neboť disponuje nízkou schopností odolávat tlaku plevelů (Andr et al. 2014). Na více jak 90 % plochy pěstované kukuřice v Evropě se využívá regulace pomocí herbicidů. Nejčastější jsou dvě aplikace během vegetace. První probíhá pre-emergentně po zasetí před vzejitím. Následná post-emergentní aplikace nastává ve fázi 3-7 listů (Rüdelsheim & Smets 2010). Při výběru strategie ošetřování porostu je nutné brát v úvahu aktuální spektrum plevelů a jejich fázi růstu.

Alternativu herbicidů představuje meziřádková kultivace během vegetace. Tato technologie nese výhody v provzdušnění povrchu meziřádku, likvidace půdního škraloupu a vytvoření příznivých podmínek pro růst kukuřice (Skládanka 2006). Zároveň je možné během kultivace provést přihnojení.

3.2.4 Škůdci

Škůdci kukuřice působí nejen ztráty ve výnosu výsledného produktu, ale zároveň jimi způsobená poškození rostlin vytváří vstupní bránu pro některé choroby. Mezi škůdce vzcházející kukuřice řadíme drátovce, larvy tiplic, osenice a larvy bázlivce kukuřičného. Ochrana spočívá především v moření osiva insekticidními přípravky (Zimolka et al. 2008).

Bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera*) je jedním z významných škůdců kukuřice. Larvy se živí kořínky rostlin kukuřice, čímž omezují její růst, stabilitu a výnos. Jedním ze základních opatření proti šíření tohoto škůdce je osevňovací postup bez po sobě jdoucích kukuřic. Při vhodně zvoleném osevňovacím postupu larvy bázlivce následující rok nenacházejí potravu a hynou (Kazda 2015). Po napadení kořenového systému kukuřice hyne a polehává. Rostlina se snaží napřimovat a vytváří tvar označovaný termínem „husí krky“. U kukuřice na siláž se chemické ošetření proti dospělcům neprovádí (ÚKZÚZ 2020).

Zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*) parazituje na kukuřici pouze ve stádiu housenky. Dřeň lodyh, palice i zrno mají žírem vytvořené chodbičky. Při silném poškození se rostliny lámou nad nebo pod palicí. V místech napadení rostliny se vytvářejí podmínky pro rozvoj houbových chorob především *Fusarium* sp. (ÚKZÚZ 2020). Základním opatřením proti šíření zavíječe kukuřičného je kvalitní zapravení rostlinných zbytků, ve kterých housenky přezimují. Nejvhodnějším způsobem je provedení kvalitní orby se zaklopením posklizňových zbytků nejlépe s předchozím rozdrcením stébel mulčovačem. Vhodný termín k chemické ochraně je v počátku líhnutí housenek z nakladených snůšek vajíček. Pro toto využití jsou registrované

přípravky s účinnou látkou alpha-cypermethrin, deltamethrin, indoxacarb a další (Kazda 2015). Další variantu pro ochranu kukuřice představuje aplikace vaječných parazitů vosiček *Trichogramma sp.* (Rüdelsheim & Smets 2010). Termín aplikace se váže na začátek kladení vajíček (Kazda 2015). Další možností ochrany je pěstování GMO kukuřice s rezistencí proti zavíječi kukuřičnému. Pěstování těchto odrůd omezuje zákon č. 371/2016 Sb.

3.2.5 Choroby

Významným opatřením proti houbovým chorobám kukuřice je moření osiva fungicidními přípravky. V současné době se nemořené osivo v konvenčním zemědělství nevyužívá. Nejvýraznějšími patogeny jsou *Fusarium sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Penicillium sp.*, *Puccinia sorghi* a *Ustilago maydis*, které způsobují širokou paletu chorob (ÚKZÚZ 2020). Potlačení houbových chorob napomáhá výběr odolných odrůd, udržování odstavu kukuřice a obilnin v osevním sledu, vyrovnaná výživa a vhodný management posklizňových zbytků. Nejvhodnější kombinaci představuje orba s důkladným zaklopením rostlinných zbytků.

Fusarium sp. způsobuje růžovou hnilobu stébel a palic a bělorůžovou hnilobu obilek kukuřice. Patogen přezimuje ve formě mycelia na rostlinných zbytcích či jako saprofyt na povrchu semen. Na rostlině se vytváří viditelné mycelium bílo-růžové barvy (ÚKZÚZ 2020). Výsledek napadení rostlin je snížení výnosu a kontaminace produktu mykotoxiny. Siláže s obsahem mykotoxinů mohou způsobovat zdravotní potíže zvířat při zkrmování. Hlavními skupinami mykotoxinů jsou TCT toxin, zearalenon, fumonisin, deoxyinvalenon a moniliformin (Logrieco et al. 2002). Rozvoj růstu patogenu je podpořen poškozením rostlin škůdci, kteří vytvářejí vstupní bránu do rostliny. Mimo kukuřice *fusarium sp.* parazituje i na ostatních obilninách.

Choroby kořenové soustavy jsou nejčastěji zapříčiněné kořenomorkou (*Rhizoctonia sp.*) a *Fusarium sp.* Ačkoliv patogeny napadají kořeny po celou dobu vegetace, jejich tlak sílí v období dešťů, kdy vyšší obsah vody utlumuje výměnu půdního vzduchu. Napadené rostliny mají nižší vzrůst, tvoří menší palice a později dozrávají (Zimolka et al. 2008).

Ustilago maydis způsobující obecnou snětivost kukuřice napadá palice, stébla, listy a vrcholové laty. Vytváří velké nádory potažené šedým povlakem. Po prasknutí se uvolňují spóry, které napadají porosty v následující sezóně (CIMMYT 2004). Sněť neprodukuje mykotoxiny. Při silnějším napadení nad 20 % dochází ke zhoršení fermentačních procesů v siláži. Na menších plochách, a především v množitelských porostech je vhodné odstraňovat nádory ručně. Vzhledem k biologii patogenu nelze využít jako ochranu moření osiva (ÚKZÚZ 2020).

3.2.6 Sklizňové parametry

Skližeň silážní kukuřice při správném podílu sušiny je klíčová pro průběh fermentačních procesů. Vhodná sušina se pohybuje v rozmezí 28-34 %, což odpovídá těstovité zralosti zrna. V tomto období končí syntéza škrobů a rostlina má nejvyšší

koncentraci energie. Orientační bod pro určení data sklizně představuje tzv. „mléčná čára“, která přímo koreluje se zralostí. Pokud dosahuje 2/3 zrna, nastává vhodný čas pro sklizeň (Zimolka et al. 2008).

Zastoupení palic v celkové sušině ve sklizňové zralosti se pohybuje v rozmezí 45-55 %. Palice se na celkovém výnosu živin podílejí z 60-75 %. Velká část z celkové energie je uložena v zrně. Ve sklizňovém termínu je již tvrdé a bez mechanického narušení následně těžko stravitelné (Vrzal et al. 1995). Při sklizni zrno mechanicky narušujeme, aby se zvýšila jeho stravitelnost.

Důležitý parametr sklizené hmoty představuje délka řezanky. Pro zkrmování skotem je vhodná délka částic 5-25 mm (Skládanka 2006). Struktura a velikost částic má významný vliv na trávení. Se stoupající délkou ze 4 mm do 16 mm také rovnoměrně stoupá stravitelnost (Boever et al. 1993). Pro výrobu siláže pro použití v bioplynové stanici délku řezanky zkracujeme na 4-8 mm (Szlachta et al. 2018). Dalším parametrem pro stanovení délky řezanky je aktuální sušina sklizené hmoty. Při jejím nárůstu má klesat délka řezanky, aby se zajistilo správné utužení a tím zkrátilo období aerobní nestability (Zimolka et al. 2008).

3.2.7 Sklizňová linka

Hlavním článkem linky na sklizeň silážní kukuřice je sklízecí řezačka nejčastěji v samohodném provedení. V přední části se připojuje adaptér, který odřezává a dopravuje jednotlivé rostliny do vkládacího ústrojí. Skládá se z podávacích válců stlačujících hmotu pro následné řezací ústrojí. Samotné řezání zajišťuje řezací buben osazený 8-40 noži s protiostrím. Mechanické narušení zrn provádí tzv. „corn cracker“. Skládá se z dvou proti sobě se otáčejících jemně rýhovaných válců. Metač pomocí odhazovacích lopatek dává řezance rychlost a ta opouští sklízecí řezačku (Zimolka et al. 2008).

Transport sklizené hmoty zajišťují dle aktuálních podmínek traktorové soupravy a kamiony. Transportní technika musí být dostatečně výkonná, aby se minimalizovaly prostoje sklízecí mlátičky jakožto nejdražšího článku linky (Buckmaster 2009).

Hlavní způsob uskladnění nařezané hmoty představuje uložení do silážních žlabů. Kukuřice je rozhrnuta do vrstvy maximálně 30 cm a následně opakovanými přejezdy mechanizace utužena. Po naplnění žlabu celou plochu důkladně zakrýváme plachtou, aby se zamezil přístup vzduchu. Další možnosti skladování představují speciální silážní vaky, síla a kulaté balíky. Při všech technologiích skladování je stěžejní hmotu dostatečně utužit, aby se snížil obsah vzduchu na co nejnižší úroveň (Zimolka et al. 2008).

3.3 Výživa silážní kukuřice

3.3.1 Odběrové normativy

Kukuřice patří do skupiny rostlin s vysokými požadavky na přísun živin. Při výběru správné strategie hnojení porostu musíme vycházet z cíleného výnosu, odběrových normativů, rozborů půdních vzorků a aktuálního stavu přístupného dusíku v půdě (Clark et al. 2020). Odběrové normativy a celkový odběr živin silážní kukuřice je přepočítán na výnos 35 t/ha (Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. ve znění 277/2020 Sb.).

Tabulka 2: Odběrové normativy silážní kukuřice N, P, K (Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. ve znění 277/2020 Sb.) a Ca, Mg, S (Munroe 2020)

	N	P	K	Ca	Mg	S
Odběr živin kg/t	4,7	0,7	4,4	0,75	0,48	0,3
Odběr živin kg/ha	165	25	154	26	17	11

3.3.2 Význam dusíku pro rostliny

Dusík má nenahraditelný význam ve výživě rostlin. Je stavebním prvkem bílkovin a chlorofylu, které představují zásadní elementy rostlinného těla. Zastává také velkou řadu fyziologických procesů v rostlině. Stimuluje růst listů, stonku a kořenů. Podporuje rychlý počáteční vývin, kvalitu produkce, a především její výnos (Leghari et al. 2016). Nedostatek dusíku na počátku vegetace zapříčiňuje omezení tvorby stavebních i funkčních bílkovin. Důsledkem je zbrzděný růst všech orgánů rostliny (Baier et al. 1988). Celkové požadavky silážní kukuřice na výživu dusíkem se pohybují v rozmezí 150-200 kg N/ha (Černý et al. 2012). Optimální hladina dusíkatého hnojení závisí na půdních podmínkách, klimatických podmínkách stanoviště, agrotechnice a v neposlední řadě také na pěstovaném hybridu (Busakli Carpici et al. 2010).

Deficience dusíku se projevuje světlými až nažloutlými listy a tenkým stéblem. Změna barvy vzniká od okraje listu a pokračuje směrem ke středu. Dusík má vysokou mobilitu v rostlině, proto se příznaky nejprve projevují na stranách listů ve spodní části rostliny. S postupujícím nedostatkem se projevy deficience přesouvají do vyšších pater rostlinného těla (Sawyer 2004).

3.3.3 Dynamika odběru dusíku během vegetace

Odběr dusíku kukuřicí během vegetace není rovnoměrný. Do fáze čtyř plně vyvinutých listů, nastávající zhruba 30 dní po zasetí, odeberou rostliny kukuřice pouze 1 kilogram dusíku na hektar. V následujících šesti týdnech se odběr rovná až 70 % celkové potřeby dusíku. Zabudován je především do nadzemní biomasy, která v tomto období zaznamenává rychlý nárůst. Na počátku květu odběr dusíku ustává. Rostliny opětovně zvýší svou potřebu

až v období tvorby zrna, kdy probíhá translokace asimilátů do generativních orgánů. Po dozrání je více jak polovina celkového dusíku v rostlině uložena v zrna (Joern & Sawyer 2006). Na počátku rapidního růstu rostlina určuje, jaký výnos je schopná vytvořit. V tuto dobu je stěžejní přístupnost dostatku živin a vody, aby se maximalizoval potenciál budoucí sklizně (Espinoza & Ross 2014).

3.3.4 Vliv dusíku na tvorbu biomasy

Dusíkatá výživa hraje významnou roli v produkci biomasy. Podporuje nárůst listové plochy a oddaluje senescenci, čímž prodlužuje dobu její aktivity. Tyto aspekty podporují zachycování sluneční radiace a efektivitu jejího využití, což jsou základní požadavky pro růst rostlin. Dostatečná výživa dusíkem má přímý vliv na nárůst výnosu zelené hmoty (Muchov 1988). Zvýšení dusíkaté výživy neústí v navýšení počtu listů na rostlině, ale má vliv na zvýšení plochy jednotlivých listů (Lemcoff & Loomis 1986).

Obsah dusíku v nadzemní biomase je více ovlivněn výživou než výsledným výnosem suché hmoty (Černý et al. 2012). Minimální obsah dusíku v suché hmotě, potřebného k dosažení maximální produkce, se během vývoje rostliny snižuje. Začíná na obsahu 3,4 % a při plné zralosti dosahuje hodnoty 1,05 % v suché hmotě (Plénet & Lemaire 2000). Dosažení vyšší než minimální koncentrace nastává u dávek nad hranicí 100 kg N/ha. U dávek přesahujících 200 kg N/ha se pozastavuje nárůst obsahu dusíku v suché hmotě. Stejný trend má i její výnos (Černý et al. 2012).

3.4 Přeměny dusíku v půdě

Dusík je hlavní složkou atmosférického vzduchu. Jeho elementární forma N_2 v ní zastupuje 78 % objemu. Rostliny atmosférický dusík nedokážou využít. Jsou závislé na přísunu minerálního dusíku z půdy, kam se dostává z dusíkatých hnojiv, mineralizace organických látek nebo jako produkt symbiotických mikroorganismů (Leghari et al. 2016). Nejčastěji se jedná o bakterie rodu *Rhizobium* (Lindström & Mousavi 2019). Pro dosažení požadovaných výnosů silážní kukuřice je nutné doplňovat dusík minerálními a statkovými hnojivy.

V orniční vrstvě se nachází zhruba 3000-9000 kg N/ha. Většina z přítomného dusíku se nachází v dusíkatých organických sloučeninách. V této formě je dusík pro rostliny nepřístupný. Přístupnou formou dusíku je dusík ve formě amonné (NH_4^+) a nitrátové (NO_3^-). Souhrnně se tyto formy označují jako minerální dusík (N_{min}), který zastupuje 1-2 % z celkového obsahu dusíku v orniční vrstvě (Balík et al. 2012). Dusík prochází v půdě řadou přeměn, které je nutné pochopit pro správné zvolení plánu hnojení a udržení půdní úrodnosti.

3.4.1 Amonifikace

Organický dusík v půdě se dělí na organický dusík hydrolyzovatelný (65-80 %) a organický dusík nehydrolyzovatelný (20-35 %). Amonifikace je proces deaminace hydrolyzovatelných dusíkatých organických látek, při kterém je tvořen NH_3 . Probíhá při aerobních i anaerobních podmínkách. Společně s nitrifikací se tyto procesy označují jako mineralizace neboli rozklad organických sloučenin na sloučeniny minerální. Amoniak je využíván jako zdroj N pro rostliny a mikroorganismy. Přijmutím protonu ve formě H^+ vzniká z NH_3 amonný kationt NH_4^+ , který je dobře sorbován na půdní sorpční komplex. Na půdách s dostatečnou půdní sorpční kapacitou tedy nedochází ke ztrátám NH_3 (Vaněk et al. 2016).

Průběh amonifikace závisí na podmínkách prostředí. Hlavní roli hraje teplota. Nejrychleji probíhá při 25 °C. Optimální vlhkost je 80 % půdní kapacity. Celkově lze konstatovat, že teplota má oproti vlhkosti větší význam pro rychlost a průběh mineralizace (Guntinas et al. 2012).

3.4.2 Nitrifikace

Nitrifikace je proces, při kterém se amonný dusík oxiduje na nitrátový. Zajišťují ho autotrofní mikroorganismy, které z procesu získávají energii. Nitrifikace zahrnuje nitritaci a nitrataci. Při nitritaci dochází k oxidaci NH_4^+ na NO_2^- . Následná nitratace je založena na oxidaci NO_2^- na NO_3^- (Ciudad et al. 2005).

Proces nitrifikace je závislý na vnějších podmínkách prostředí. Teplotní optimum se pohybuje okolo 30 °C. Při teplotách pod 15 °C dochází ke zpomalení o 50 % a při teplotách pod 5 °C se proces zastavuje. Půdní reakce vyhovuje slabě kyselá až mírně alkalická. Klíčový faktor pro průběh představuje dostatek půdního vzduchu. Nitritace probíhá za pomoci bakterií *Nitrosomona*. Nitrataci zajišťují bakterie *Nitrobacter* (Shammas 1986).

Zpomalení nitrifikace zajišťují inhibitory nitrifikace, které je možné aplikovat společně s hnojivem. Pomalejší uvolňování dusíku zamezuje ztrátám, díky čemuž můžeme zvýšit jednorázovou dávku dodaného dusíku. Vhodné jsou především při zapravení do půdy. V opačném případě může docházet ke zvýšení ztrát dusíku volatizací NH_3 (Růžek et al. 2018).

Díky své vysoké mobilitě v půdním prostředí jsou nitráty náchylné na vyplavení do spodních vrstev půdy a podzemních vod. Půda tím přichází o živiny a hrozí kontaminace podzemních vod. K těmto ztrátám dochází především mimo růstovou sezónu rostlin, kdy není zajištěn odběr dusíku biomasou (Balík et al. 2012). Nitrátová směrnice ukotvuje základní zásady aplikace hnojivých látek. Jejím cílem je zamezit nevhodnému použití dusíkatých hnojiv. Zemědělské subjekty hospodařící na půdě registrované v LPIS musí dodržovat tyto státem stanovené podmínky.

3.4.3 Denitrifikace

Redukce nitrátů až na atmosférický dusík nazýváme denitrifikace. Probíhá bez přístupu vzduchu za přítomnosti organických látek pomocí heterotrofních mikroorganismů (Ciudad et al. 2005). Důsledkem tohoto procesu je ztráta dusíku z půdy. Průběh denitrifikace je podmíněn nedostatkem kyslíku v půdě, přítomností nitrátů a lehce rozložitelné organické hmoty (Bremner & Shaw 1958).

3.4.4 Volatizace

Ztráty amoniakálního dusíku z povrchu či povrchové vrstvy půdy jsou zapříčiněné volatizací. Dle Leghari et al. (2016) dochází k volatizaci především díky nízké vlhkosti povrchu půdy. Mezi další faktory podporující volatizaci patří vysoké teploty a zásadité pH půdy. Nejvhodnějším způsobem zamezení tomuto procesu představuje zapravení hnojiva při nebo ihned po aplikaci, kdy dochází k největším ztrátám. Při aplikaci 330 kg N/ha ve formě hnoje se při zapravení po 24 hodinách pohybujeme na 15% ztrátách dusíku volatizací. Zákonem daná lhůta 24 hodin pro zapravení organických hnojiv je v tomto ohledu nedostačující (Balík J et al. 2012). Pro omezení ztrát dusíku je vhodné využití aplikaci inhibitorů ureázy společně s hnojivem (Upadhyay 2012).

3.5 Hnojení silážní kukuřice dusíkem

Správné nastavení dávek dusíkatého hnojení představuje důležitý faktor pro dosažení požadovaného výnosu. Výsledná potřeba hnojení dusíkem je řízena podmínkami stanoviště a požadovaným výnosem. Cílená výnosová hladina je odrazem výsledků z předešlých let. Pokud zařazujeme silážní kukuřici v osevním postupu po leguminózách se zapravením posklizňových zbytků, redukuje dávku dusíku o 10 až 75 kg N/ha dle množství zapravené organické hmoty (Klír et al. 2008). Aktuální stav obsahu minerálního dusíku lze zjistit pomocí laboratorních testů. Výsledky se stávají vodítkem nejen při stanovení základního hnojení před setím, ale také pro přihnojení během vegetace.

3.5.1 Základní předset'ové hnojení

Kukuřice patří mezi vysoce produktivní plodiny. Vyžaduje vysokou dávku dusíku, které při výnosu 35 tun zelené hmoty odpovídá 165 kg N/ha (Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. ve znění 277/2020 Sb.). Dusík v minerálních hnojivech je vhodné dodat děleně v dávce 2/3 celkového dusíku před setím a 1/3 ve fázi 5-6 listů. Při aplikaci v jedné dávce před setím dochází ke ztrátám až 50 % aplikovaného dusíku (Vrzal et al. 1995). Ztráty dusíku rostou na lehčích půdách s nízkou sorpční kapacitou. Hlavní odběr dusíku rostlinou začíná až měsíc po vzejití porostu. Do této doby je nutné zajistit, aby nebyl dusík z hnojiv ztracen vyplavením do spodních vrstev, denitrifikací nebo volatizací. Pro základní hnojení jsou vhodná minerální hnojiva s amonným a amidickým dusíkem. Nejčastěji je využíván DAM, močovina a síran amonný. Vhodné je doplnit aplikaci těchto hnojiv inhibitory nitrifikace. Síran amonný

podléhá pozvolněji nitrifikaci a zvyšuje rozpustnost půdního fosforu. Napomáhá přístupnosti živin v počátečních fázích kukuřice, čímž se stává vhodným hnojivem pro základní hnojení (Vaněk et al. 2016).

Kukuřice je obilnina, která se svými nároky na agrotechniku a hnojení blíží k nárokům okopanin. Velmi dobře reaguje na hnojení statkovými hnojivy. Významným hnojivem je chlévský hnůj. Běžná dávka se pohybuje do 40 tun na hektar. Preferovaným termínem aplikace je podzim. Pouze na lehčích půdách připadá v úvahu jarní aplikace (Vaněk et al. 2016). K mineralizaci organické hmoty dochází postupně, čímž se omezují ztráty dusíku vyplavením nitrátů do spodních vrstev. Aplikace chlévského hnoje napomáhá obnovit půdní úrodnost a zlepšit zadržování vody v půdě (Wang et al. 2017).

3.5.2 Hnojení během vegetace

Aplikace dusíkatých hnojiv během vegetace má pozitivní vliv na snížení ztrát dusíku vyplavením do spodních vrstev. Především na lehčích půdách s nízkou sorpční kapacitou má hnojení během vegetace znatelný přínos. Přihnojení se provádí ve fázi 6 listů, což odpovídá období počátku zvýšených nároků na odběr dusíku. Hnojivo aplikujeme 5 cm pod povrch půdy (Gagnon & Ziadi 2010). Přihnojení kukuřice během vegetace má svá specifika. Rostliny po aplikaci tekutých hnojiv na list vykazují poškození listové plochy popálením. Dle Vrzála et al. (1995) dokáže kukuřice listy zregenerovat, ale může docházet ke snížení obsahu sušiny. Aplikace granulovaných hnojiv odstředivými rozmetadly zapříčiňuje poškození rostlin průletem jednotlivých granulí nebo zapadnutím do paždí listů (Vaněk et al. 2016).

Pro přihnojení během vegetace lze využít i aplikaci tekutých statkových hnojiv. Oproti aplikaci před setím a na podzim dochází k výrazně menším ztrátám dusíku vyplavením. Samotná aplikace má i svá úskalí. Při přejezdu techniky v porostu dochází k utužení půdy a případně i k poškození rostlin aplikační technikou (Pfarr et al. 2020).

3.6 Minerální dusíkatá hnojiva využívaná ke hnojení silážní kukuřice

Minerální hnojiva jsou výrobky chemického průmyslu. Základní surovinou pro výrobu dusíkatých hnojiv je amoniak. Výroba amoniaku je založena na Haber-Boschově metodě, která využívá atmosférický dusík a vodík. Při teplotách kolem 500 °C, tlaku 150-200 atm a přítomnosti katalyzátoru dochází ke sloučení prvků do molekuly amoniaku (Modak 2002).

3.6.1 Močovina

Diamid kyseliny uhličitě $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, neboli močovina, představuje významné hnojivo používané v zemědělské praxi. Vyrábí se z amoniaku a oxidu uhličitěho. Dusík představuje 46 hmotnostních procent hnojiva. V půdě je štěpen na uhličitán amonný, který se následně

rozkládá na amoniak a kyselinu uhličitou. Pro omezení ztrát amoniaku volatizací při povrchové aplikaci je vhodné využít močovinu s inhibitory ureázy. Omezením činnosti tohoto enzymu se zpomalí proces amonifikace močoviny (Kiss & Simihaian 2002). Amonný dusík v půdě rychle nitrifikuje, čímž přechází do pro rostliny dobře přijatelné nitrátové formy. Tato forma se vyznačuje vysokou mobilitou v půdním profilu, čímž může docházet ke splavování nitrátů do spodních vod. Pro zpomalení nitrifikace lze využít inhibitorů nitrifikace, které zpomalují proces nitrifikace (Abadie et al. 2020). V pěstební technologii kukuřice nachází močovina místo především v předseťové aplikaci. Pro zamezení ztrát dusíku těkáním čpavku je potřeba močovinu aplikovanou na povrch půdy zapravit (Jones et al. 2007).

3.6.2 DAM 390

Kapalné dusíkaté hnojivo DAM 390 je vodný roztok dusičnanu amonného NH_4NO_3 a močoviny. Dusík zaujímá 39 objemových procent, což vzhledem k hustotě hnojiva 1300 kg/m^3 odpovídá 30 % hmotnosti. $\frac{1}{2}$ obsaženého dusíku je v amidické formě (NH_2^-), $\frac{1}{4}$ ve formě nitrátové (NO_3^-) a $\frac{1}{4}$ ve formě amonné (NH_4^+). Vykazuje silně oxidační účinek, čemuž je nutno uzpůsobit aplikační techniku (Vaněk et al. 2016).

DAM 390 je používán na hnojení k rozkladu slámy, přihnojení během vegetace a základní hnojení. Aplikace společně s herbicidy může zvyšovat jejich účinnost. Při listové aplikaci je nutné brát v potaz možné poškození porostu popálením listové plochy. V systému pěstování kukuřice je především využíván jako základní předseťové hnojení. Při jeho aplikaci se obdobně jako u močoviny musí dbát na včasné zapravení do půdy pro omezení ztrát amoniaku volatizací. Přihnojení porostu kukuřice během vegetace na list není vhodné (Petr et al. 1988).

3.6.3 Ledek amonný s vápencem

Ledek amonný s vápencem neboli LAV je pevné minerální hnojivo dodávané v granulované formě. Vyrábí se z dusičnanu amonného NH_4NO_3 a jemně mletého vápence. V Evropě společně s dusičnanem amonným zastupují 43 % prodaného dusíku v minerálních hnojivech (Ahlgren et al. 2008). LAV obsahuje 27 % dusíku, který je z $\frac{1}{2}$ ve formě amonné a z $\frac{1}{2}$ ve formě nitrátové. Amonná forma působí pozvolněji oproti nitrátové formě, která se vyznačuje rychlou přístupností pro rostliny. Vzhledem ke složení je LAV univerzálním hnojivem vhodným jak k základnímu hnojení, tak i přihnojení během vegetace.

3.6.4 Síran amonný

Síran amonný $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ obsahuje 21 % dusíku a 24 % síry. Má krystalickou strukturu, která bez granulace komplikuje rovnoměrnou aplikaci na pozemek. Vzhledem k vysokému obsahu síry má výrazně okyselující charakter. Aplikace je vhodná jen do půd s vyšším pH. Představuje vhodné hnojivo pro plodiny s vyššími požadavky na odběr síry. Dusík je obsažen v amonné formě NH_4^+ . Amonný iont se ochotně rozpouští v půdní vodě a sorbuje

se na sorpční komplex (Broadbent et al. 1958). Nitrifikace dusíku ze síranu amonného probíhá pomaleji oproti ostatním hnojivům. S ohledem na pomalejší uvolňování dusíku je vhodný pro základní hnojení kukuřice, u které je hlavní odběr dusíku až během období rychlého nárůstu nadzemní biomasy.

3.7 Hnojení fosforem a draslíkem

3.7.1 Hnojení fosforem

Fosfor hraje nezastupitelnou roli při transportu a uchování energie v rostlinném těle (Espinoza & Ross 2014). Deficience se projevuje červeným zabarvením rostlin. Vzhledem k vysoké mobilitě fosforu v rostlině se nedostatek prvku vyskytuje nejprve ve spodních patrech rostliny (Sawyer 2004). Příjem fosforu závisí na obsahu přístupných forem v půdě (Sofyan et al. 2019). Podmínkou pro hnojení tímto prvkem je slabě kyselá až neutrální půdní reakce. Při nevhodné půdní reakci dochází ke tvorbě nerozpustných sloučenin. V alkalických půdách se vytváří těžce rozpustné fosforečnany vápenaté a na kyselých půdách fosforečnany hliníku a železa (Zimolka et al. 2008).

Vhodnou variantou hnojení je aplikace statkového hnoje, který dokáže zajistit dostatečné množství živin během vegetace (Hlisnikovsky et al. 2020). Potřebná dávka fosforu vychází z odběrového normativu a předpokládaného výnosu. Fosfor z organických hnojiv rostliny v prvním roce po aplikaci využijí zhruba z 20-30 % (Zimolka et al. 2008). Do potřeby hnojení se započítává pouze tato část fosforu. V případě nízké zásoby fosforu v půdě pod 50 mg/kg podle metody Mehlich III se zvyšuje dávka fosforu o 50 %. Při obsahu 50-80 mg/kg v půdě navyšujeme dávku o 25 % (Klír et al. 2008.). Při hnojení fosforem hnojem skotu je při výnosu 35 tun hmoty potřeba aplikovat 60 t/ha.

Fosforečná minerální hnojiva se dělí podle jejich rozpustnosti na rozpustné ve vodě, citranu amonném, v 2% roztoku kyseliny citrónové a v silných kyselinách. Mezi používaná hnojiva patří jednoduchý superfosfát složený z $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ a CaSO_4 . Stejně jako další superfosfáty je rozpustný ve vodě. Prodává se ve formě práškové (18-19 % P_2O_5) a formě granulované (19 % P_2O_5). Granulovaný dvojitý superfosfát tvořen $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ s obsahem 33 % P_2O_5 . Granulovaný trojitý superfosfát obsahující $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Hnojivo Fosmag MK obsahuje mimo fosforu také hořčík, vápník a síru. Často používanou variantou při hnojení kukuřice je amofos, který obsahuje 52 % P_2O_5 a 12 % N (Kunzová 2009). Aplikace amofosu tzv „pod patu“ zajistí dostatečné množství fosforu a startovací dávku dusíku pro rostliny, které ještě nemají dostatečně vyvinutý kořenový systém. Dostupnost fosforu je v tuto dobu snížena z důvodu nízké příjmové schopnosti kořenů a nedostatečnému pohybu fosforu půdním prostředím zapříčiněným nižšími teplotami půdy na počátku vegetace (Alley et al. 2009).

3.7.2 Hnojení draslíkem

Výživa draslíkem se také nesmí podceňovat. Deficience prvku ústí ve zpomalení růstu, opožděnou zralost a nízký výnos (Espinoza & Ross 2014). Draslík má vysokou mobilitu v rostlině. Projevy jako je žloutnutí okrajů listů a jejich nekrózy se vyskytují na nejstarších částech rostliny a následně postupují výše na novější listy. Symptomy se nevyskytují v raných fázích růstu, ale objevují se až po 4-6 týdnech od zasetí (Sawyer 2004).

Při výpočtu potřebné dávky draslíku postupujeme obdobně jako u fosforu. Při obsahu nižším jak 100 mg/kg na lehkých půdách, 105 mg/kg na středních půdách a 170 mg/kg na těžkých půdách navyšujeme dávku o 50 %. Při obsahu 101-160 mg/kg na lehkých půdách, 106-170 mg/kg na středních půdách a 171-260 mg/kg na těžkých půdách navyšujeme dávku o 25 % (Klír et al. 2008). Posklizňové zbytky předplodiny mají vysoký obsah draslíku, proto je vhodné tento draslík také započítat do výsledné dávky hnojení draslíkem (Zimolka et al. 2008).

Draselná minerální hnojiva pocházejí z přírodních ložisek draselných solí. Disponují vysokou rozpustností. Kromě draslíku obsahují i vysoké množství řady dalších prvků, mezi které patří Na, Cl a Mg. Mezi nejpoužívanější patří draselná sůl, síran draselný a Kamex. V draselné soli je hlavní složkou KCl. Využívá se především k základnímu hnojení na podzim, aby byl dostatek času pro vyplavení chlóru. Síran draselný K_2SO_4 je vhodný pro rostliny citlivé na Cl. Kamex mimo draslík v KCl obsahuje i hořčík (Kunzová 2010). Vhodným hnojivem jsou také statková hnojiva, která dodávají do půdy nejen požadované prvky, ale také organickou hmotu.

3.8 Statková hnojiva a digestát

Mezi statková hnojiva patří především chlévský hnůj, kejda, močůvka, rostlinné zbytky, komposty a plodiny na zelené hnojení. Hlavní dominantou této skupiny hnojiv je vysoké zastoupení organických látek, které hrají zásadní roli v udržení půdní úrodnosti. Statková hnojiva mají velký objem. Aplikační dávky se pohybují v jednotkách až desítkách tun na hektar. Poměr jednotlivých živin udává především původ statkových hnojiv a v případě hnoje množství podestýlky v hnojivu. K uvolňování živin dochází pozvolna, což má pozitivní vliv na využití rostlinami. Vzhledem ke snížení stavů hospodářských zvířat pokleslo i průměrné množství aplikovaných statkových hnojiv na hektar půdy. V roce 2010 bylo množství aplikovaných živin ze statkových hnojiv na poloviční hodnotě oproti roku 1990 (Vaněk et al. 2016). Obsah živin vybraných statkových hnojiv v kg/t hnojiva po odpočtu ztrát při skladování jsou uvedena v tabulce 3.

Tabulka 3: Obsah živin vybraných statkových hnojiv v kg/t hnojiva (Klír et al. 2008)

Statkové hnojivo	Sušina (%)	N	P	K
Hněj skotu	23	5,0	1,4	5,9
Močůvka skotu	2,4	2,5	0,1	4,4
Kejda prasat	6,8	5,0	1,3	1,9
Sláma obilnin	85	4,2-6,0	0,8-1,5	10,0-17,8
Sláma hrachu	85	15,0	1,5	15,0

3.8.1 Chlévský hněj

Směs výkalů, moči a podestýlky se nazývá chlévská mrva. Následnou fermentací, při které dochází k částečnému rozkladu organických látek, vzniká chlévský hněj. Fermentace je složitý biologický proces, na kterém se podílí různé skupiny mikroorganismů, mezi které patří bakterie, plísňe a aktinomycety (Richter et al. 2008). Výsledná kvalita a složení produktu závisí na původu výkalů, složení krmné dávky, typu podestýlky a průběhu přeměn v chlévské mrvě. (Kostic et al. 2020).

Nejvyšší intenzita rozkladu nastává při přístupu vzduchu. Organické látky jsou rozkládány na CO₂ a dusíkaté látky na NH₃. Amoniak není ve hmotě vázán a uvolňuje se do atmosféry. Výsledná kvalita je nízká a obsah živin redukován. Pro správný průběh fermentace je stěžejní zajistit anaerobní prostředí vytvořené přihříváním krechtu na výšku nejméně 3 metry. Vlivem mikrobiální činnosti se hněj zahřívá na teplotu 40 °C, která je nejvhodnější pro syntézu stabilních uhlíkatých sloučenin. Zároveň tato teplota dostačuje k hygienizaci hnoje (Vaněk et al. 2016).

Kvalitní hněj vzniká podle vnějších podmínek za 2-3 měsíce zrání chlévské mrvy. Výsledná hmota je tmavá, snadno rýpatelná, v povrchových vrstvách hnědočerná, ve spodních nazelenalá a zapáchá slabě amoniakem. Zbytky podestýlky jsou v ní patrné, ale lehce oddělitelné (Richter et al. 2008).

3.8.2 Kejda

Při ustájení zvířat bez podestýlky vzniká kejda. Skládá se z výkalů, moči a technologické vody. Kvalitní kejda představuje vysoce hodnotné hnojivo. Kvalitu může snižovat nadměrné ředění technologickou vodou a špatné technologické vybavení. Zastoupení živin je velmi variabilní dle původu kejdy (viz tabulka 4). Drůbeží kejda předčí obsahem N a Ca kejdu hovězí a prasečí. Prasečí kejda disponuje vysokým obsahem P a N v amonné formě. Hovězí kejda obsahuje nejvyšší zastoupení K. Při aplikaci je nutné dbát na zapravení v co nejkratším čase, aby se zamezilo ztrátám dusíku volatizací (Vaněk et al. 2016).

Tabulka 4: Obsah organických látek a živin v kejďe (Vaněk et al. 2016)

Kejda	Obsah v čerstvém stavu %				
	sušina	N	P	K	Ca
Skotu	6,0	0,32	0,07	0,40	0,14
Prasat	5,3	0,50	0,13	0,19	0,24
Drůbeže	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94

3.8.3 Digestát

Odpadní produkt anaerobní fermentace v bioplynových stanicích se nazývá digestát. Digestát lze zpracovat separací, při které se odděluje pevná část neboli separát od části kapalné tzv. fugátu. Hnojení digestátem a jeho frakcemi může efektivně nahradit přísun živin z minerálních hnojiv (Duffková & Mühlbachová 2015). Při anaerobní fermentaci dochází k rozkladu lehce rozložitelné organické hmoty. Ve výsledném hnojivu je tedy vysoký podíl organických látek, které podléhají rozkladu pomaleji, čímž zlepšují fyzikální vlastnosti půdy (Schievano et al. 2009).

3.9 Čistírenské kaly

Čistírenské kaly představují produkt čištění odpadních vod. Se zvyšující se urbanizací a požadavky na čistotu povrchových vod se jako důsledek zvyšování počtu čistících stanic zvýšila i produkce těchto kalů. Jedna z možností likvidace tohoto odpadu je aplikace na zemědělskou půdu. Využití jako hnojivo nese řadu výhod. Svým obsahem představují vhodný zdroj N, P a K pro rostliny (Warmann & Termeer 2005). Aplikace čistírenských kalů zlepšuje půdní fyzikální vlastnosti jako jsou stabilita půdních agregátů, pórovitost, objemovou hmotnost a schopnost zadržovat vodu. Na druhou stranu jsou s aplikací spojena určitá rizika jako je kontaminace rizikovými prvky, mezi které patří například Cd, Pb, Zn a Cu (Wang et al. 2008) a obsah hormonů a farmaceutik (Nieto et al. 2010).

V roce 2019 bylo na území České republiky vyprodukováno 196 967 tun sušiny čistírenských kalů. Z toho 90 663 tun, což odpovídá 46 %, bylo aplikovaná na zemědělskou půdu (Český statistický úřad b 2019). Podmínky aplikace a skladování čistírenských kalů upravuje vyhláška č. 437/2016 Sb. Mezní hodnoty vybraných rizikových prvků v kalech na zemědělské půdě zobrazuje tabulka 5.

Tabulka 5: Mezní hodnoty koncentrací vybraných prvků v kalech pro použití na zemědělské půdě
(Vyhláška č. 437/2016 Sb.)

Riziková látka	Maximální koncentrace (mg.kg⁻¹ sušiny)
As – arzén	30
Cd – kadmium	5
Cr – chrom	200
Cu – měď	500
Hg – rtuť	4
Ni – nikl	100
Pb – olovo	200
Zn – zinek	2500

4 Metodika

4.1 Charakteristika pokusu

Výsledky zpracované v experimentální části této bakalářské práce pocházejí z dlouhodobého pokusu na pokusném pozemku fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity pod záštitou katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Na pokusných parcelách je od založení pokusu v roce 1992 pěstovaná kukuřice setá (*Zea mays*) v monokultuře. Cílem pokusu je výzkum vlivu rozdílných dávek minerálních hnojiv a stabilizovaných čistírenských kalů na výnos nadzemní biomasy, procento sušiny, její výnos a obsah dusíkatých látek.

4.1.1 Pokusné parcely a stanoviště

V bakalářské práci bylo vyhodnoceno osm rozdílných variant hnojení dusíkem. Každá z variant byla provedena ve čtyřech opakováních. Pěstování kukuřice probíhalo celkem na 32 parcelách. Hnojenou plochou byl pás o délce 13,15 m a šířce 3,5 m, což odpovídá 46,025 m². Ze zasetých čtyř řádků byly vyhodnoceny prostřední dva řádky. Hodnocená část parcely ve výpočtech dosahovala 1,5 m šířky a 12,7 m délky. Celkem tedy činila 19,05 m².

Pokusný pozemek je lokalizován v bezprostřední blízkosti České zemědělské univerzity na západní části Prahy v městské části Suchdol.

Tabulka 6: Parametry pokusného pozemku dle Černý et. al (2012)

Lokalizace	50°7'40"N, 14°22'33" E
Nadmořská výška (m n. m.)	286
Průměrná roční teplota (°C)	9,1
Průměrné roční srážky (mm)	495
Půdní typ	Černozem
Půdní podtyp	modální
Půdní druh	hlinito-písčítá
pH (CaCl ₂)	7,5
C _{ox} (%)	2,6
KVK (mmol +/kg)	230
P* (mg/kg)	91
K* (mg/kg)	230
Mg* (mg/kg)	240
Ca* (mg/kg)	9000

Obrázek 1: Letecký snímek pokusného pozemku (Seznam n.d.)



4.1.2 Varianty pokusu

V pokusu byl zkoumán vliv osmi rozdílných dávek dusíku v minerálních hnojivech a stabilizovaných čistírenských kalcích na odběr N kukuřicí, jeho obsah v nadzemní biomase, tvorbu sušiny a její procentuální zastoupení v rostlinách. Čtyři varianty byly založeny na aplikaci minerálních hnojiv před setím ve formě ledku amonného s vápencem (LAV) o dávce 60; 120; 180 a 240 kg N/ha. Další variantu představovala aplikace LAV formou přihnojení během vegetace na povrch půdy bez předset'ového hnojení o dávce 60 kg N/ha ve fázi sedmého listu kukuřice. U variant hnojených stabilizovanými čistírenskými kaly byly aplikovány dvě hladiny dusíkatého hnojení s dávkou 120 a 240 kg N/ha za jeden rok. Aplikace probíhala v tříletém cyklu. Jednorázová dávka tedy odpovídala trojnásobku roční dávky N, tedy 360 a 720 kg N/ha. Aplikace čistírenských kalů předcházející roku 2019 byla provedena v říjnu 2017. Kukuřice ve sledovaném roku byla pěstována ve druhé sezóně po aplikaci hnojiva. Po rovnoměrné aplikaci na pozemek byla provedena orba. Od začátku dlouhodobého pokusu nebylo na parcely aplikováno žádné jiné hnojivo. Čistírenské kaly obsahovaly v průměru z předchozích let 30,6 % sušiny. Zastoupení živin v sušině čistírenských kalů bylo následující: 3,66 % dusíku; 2,33 % fosforu; 0,61 % draslíku; 3 % vápníku a 0,78 % hořčíku.

4.1.3 RGT Sixxus

Pro pokus byla vybrána odrůda RGT Sixxus. Vyznačuje se FAO 270 pro silážní i zrnové využití. Jedná se o raný dvouliniový hybrid do obilnářské, řepařské i kukuřičné výrobní oblasti. Ideální hustota při sklizni se pohybuje v rozmezí 75-85 tisíc jedinců na hektar. Typ zrna je mezityp až koňský zub s rovnoměrným dozráváním (VP Agro 2018).

V pokusu bylo zaseto 8 jedinců na m², což odpovídá 80 tisícům jedinců na hektar. Výsev probíhal na přelomu dubna a května, kdy již nehrozily jarní mrazíky a půda byla dostatečně prohřátá.

4.1.4 Sběr vzorků

Sklizeň parcel proběhla 23.8.2019 v době dosažení mléčně-voskové zralosti zrna. Výška strniště dosahovala 10 cm od povrchu pozemku. Rostliny byly bezprostředně po sklizni zváženy pro přepočítání výsledného výnosu na hektar. Za pomoci řezačky byla ze sklizených rostlin vytvořena řezanka. U každé varianty proběhl odběr reprezentativního vzorku o hmotnosti zhruba 200 g pro analýzu v laboratoři.

4.2 Laboratorní analýza

Sušením řezanky v horkovzdušné sušárně určené ke zpracování laboratorních vzorků došlo k vysušení na konstantní váhu. Z výsledných hodnot se určilo procentuální zastoupení sušiny ve sklizené biomase a výnos sušiny v t/ha.

4.2.1 Obsah dusíku v sušině

První krok představovala homogenizace rostlinného materiálu. Rozmělnění probíhalo za pomoci nožového mlýnku SM 100 od německého výrobce Retch. Hrubost výsledného produktu byla určena normalizovaným sítkem s kruhovými dírami o průměru 1 mm.

Obsah dusíku byl určen za pomoci Kjeldahlovy metody provedené na přístroji Vapodest 50 S od německé firmy Gerhardt. Kjeldahlova metoda je založena na mineralizaci organické hmoty, destilaci a následné titraci (Sáez-Plaza et al. 2013). Připravený vzorek o hmotnosti 0,5g byl společně s 2 g katalyzátoru a 10 ml H₂SO₄ zahříván. Katalyzátor pro podporu mineralizace byl složen z CuSO₄, K₂SO₄ a selenu. Při zahřívání došlo k mineralizaci organických látek na amoniak, který společně se sírany z H₂SO₄ vytváří (NH₄)₂SO₄. Stanovení amonného iontu proběhlo destilačně s následnou titrací. Přidáním NaOH došlo k alkalizaci roztoku. Uvolněný amonný iont se zachytil destilací vodní páry do H₃BO₃. Následnou neutralizační titrací byl stanoven obsah N.

4.2.2 Odběr dusíku sklizenou biomasou

Odběr N sklizenou biomasou byl získán z uvedeného vzorce. Pro výpočet jsme využili hektarový výnos sušiny v kilogramech a procentuální obsah N převedený na číslo. Výslednou jednotku představují kg/ha.

$$\text{odběr N (kg/ha)} = \text{výnos sušiny (kg/ha)} * \text{obsah N v sušině (\%)}$$

Odběrový normativ, udávající odběr N jednou tunou biomasy, je podílem odběru dusíku na hektar v kilogramech na tunu a sklizené biomasy z jednoho hektaru v tunách. Výslednou jednotku představují kg/t.

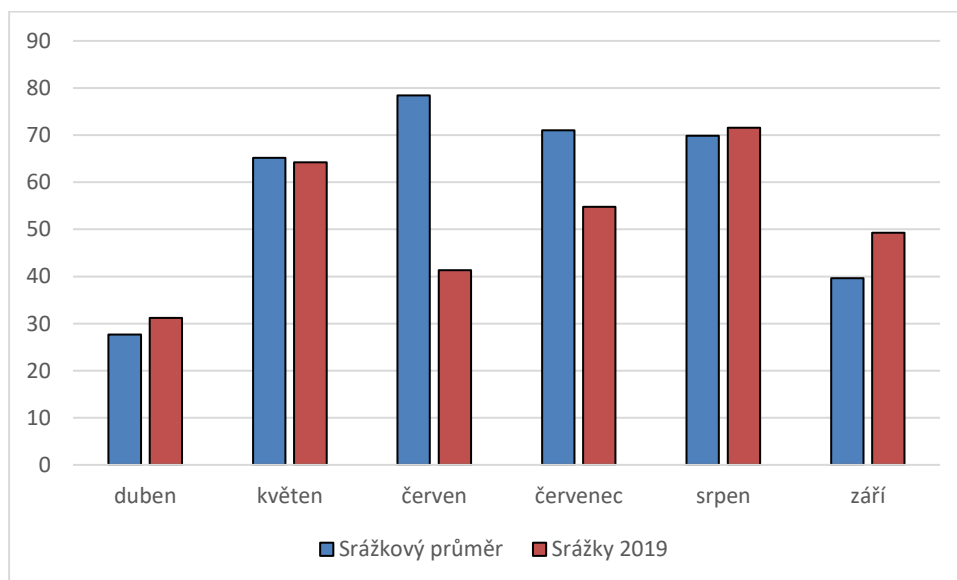
$$\text{odběrový normativ N (kg/ha)} = \frac{\text{odběr N (kg/ha)}}{\text{výnos čerstvé biomasy (t/ha)}}$$

4.3 Úhrn srážek a průměrná teplota

Úhrn srážek a měsíční teploty jsou převzaty z Meteorologické stanice České zemědělské univerzity v Praze umístěné v kampusu univerzity. Využita jsou data z vegetačního období roku 2019 a průměry za období 2005 až 2020.

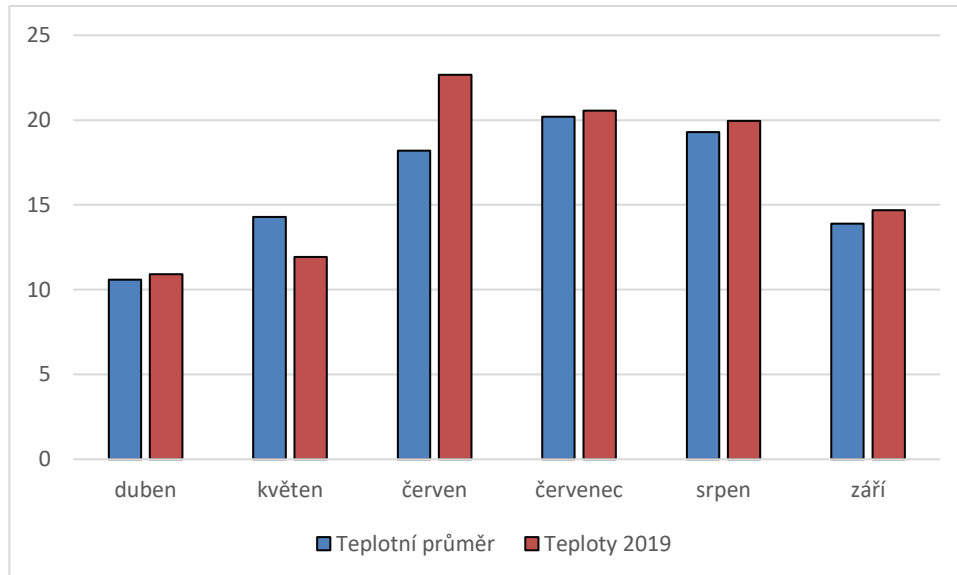
Graf 1 zobrazuje srážky v jednotlivých měsících vegetace kukuřice. Srážkový úhrn v dubnu a květnu roku 2019 odpovídal víceletému průměru. Propad ve srážkách nastal v červnu, kdy napršelo pouze 53 % z průměrné hodnoty 78,4 mm. Následující měsíc je propad oproti průměru nižší, konkrétně na 77 % průměrné hodnoty. Srpnový úhrn srážek již odpovídal průměru.

Graf 1: Srážky na stanici Suchdol ČZU (mm)



Graf 2 znázorňuje průměry teplot ve sledovaných měsících. Oproti víceletému průměru byl pouze květen v roce 2019 chladnější o 2,37 °C. Červen byl naopak teplejší o 4,47 °C. V ostatních měsících se teploty pohybovaly do 1 °C nad víceletý průměr.

Graf 2: Teploty na stanici Suchdol ČZU (°C)

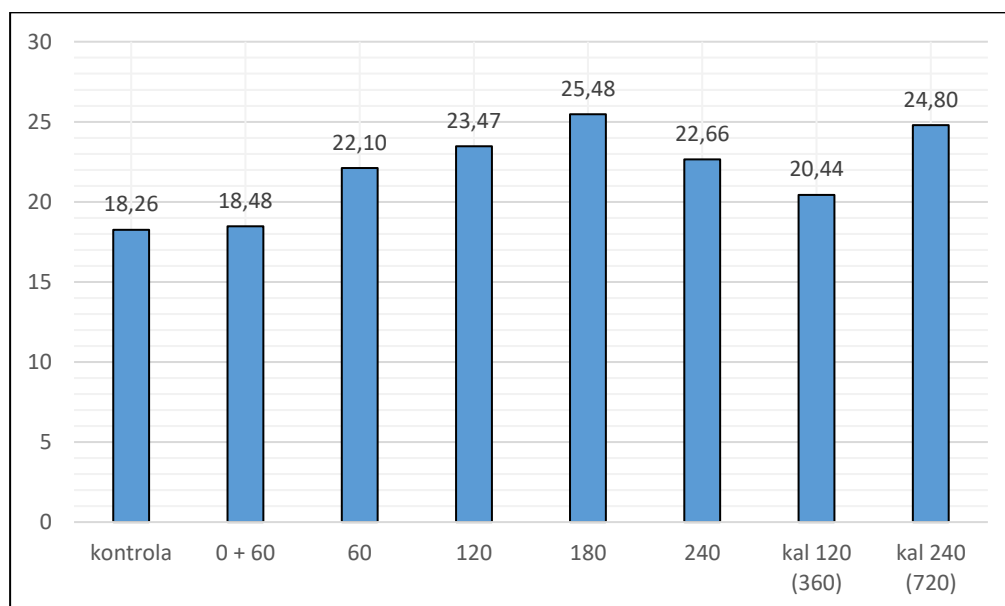


5 Výsledky

5.1 Výnos čerstvé hmoty

Výnosy čerstvé hmoty, jak zobrazuje graf 3, se pohybovaly v rozmezí 18,26 až 25,48 t/ha. Nejnižší výnos čerstvé hmoty vykázala kontrolní varianta. Mírný nárůst výnosu o 0,22 t/ha dosáhla varianta s hnojením 60 kg minerálního N během vegetace. Varianty s aplikací minerálního hnojiva před setím v dávkách 60; 120 a 180 kg N/ha vykázaly přímo úměrný nárůst vzhledem k zvyšující se hladině dusíkaté výživy. U dávky 60 kg N/ha dosáhl výnos 22,10 t/ha, u dávky 120 kg N/ha 23,47 t/ha a u dávky 180 kg N/ha 25,48 t/ha. Při dávce 240 kg N/ha v minerálních hnojivech naopak došlo k propadu výnosu čerstvé hmoty na 22,66 t/ha, což je o 0,81 t/ha méně než u varianty s dávkou 120 kg N/ha. Aplikace kalů při roční dávce 120 kg N/ha vykázala výnos 20,44 t/ha, což je o 4,34 t/ha méně než u ročního přísunu 240 kg N/ha v čistírenských kalech. Tato varianta dosáhla výnosu 24,80 t/ha, což je o 2,14 t/ha více než varianta se stejnou dávkou N aplikovanou v minerálních hnojivech. Variantu, kde byl dosažen nejvyšší výnos, představovala jednorázová dávka 180 kg N/ha v minerálních hnojivech s výnosem o 7,22 t/ha vyšší než nejméně výnosná kontrolní varianta.

Graf 3: Výnos čerstvé hmoty (t/ha)

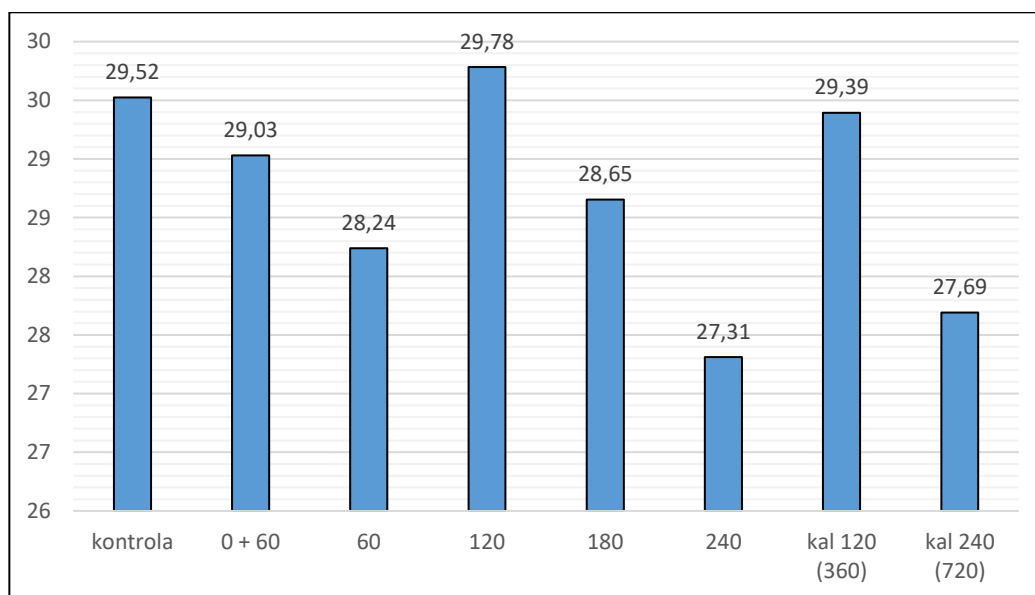


5.2 Obsah sušiny v nadzemní biomase

Z grafu číslo 4 je patrný obsah sušiny v % při sklizni. U kontrolní varianty dosáhl 29,52 %, což představuje druhou nejvyšší hodnotu. Nejvyšší hodnota připadá variantě 120 kg N/ha v minerálních hnojivech s obsahem sušiny 29,78 %. Hnojení během vegetace o dávce 60 kg N/ha vykázalo 29,03 % sušiny v nadzemní biomase. Stejná dávka dusíku, ale s aplikací před setím, dosáhla obsahu 28,24 % sušiny, což je o 0,79 % nižší hodnota oproti variantě s přihnojením během vegetace. Rostliny hnojeny dávkou

180 kg N/ha v minerálních hnojivech vykázaly obsah 28,65 % sušiny. Nejmenší hodnoty 27,31 % dosáhlo hnojení 240 kg N/ha v minerálních hnojivech. Podobných výsledků dosáhla i varianta aplikace 240 kg N/ha v čistírenských kálech, která hodnotou 27,69 kg N/ha přesahuje stejnou dávku dusíku v minerálních hnojivech o 0,38 % sušiny. Obdobný rozdíl se vyskytnul i u obou variant hnojení 120 kg N/ha. Čistírenské kaly vykázaly sušinu o hodnotě 29,39 %, která je o 0,39 % nižší než u varianty s minerálními hnojivy.

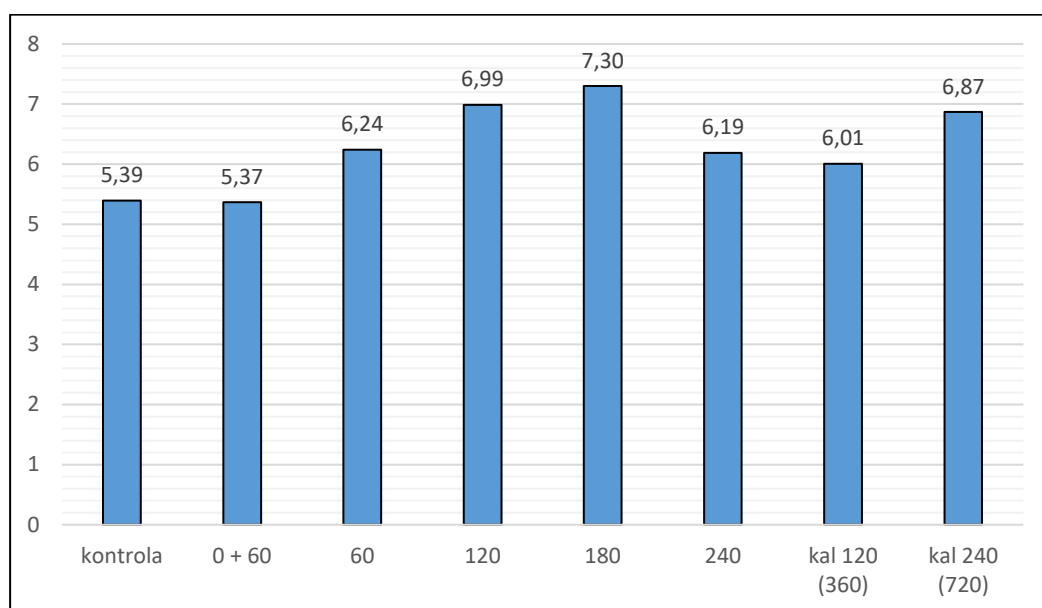
Graf 4: Obsah sušiny při sklizni (%)



5.3 Výnos sušiny

Nejnižšího výnosu sušiny 5,37 t/ha dosáhla dle grafu číslo 5 varianta hnojení 60 kg N/ha během vegetace. Jen nepatrný rozdíl 0,02 t/ha jí dělil od kontrolní varianty s výnosem 5,39 t/ha. U dávek 60; 120 a 180 kg N/ha v minerálních hnojivech byla vykázána přímá úměra zvyšujícího přísunu N a výnosu sušiny. Dávka 60 kg N/ha dosáhla výnosu 6,24 t/ha, což je o 0,75 t/ha méně oproti variantě 120 kg N/ha s výnosem 6,99 t/ha. Hnojení 180 kg N/ha vykázalo výnos 7,30 t/ha, což je nejvyšší výnos ze všech pokusných variant. Nárůst výnosu oproti aplikaci 120 kg N/ha představoval 0,31 t/ha. Rozdíl varianty hnojené 60 kg N/ha a 120 kg N/ha byl 0,75 t/ha. Na variantě s nejvyšší dávkou dusíku byl vykázán výnos sušiny 6,19 t/ha, což je nejméně ze všech variant aplikace minerálních hnojiv před setím. Na variantě hnojené čistírenskými kaly dávkou 120 kg N/ha bylo vykázáno nižšího výnosu oproti variantě se stejnou dávkou dusíku v minerálních hnojivech o 0,98 t/ha s výnosem 6,01 t/ha. Opačně tomu bylo u variant s dávkou 240 kg N/ha, u které vyšších výnosů dosahovalo hnojení čistírenskými kaly. Výnos sušiny byl vyšší oproti parcelám s minerálním hnojivem o 0,68 t/ha s výnosem 6,87 t/ha.

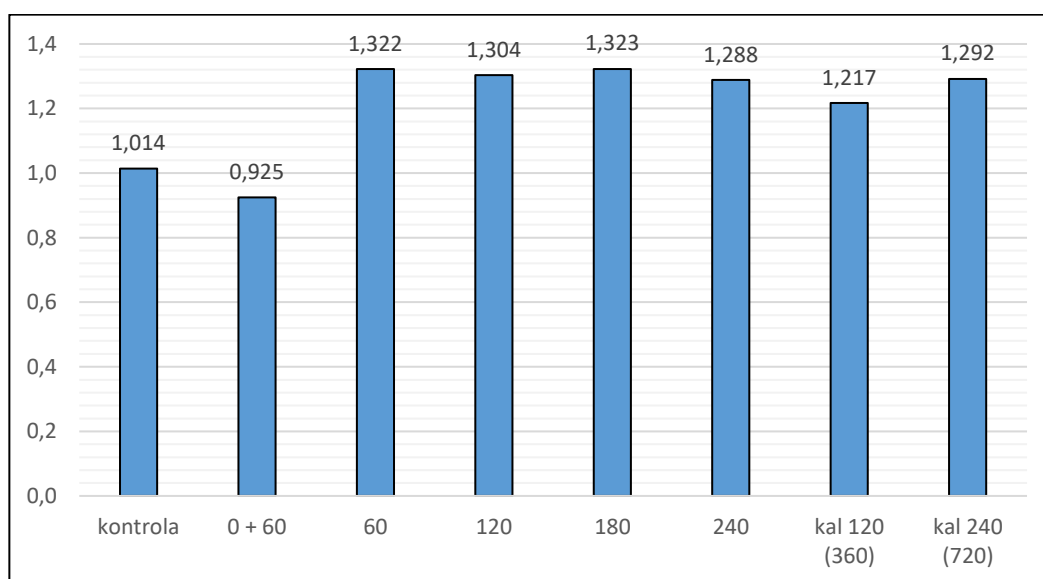
Graf 5: Výnos sušiny (t/ha)



5.4 Obsah dusíku v sušině

Graf číslo 6 zobrazuje hodnoty obsahu N v sušině, které se pohybují od 0,925 % až do 1,323 %. Jedinou variantou s obsahem N v sušině pod hranici jednoho procenta, konkrétně 0,925 %, bylo hnojení 60 kg N/ha během vegetace. Společně s kontrolní variantou se zjištěným 1,014 % N v sušině, vykázaly nejnižší hodnoty pokusu. Hnojení minerálním N před setím o dávkách 60; 120 a 180 kg N/ha dosáhlo velmi podobných výsledků. Varianta 180 kg N/ha vykázala 1,322 % N v sušině, což je nejvyšší zjištěná hodnota pokusu. Hnojení 60 kg N/ha vykázalo jen o 0,001 % nižší obsah N. U varianty 120 kg N/ha se zjištěným obsahem 1,304 % N v sušině byl pokles oproti nejvyšší naměřené hodnotě 0,019 %. Nejnižších naměřených hodnot z variant hnojených minerálními hnojivy před setím dosáhlo hnojení dávkou 240 kg N/ha s hodnotou 1,288 %. Aplikace čistírenských kalů o dávce 120 kg N/ha vykázala hodnotu 1,217 %, což je nižší hodnota o 0,87 % oproti stejné dávce N v minerálních hnojivech. U čistírenských kalů s dávkou 240 kg N/ha byl zjištěn 1,292% obsah N v sušině. Na rozdíl oproti variantám s dávkou 120 kg N/ha u dávky 240 kg N/ha nebyl znatelný výrazný rozdíl, neboť se od sebe odchýlily pouze o 0,004 %.

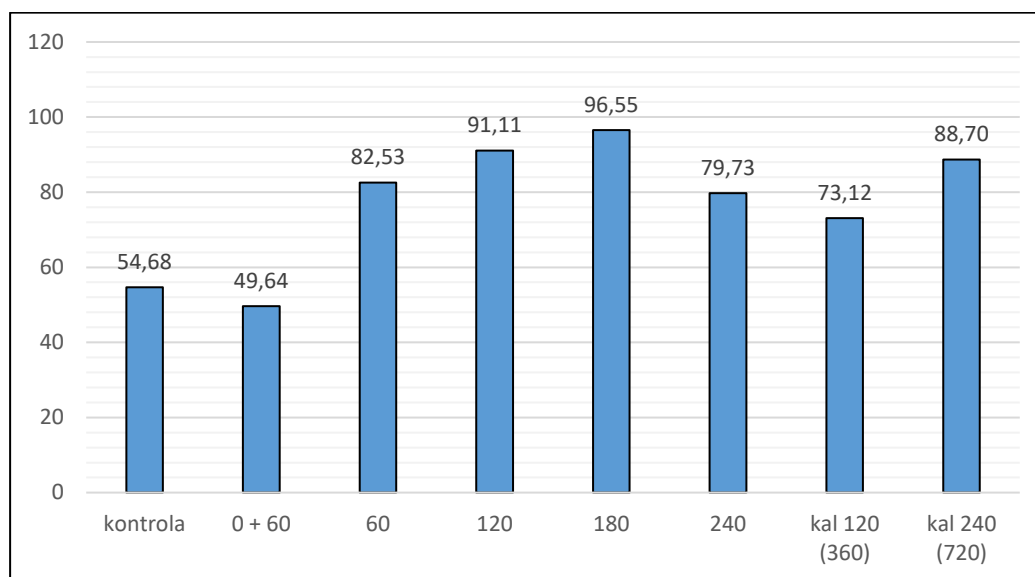
Graf 6: Obsah dusíku v sušině (%)



5.5 Odběr dusíku sklizenou biomasou

Graf číslo 7 charakterizuje odběr N sklizenou biomasou. Stejně jak u obsahu dusíku, tak i u celkového odběru dusíku dosáhla kontrola a varianta hnojení 60 kg N/ha během vegetace nejnižších hodnot. Kontrola s odběrem 54,68 kg N/ha převýšila přihnojení během vegetace o 5,04 kg N/ha, které vykázalo odběr 49,64 kg N/ha. Nejvyšší odběr N z parcel hnojených minerálními hnojivy a zároveň také nejvyšší odběr N ze všech variant vykázalo hnojení 180 kg N/ha s hodnotou 96,55 kg N/ha. Přísun dusíku v minerálních hnojivech vykazoval nárůst odběru N s narůstajícím přísunem N. Pouze varianta hnojení 240 kg N v minerálních hnojivech nevykázala přímou úměru mezi těmito parametry. Dosáhla odběru 79,73 kg N/ha, což je nejnižší hodnota mezi variantami hnojenými N z minerálních hnojiv. Odběr N u obou variant hnojení čistírenskými kaly opisuje trend výnosu sušiny z hektaru. U dávek 120 kg N/ha dosahuje varianta hnojení minerálními hnojivy odběru 91,11 kg N/ha, což je o 17,99 kg N/ha více, než hodnota 73,12 kg N/ha vykázána u stejné dávky N v čistírenských kalech. Naopak u aplikace 240 kg N/ha dosáhla vyššího odběru N varianta hnojena čistírenskými kaly s hodnotou 88,70 kg N/ha, což je o 8,93 kg N/ha více oproti variantě hnojené minerálními hnojivy.

Graf 7: Odběr dusíku sklizenou biomasou (kg N/ha)



Tabulka číslo 7 zobrazuje výslednou bilanci dusíku v půdě. Vzhledem k tomu, že byla kukuřice pěstována druhým rokem po aplikaci čistírenských kalů, bylo u varianty kal 120 (360) a kal 240 (720) počítáno s uvolněným N mineralizací aplikovaných kalů ve výši 10 % původní dávky N.

Tabulka 7: Bilance N v půdě

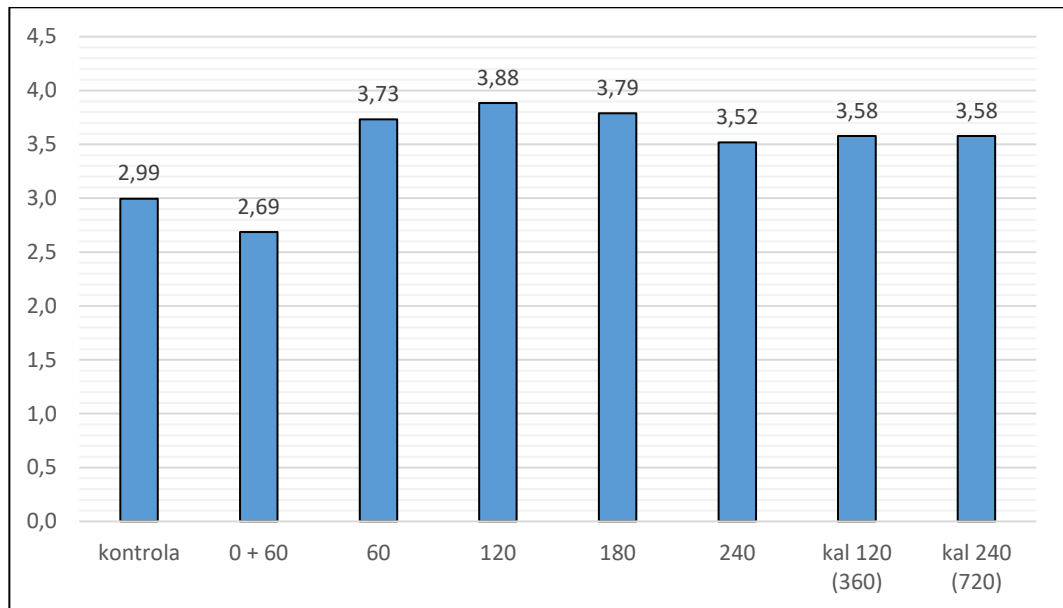
Varianta	Dodaný N 2019 (kg/ha)	Odběr dusíku (kg/ha)	Bilance N (kg/ha)
Kontrola	0	54,68	-54,68
0 + 60	60	49,64	10,36
60	60	82,53	-22,53
120	120	91,11	28,89
180	180	96,55	83,45
240	240	79,73	160,27
Kal 120 (360)	36	73,12	-37,12
Kal 240 (720)	72	88,70	-16,70

5.6 Odběrový normativ dusíku

Odběrové normativy zobrazené v grafu číslo 8 vykazovaly obdobně jako odběr N nadzemní biomasou a obsah N v sušině nejnižší hodnotu u přihnojení 60 kg N/ha během vegetace. Odběrem 2,99 kg/t představuje kontrolní varianta druhou nejnižší naměřenou hodnotu. Převýšila přihnojení během vegetace o 0,3 kg/t. Nejvyšší odběrový normativ vykazovalo hnojení 120 kg N/ha v minerálních hnojivech s hodnotou 3,88 kg/t. Varianta 60 kg N/ha před setím opět výrazně převyšuje se svou hodnotou 3,73 kg/t stejnou dávkou N aplikovanou během vegetace. Konkrétně se jedná o 1,04 kg/t. Hnojení 180 kg N/ha vykazovalo

odběrový normativ 3,79 kg/t, což představuje druhou nejvyšší hodnotu pokusu. Obdobně jako u všech sledovaných parametrů s výjimkou výnosu čerstvé hmoty, dosahuje varianta 240 kg N/ha v LAV nejnižší naměřenou hodnotu, konkrétně 3,52 t/ha, mezi variantami s aplikací minerálních hnojiv před setím. U odběrového normativu dosahuje dokonce nižších hodnot než aplikace čistírenských kalů o 0,06 kg/t. Představuje tedy nejnižší hodnotu mezi všemi variantami s aplikací N před setím. Obě varianty s čistírenskými kaly dosahují identického odběrového normativu o hodnotě 3,58 kg/t.

Graf 8: Odběrový normativ dusíku (kg/t)



6 Diskuze

Při interpretaci výsledků z polního pokusu je nutné brát v úvahu vliv osevního postupu složeného z opakovaného pěstování kukuřice, který dle Gentry et al. (2013) může negativně ovlivnit výsledný výnos. Dle Uekoetter (2011) patří mezi negativa monokultury vyčerpání půdy, podpora rozvoje chorob, rozšíření zaplevelení a v neposlední řadě akumulace škůdců. Opakované pěstování kukuřice na stejném pozemku má negativní vliv na výnos sušiny a vyšší potřebu hnojení dusíkem pro udržení výnosu (Neuens & Reheul 2001). Výsledky zpracované v bakalářské práci zohledňují pouze jeden rok pokusu. Data mohou být ovlivněna aktuálním ročníkem a vzhledem k dlouhodobějším průměrům variant nemusí být objektivní.

6.1 Výnos čerstvé hmoty a sušiny silážní kukuřice

Z výsledků vyplývá, že dusíkaté hnojení má pozitivní vliv na výnos silážní kukuřice. Eltelieb et al. (2006) udávají, že hnojení dusíkem významně ovlivňuje výšku rostlin, průměr stonků a LAI, čímž zvyšuje výnos nadzemní biomasy. Varianta s aplikací 240 kg N/ha v minerálních hnojivech výrazně zaostává za variantou hnojenou o 60 kg méně N ve stejném hnojivu. Během ročníku 2019 byl nedostatečný úhrn srážek, který dostal rostliny do stresu. Nedostatek vody by mohl být vysvětlením propadu varianty s nejvyšší dávkou minerálního N, neboť nemohl být plně využit potenciál vysoké dávky N (Alam 1999).

Hnojení čistírenskými kaly zvyšuje půdní úrodnost. Následkem je zvýšení příjmu makroprvků i mikroprvků rostlinami a zvýšení výnosu (Faria et al. 2017). Výsledek výnosu čerstvé hmoty u varianty hnojené čistírenskými kaly s dávkou 240 kg N/ha, která předčila výnos varianty se stejnou dávkou v minerálním hnojivu, podporuje tento výrok. Varianta s nižší dávkou N v čistírenských kalech na hladině 120 kg N/ha dosahovala opačného výsledku. Vyšší výnos byl zjištěn na variantě hnojené minerálními hnojivy. Při interpretaci výsledků je nutné brát v úvahu, že na parcelách hnojených čistírenskými kaly proběhla aplikace na konci roku 2017. Každým rokem se neuvolní 1/3 aplikované dávky. Prvním rokem je pro rostliny dostupné více aplikovaného N a v druhém roce pouze 10 % z aplikovaného N. Rostliny tedy nemají k dispozici 120 kg N/ha, ale pouze 36 kg N. Mineralizace organického N obsaženého v čistírenských kalech je komplexní proces, ovlivněný mnoha faktory. Patří mezi ně půdní typ, pH, teplota, vlhkost, provzdušnění půdy a v neposlední řadě typ a kvalita aplikovaného materiálu (Serna & Pomares 1992).

6.2 Výnos sušiny

Kejř (2007) konstatuje, že vyšší dávka dusíku oddaluje úplnou zralost rostliny. Studie provedená Subedí & Ma (2005) toto tvrzení podporuje. Pokud je dusík v nadbytku a není pro rostliny limitujícím faktorem, dochází k oddálení plné zralosti. U provedeného pokusu dosáhly nejnižších hodnot obsahu sušiny varianty s dávkou 240 kg N/ha. Tyto varianty dozrávaly vzhledem k dostatku dusíku pomaleji oproti ostatním variantám, což je promítlo

ve výsledném obsahu sušiny při sklizni, která probíhala v termínu, kdy průměr variant dosahoval optimální zralosti ke sklizni.

Dle Eltelib et al. 2006 má hnojení dusíkem významný vliv na zvýšení výnosu sušiny silážní kukuřice. Výsledky pokusu uveřejněné Kayser et al. (2011) potvrzují, že s narůstající dávkou N aplikovaného v LAV narůstá i výnos suché hmoty na hektar. Stejných výsledků bylo dosaženo v provedeném pokusu. Variantu, vymykající se tomuto trendu, představovala aplikace 240 kg N/ha, kde byl zaznamenán propad výnosu. Důvodem propadu byl nepříznivý vývoj počasí během období růstu. Z řady se také vymyká varianta přihnojení 60 kg N/ha během vegetace, která dosáhla nižšího výnosu než kontrolní varianta. Dle Binder et al. (2000) opožděné přihnojení během vegetace ústí ve snížení výnosu. Ve sledovaném roce bylo přihnojení provedeno ve správný čas. Propadem výnosu sušiny u této varianty nejspíše bylo zvýšení koncentrace dusíku v povrchové vrstvě půdy, neboť hnojivo nebylo zapraveno do půdy. Následný vývoj kořenové soustavy mohl být soustředěn do mělkých vrstev půdy, kde při přísušku bylo méně dostupné vody než v hlubších částech půdního profilu. Kontrolní varianta byla nucena získávat živiny z hlubších vrstev, což jí při nedostatku srážek pomohlo ke snížení deficitu vody.

6.3 Obsah dusíku v sušině

Ve studii Eltelieb et al. (2006) bylo zjištěno, že má hnojení N významný vliv na výsledný obsah N v biomase, neboť hraje klíčovou roli v syntéze bílkovin. Výsledný obsah dusíku v sušině zjištěný v provedeném pokusu toto tvrzení podporuje. Všechny varianty hnojené před setím vykázaly vyšší příjem dusíku oproti nehnojené variantě. Samotný rozdíl mezi variantami hnojenými minerálními hnojivy nebyl významný. Černý et al. (2012), který zpracoval výsledky stejného pokusu z let 1996 až 2008, zjistil, že se zvyšující dávkou aplikovaného dusíku v LAV se u všech variant úměrně zvyšuje i obsah N v sušině. Výkyvy výsledků z roku 2019 jsou ovlivněny neideálním průběhem počasí v daném roce a neodpovídají tedy předpokládaným dlouhodobým výsledkům.

6.4 Odběr dusíku, bilance dusíku a odběrové normativy

Odběr N sklizenou biomasou je v přímé souvislosti s obsahem N v biomase. Varianty 240 kg N/ha před setím v minerálních hnojivech a přihnojení 60 kg N/ha nevykázaly očekávaný nárůst se zvyšující se dávkou N. Zbylé varianty hnojené N z minerálních hnojiv vykázaly nárůst odběru N se zvyšující se dávkou hnojení touto živinou. Podobných výsledků dosáhl i Kayser et al. (2011), který ve čtyřletém experimentu se silážní kukuřicí zkoumal vliv rozdílných dávek, konkrétně 0; 80; 160 a 240 kg N/ha v minerálních hnojivech, na riziko ztráty dusíku vyplavením.

Bilance N v půdě dokáže odhalit přebytek této živiny. Při kladné bilanci N může docházet především na lehčích půdách ke ztrátě dusíku vyplavením (Balík et al. 2012). Dle výsledků Černého et al. (2012) by nejvyšší bilance měla být u varianty hnojené

240 kg N/ha v minerálních hnojivech. Stejného výsledku bylo dosaženo i v sledovaném roce 2019, kde byla výsledná bilance N umocněna nižším odběrem N. Naopak nejnižší hodnoty dosáhla kontrolní varianta. Zdrojem dusíku v půdě je také depozice z atmosféry buď prostřednictvím srážek nebo formou suché depozice v plynném či pevném skupenství (Hůnová 2016). Záporných hodnot dosahovaly i varianty hnojené čistírenskými kaly. Dle Vieira et al. (2014) čistírenské kaly vykazují vysokou míru mineralizace v roce aplikace. Zdrojem dusíku pro varianty s čistírenskými kaly, který nevstupuje do vypočítané bilance N, může být i N navázaný v půdě z mineralizace v předchozím roce, kdy byla kukuřice pěstována po aplikaci čistírenských kalů. Černý et al. (2012) uvádí, že ve sledovaném období mezi lety 1997 a 2008 byl průměrný odběr dusíku na kontrolní variantě 87,55 kg N/ha, což je oproti sledovanému roku o 32,87 kg N/ha méně. Ačkoliv se půdy na pokusném stanovišti vyznačují vysokou schopností mineralizace, propad v odběru dusíku může být způsoben zpomalováním tohoto procesu a vyčerpáváním živin z půdy. Výsledný odběr dusíku kontrolní varianty byl také ovlivněn propadem výnosu oproti předchozí ročníkům.

Nařízení vlády číslo 262/2012 Sb. ve znění 277/2020 Sb. udává odběrový normativ 4,7 kg N na jednu tunu čerstvé hmoty. Odběrové normativy vycházející z výsledků pokusu nedosáhly hodnoty uvedené v nařízení vlády. Nehnojená kontrolní varianta dosáhla oproti hnojení N během vegetace nižšího odběru dusíku, čímž se potvrzuje tvrzení Eltelib et al. (2006), že hnojení N má pozitivní vliv na zvýšení příjmu N kukuřicí.

Odběrové normativy u variant hnojených N před setím vykazovaly obdobné hodnoty v rozmezí 3,52 až 3,88 kg/t. Výsledné hodnoty se liší od výsledků pokusu provedeného Kayser et al. (2011), ve kterém bylo dosaženo nárůstu odběru N při zvyšující se dávce dodaného minerálního N.

7 Závěr

Z výsledků uvedených v bakalářské práci mohu konstatovat, že hnojení dusíkem má nezastupitelné místo v pěstování silážní kukuřice. Nevhodně nastavená hladina dusíkatého hnojení může vyústit ve snížené výnosy nebo naopak ekonomické ztráty způsobené nevyužitím aplikovaného hnojiva. Z tohoto důvodu je stěžejní správné nastavení plánu hnojení, které vychází z podmínek daného pozemku.

Zvyšující se dávky dusíku neměly vliv jen na výnos čerstvé hmoty potažmo sušiny, ale i obsah dusíku v rostlinách. U variant hnojených před setím došlo k významnému nárůstu obsahu dusíku v sušině. Při hodnocení výsledků je nutné si uvědomit význam počasí na růst kukuřice. Stres tvořený nepřízní počasí může mít negativní efekt na rozvoj rostlin.

Čistírenské kaly vykazaly pozitivní vliv na výnos. Představují vhodnou alternativu ke hnojení minerálními hnojivy nejen díky obsahu živin, ale také kvůli nízkým nákladům na pořízení.

Hypotézy:

- 1) Předpokládám, že při zvyšování dusíkatého hnojení se do určité dávky bude zvyšovat výnos silážní kukuřice.

Zvyšování dusíkatého hnojení mělo za důsledek nárůst výnosu čerstvé hmoty. Jediná varianta s 240 kg N/ha v LAV se vymyká tomuto tvrzení. Důvodem byl vliv ročníku, nikoliv vysoký přísun dusíku. Z dlouhodobých výsledků je patrné, že se u dávky 180 kg N/ha začíná snižovat nárůst výnosu čerstvé hmoty a přestává být zvyšování dávek dusíku efektivní. Tato hypotéza byla potvrzena.

- 2) Předpokládám, že při zvyšování dávek dusíkatého hnojení se bude zvyšovat obsah dusíku v rostlinách.

Z výsledků je patrné, že hnojení dusíkem mělo významný vliv na obsah dusíku v sušině. Bylo zjištěno zvýšení obsahu dusíku vzhledem k nehnojené kontrolní variantě. Nebyl ale významný rozdíl v obsahu dusíku v sušině mezi hnojenými variantami. Tato hypotéza byla vyvrácena.

- 3) Předpokládám, že při zvyšování dávek dusíkatého hnojení nebude úměrně růst i odběr dusíku rostlinami.

Odběr dusíku sklizenou biomasou narůstal společně s dávkou dodaného dusíku u všech variant, kromě varianty s přihnojením během vegetace a nejvyšší dávkou

dusíku v minerálních hnojivech. Důvodem byl vliv ročníku, nikoliv dávka dodaného dusíku. Výsledný odběr byl především ovlivněn výnosem, a nikoliv obsahem dusíku v nadzemní biomase, který nebyl výrazně rozdílný u hnojených variant. Hypotéza byla vyvrácena.

8 Literatura

- Ahlgren S, Baky A, Bernesson S, Nordberg A, Norén O, Hansson PA. 2008. Ammonium nitrate fertiliser production based on biomass - *Environmental* **99**:8034-8041.
- Alam SM. 1999. Nutrient Uptake by Plants Under Stress Conditions. Pages 285-313 in Pessaraki M editors. *Handbook of Plant and Crop Stress*. University of Arizona, Arizona.
- Alley MM, Martz ME, Davis PH, Hammons JL. 2009. Nitrogen and Phosphorus Fertilization of Corn. Virginia State University, Virginia State.
- Andr J, Hejnák V, Jursík M, Fendrychová V. 2014. Effects of application terms of three soil active herbicides on herbicide efficacy and reproductive ability for weeds in maize. *Plant Soil Environ.* **60**:452-458.
- Baier J, Smetánková M, Baierová V. 1988. Diagnostika výživy rostlin. Institut výchovy a vzdělávání MZVŽ ČSR, Praha.
- Balík J, Černý J, Kulhánek M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Bavec F, Bavec M. 2002. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAU 100-400). *European Journal of Agronomy* **16**:151-159.
- Binder DL, Sander DH, Walters DT. 2000. Maize Response to Time of Nitrogen Application as Affected by Level of Nitrogen Deficiency. *Agronomy Journal* **92**:1228-1236.
- Boever JL, De Bramabnder DL, De Smet AM, Vanacker JM, Boucque CV. 1993. Evaluation of Physical Structure. 2. Maize Silage. *Journal of Dairy Science* **76**(6):1624-1634.
- Brant V, Zábanský P, Škeříková M, Pivec J, Kroulík M, Procházka L. 2017. Effect of Row Width on Splash Erosion and Throughfall in Silage Maize Crops. *Soil & Water Res.* **12**:39-50.
- Bremner JM, Shaw K. 1958. Denitrification in Soil. *The Journal of Agricultural Science* **51**:22-39.
- Broadbent FE, Tyler KB, Hill GN. 1958. Nitrification of Fertilizers. *California Agriculture*.
- Buckmaster DR. 2009. Equipment Matching for Silage Harvets. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* **25**(1):31-36.
- Budakli Carpici E, Celik N, Bayram G. 2010. Yield and Quality of Forage Maize as Influenced by Plant Density and Nitrogen Rate. *Turkish Journal of Field Crops* **15**(2):128-132.
- [CIMMYT] International Maize and Wheat Improvement Center. *Maize Diseases: A Guide for Field Identification* 4th edition. CIMMYT, Mexico.

- Ciudad G, Rubilar O, Munoz P, Ruiz G, Chamy R, Vergara C, Jesion D. 2005. Partial nitrification of high ammonia concentration wastewater as a part of a shortcut biological nitrogen removal process. *Process Biochemistry* (2005) **40**:1715-1719.
- Clark JD, et al. 2020. Adjusting corn nitrogen management by including a mineralizable-nitrogen test with preplant and presidedress nitrate test. *Agronomy Journal* **112**(4):3050-3064.
- Czarnak-Klos M, Rodríguez-Cerezo E. 2010. Best Practice Documents for coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming, 1. Maize crop production. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Vašák F, Peklová L, Sedlář O. 2012. The Effect of Mineral N Fertiliser and Sewage Sludge on Yield and Nitrogen Efficiency of Silage Maize. *Plant Soil Environ.* **58**:76-83.
- [ČSÚ] Český statistický úřad a. 2019. Osevní plochy zemědělských plodin k 31.5. Český statistický úřad. Available from https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&skupId=346&katalog=30840&pvo=ZEM02A&pvo=ZEM02A&evo=v539_!_ZEM02A-2019_1 (accessed December 2020).
- [ČSÚ] Český statistický úřad b. 2019. Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2019. Český statistický úřad. Available from <https://www.czso.cz/documents/10180/123243252/2800212011.pdf/fb623213-e71e-4069-8788-0eb977603eda?version=1.1> (accessed December 2020).
- Duffková R, Mühlbachová G. 2015. Vliv aplikace digestátu na produkci kukuřice. *Energie* **21/2015**:22-24.
- Elferink SJWHO, Driehuis F, Gottschal JC, Spoelstra SF. 2000. Sillage Fermentation Processes and Their Manipulation. Pages 17-30. FAO electronic conference on tropical sillage; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Eltelib HA, Hamrad MA, Ali ME. 2006. The Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Growth, Yield and Quality of Forage Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy* **5**:515-518.
- Espinoza L, Ross J. 2014. Corn Production Handbook. Cooperative Extension Service University of Arkansas, Arkansas.
- Froelich W. 2013. Corn Has a Unique Root System. North Dakota State University. Available from <https://www.ag.ndsu.edu/williamscountyextension/a-little-bit-country/articles-2014/corn-has-a-unique-root-system> (accessed December 2020).
- Faria WM, Figueiredo CC, Coser TR, Vale AT, Schneider BG. 2017. Is Sewage Sludge Biochar Capable of Replacing Inorganic Fertilizers for Corn Production? *Agronomy and Soil Science* **64**:505-519.

- Fu Q, Abadie M, Blaud A, Carswell A, Misselbrook TM, Clark IM, Hirsch PR. 2020. Effects of urease and nitrification inhibitors on soil N, nitrifier abundance and activity in a sandy loam soil. *Biology and Fertility of Soils* (2020) **56**:195-194.
- Fuksa P, Hakl J, Míchal P, Hrevušová Z, Šantrůček J, Tlustoš P. 2020. Effect of silage maize plant density and plant parts on biogas production and composition. *Biomass and Bioenergy* **142** (2020) 105770.
- Gagnon B, Ziadi N. 2010. Grain Corn and Soil Nitrogen Responses to Sidedress Nitrogen Sources and Applications. *Agronomy Journal* **102**:1014-1022.
- Glosner J. 1998. *Fyzilogie rostlin*. Masarykova univerzita, Brno. ISBN 80-210-1789-9.
- Seznam. (n.d.). Demonstrační a pokusný pozemek ČZU. Retrieved from <https://mapy.cz/letecka-2018?x=14.3748797&y=50.1273135&z=17>.
- Guntinas ME, Leirós MC, Trasar-Cepeda C, Gil-Sotres F. 2012. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study. *European Journal of Soil Biology* (2012) **48**:73-80.
- Hlisnikovský L, Vach M, Kunzová E, Abrahám Z. 2020. Vliv aplikace hnojiv na produkci a ekonomiku silážní kukuřice. *Agritech Science* **14/3**:1-7.
- Hůnová I. 2016. Atmosférická depozice dusíku. *Chemické listy* **110**:779-784.
- Joern B, Sawyer J. 2006. Nitrogen and Corn Use. Pages 6-8 in Sawyer J, Nafziger E, Randall G, Bundy L, Rehm G, Joern B authors. *Concepts and Rationale for Regional Nitrogen Rate Guidelines for Corn*. Iowa State University, Iowa.
- Jones CA, Koenig RT, Ellsworth JW, Brown BD, Jackson GD. 2007. Management of Urea Fertilizer to Minimize Volatilization. Montana State University Extension, Montana.
- Roozeboom K, Devlin D, Duncan S, Olson B, Thompson B. 2007. Optimum Planting Practices in Corn Production Handbook. Kansas State University. Available from <https://www.agronomy.k-state.edu/documents/extension/corn-book.pdf> (accessed December 2020).
- Kazda J. 2015. Možnosti integrované ochrany rostlin proti škůdcům obilnin a kukuřice. *Rostlinolékař* **26**(4):23-24.
- Kayser M, Benke M, Isselstein J. 2011. Little fertilizer response but high N loss risk of maize on a productive organic-sandy soil. *Agronomy for Sustainable Development* **31**:709-718.
- Kejř. 2007. Ověření účinnosti stupňovaných dávek dusíku při konstantních hladinách fosforu a draslíku. Ústřední kontrolní ústav zemědělský v Brně. Planá nad Lužnicí.
- Kiss S, Simihaian M. 2002. Improving Efficiency of Urea Fertilizers by Inhibition of Soil Urease Activity. Kluwer Academic Publishers, Londýn.
- Klír J, Kunzová E, Čermák P. 2008. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Kostic B, Stevanovic G, Lutovac M, Lutovac B, Ketin S, Biocanin R. 2020. Animal Manure and Environment. *Fresenius Environmental Bulletin* (2020) **29**:1289-1296.

- Kunzová E. 2010. Výživa rostlin a hnojení draslíkem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Kunzová E. 2009. Výživa rostlin a hnojení fosforem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Leghari SJ, Wahacho NA, Laghari AH, Bhabhan GM, Talpur KH, Bhutto TA, Wahacho SA, Lashari AA. 2016. Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A Review. *Advances in Environmental Biology* **9**(2016):209-218.
- Lemcoff JH, Loomis RS. 1986. Nitrogen Influences on Yield Determination in Maize. *Crop Science* **26**:1017-1022.
- Lindström K, Mousavi SA. 2019. Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microbial Biotechnology* (2020) **13**(5):1314-1335.
- Logrieco A, Mule G, Miretti A, Bottalico A. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology* **108**:597-609.
- Modak JM. 2002. Haber Process for Ammonia Synthesis. *Resonance* (2002) **7**:69-77.
- Muchov RC. 1988. Effect of Nitrogen Supply on the Comparative Productivity of Maize and Sorghum in a Semi-Arid Tropical Environment. *Field Crop Research* **18**:1-16.
- Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. ze dne 4. července 2012 o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. Ve znění č. 277/2020 Sb.
- Nieto A, Borrull F, Pocurull E, Marcé RM. 2010. Occurance of Pharmaceuticals and Hormones in Sewage Sludge. *Environmental Toxicology and Chemistry* **29**:1484-1489.
- Richter R, Hlušek J, Ryant P, Lošák T. 2008. Organická hnojiva a jejich postavení v zemědělské praxi. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. Available from http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/org_hnojiva_uroda02.pdf (accessed December 2020).
- Růžek P, Kusá H, Vavera R. 2018. Využití inhibitorů nitrifikace a ureázy při hnojení ozimé řepky dusíkem. Pages 20-23 in Bokor P, Bečka D, Vašák J, Cihlár P, Zukalová H editors. *Prosperující plodiny 2018, Zborník konferencie s mezinárodní účastí*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra.
- Sáez-Plaza P, Michalowski T, Navas MJ, Asuero AG, Wybraniec S. 2013. An Overview of the Kjeldahl Method of Nitrogen Determination. Part I. Early History, Chemistry of the Procedure, and Titrimetric Finish. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* **43**:178-223.
- Sawyer J. 2004. Nutrient Deficiencies and Application Injuries in Field Crops. Iowa State University, Iowa.
- Serna MD, Pomares F. 1992. Nitrogen Mineralization of Sludge-Amended Soil. *Bioresource Technology* **39**:285-290.

- Shammas NK. 1986. Interaction of Temperature, pH, and Biomass on the Nitrification Process. *Journal Water Pollution Control Federation* **58**:52-59.
- Schievano A, Adani F, Tambone F, D'Imporzano G, Scaglia B, Genevini PL. 2009. What is the Digestate?. *Univerzity of Milano, Milano*.
- Skládanka J. 2006. Kukuřice setá. Ústav výživy zvířat a pícninářství MZLU v Brně, Brno. Available from https://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html
- Sofyan ET, Sara DS, Machfud Y. 2019. The effect of organic and inorganic fertilizer applications on N, P-uptake, K-uptake and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt). *Earth and Environmental Science* **393** 012021.
- Subedi KD, Ma BL. 2005. Nitrogen Uptake and Partitioning in Stay-Green and Leafy Maize Hybrids. *Crop Science* **45**:740-747.
- Szlachta J, Prask H, Fugol M, Luberański A. 2018. Effect of Mechanical Pre-Treatment of the Agricultural Substrates on Yield of Biogas and Kinetics of Anaerobic Digestion. *Sustainability* **2018**(10):3669.
- [ÚKZÚZ] Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2020. Rostlinolékařský portál – kukuřice setá. ÚKZÚZ. Available from http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|plodiny|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c448fc8 (accessed November 2020).
- Upadhyay LSB. 2012. Urease inhibitors: A review. *Indian Journal of Biotechnology* (2012) **11**:381-388.
- Mohd-Setapar SH, Abd-Talib N, Aziz R. 2012. Review on Crucial Parameters of Silage Quality. *Asai-Pacific Chemical, Biological & Environmental Engineering Society Procedia* **3**:99-103.
- Munroe J. 2020. *Soil Fertility Handbook*. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario.
- Novák J, Skalický M. 2017. *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika*. Powerprint, Praha. ISBN 978-80-7568-036-5.
- Office of the Gene Technology Regulator. 2008. *The Biology of Zea mays L. ssp mays (maize or corn)*. Australian Government Department of Health and Ageing. Available from [http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/content/maize-3/\\$FILE/biologymaize08_2.pdf](http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/content/maize-3/$FILE/biologymaize08_2.pdf) (accessed December 2020).
- Onasanya RO, Aiyelari OP, Onasanya A, Oikeh S, Nwilene FE, Oyelakin OO. 2009. Growth and Yield Response of Maize (*Zea mays* L.) to Different Rates of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers in Southern Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences* **5**:400-407. ISSN 1817-3047.
- Pagani A. 2011. *Soil pH and Lime Management for Corn and Soybeand [Dsc. Thesis]*. Iowa State University, Iowa.

- Petr J, et al. 1988. Rukověť agronoma. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Plénet D, Lemaire G. 2000. Relationships Between Dynamics of Nitrogen Uptake and Dry Matter Accumulation in Maize Crops. Determination of Critical N Concentration. *Plant and Soil* **216**:65-82.
- Rüdelshheim PLJ, Smets G. 2011. Baseline information on agricultural practices in the EU Maize (*Zea mays* L.). EuropaBio aisbl, Belgium. Available from https://www.europabio.org/sites/default/files/120702_report_eu_farming_practices_maize.pdf (accessed December 2020).
- Sage RF. 2003. The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist* (2004) **161**:341-370.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Vydavatelství Profi Press s.r.o., Praha.
- Vogel E, Deumlich D, Kaupenjohann M. 2016. Bioenergy Maize and Soil Erosion – Risk Assessment and Erosion Control Concepts. *Geoderma* **261**:80-92.
- VP Agro. 2018. katalog kukuřice RAGT. Available from <http://www.znz.cz/download/375-final-vp-agro-katalog-kukurice-ragt-2018-a4.pdf>.
- Vrzal J, Novák D, Štráfelda J, Kohout V. 1995. Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceňin. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR v Praze, Praha.
- Vyhláška číslo 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.
- Wang X, Chen T, He Y, Jia Y. 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of Hazardous Materials* **160**:554-558.
- Wang X, Ren Y, Zhang S, Chen Y, Wang N. 2017. Applications of organic manure increased maize (*Zea mays* L.) yield and water productivity in a semi-arid region. *Agricultural Water Management* **187** (2017):88-98.
- Warman PR, Termer WC. 2005. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: yields and N, P and K content of crops and soils. *Bioresource Technology* **96**:955-961.
- Whitlock LA, Wistuba T, Siefers MK, Pope RV, Brent BE, Bolsen KK. 2000. Effect of Level of Surface-Spoiled Silage on the Nutritive Value of Corn Silage-Based Rotation. Pages 22-24. *Cattlemen's Day, 2000*. Kansas State University, Kansas.
- Zimolka J, et al. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press, Praha. ISBN 978-80-86726-31-1.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

Ca – vápník
CaHPO₄ · H₂O – dihydrát hydrogenfosforečnanu vápenatého
Ca(H₂PO₄)₂ – dihydrogenfosforečnan vápenatý
CaSO₄ – síran vápenatý
Cd – kadmium
Cl – chlór
CO₂ – oxid uhličitý
Cu – měď
CuSO₄ – síran měďnatý
DAM – roztok dusičnanu amonného s močovinou
DPB – díl půdního bloku
GMO – geneticky modifikovaný organismus
H⁺ – vodíkový kationt
H₂SO₄ – kyselina sírová
H₃BO₃ – kyselina boritá
K – draslík
KCl – chlorid sodný
K₂SO₄ – síran draselný
LAI – Leaf area index (index listové plochy)
LAV – ledek amonný s vápencem
LPIS – Land Parcel Identification System
Mg – hořčík
N – dusík
Na – sodík
NaOH – hydrogen sodný
NH₃ – amoniak
NH₄⁺ – amonný kation
(NH₄)₂SO₄ – síran amonný
NH₄NO₃ – dusičnan amonný
NO₃⁻ – dusičnanový anion
NO₂⁻ – dusitanová anion
P – fosfor
P₂O₅ – oxid fosforečný
Pb – olovo
Zn – zinek