

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Vliv hnojení na obsah živin v hlízách brambor

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Nina Kocourová

Obor studia: Rostlinná produkce

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

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv hnojení na obsah živin v hlízách brambor" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24.7.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Jindřichu Černému, Ph. D za odborné vedení této diplomové práce, podstatné rady, připomínky, vstřícnost a čas věnovaný odborným konzultacím. Poděkování bych také dále chtěla věnovat své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

Vliv hnojení na obsah živin v hlízách brambor

Souhrn

Brambory se řadí k celosvětově nejvýznamnějším kulturním plodinám. V žebříčku nejpěstovanějších plodin jsou na čtvrtém místě. Jejich nejvýznamnějším producentem je Asie. Česká republika má v pěstování brambor dlouholetou tradici. Ze zdrojů dat ČSÚ lze vyčíst, že brambory byly v roce 2019 pěstovány na 28 894 ha. Průměrný výnos byl 21,55 t/ha. Celková produkce brambor dosáhla 622 600 t.

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit vliv různých variant hnojení na obsah dusíku v hlízách bramboru, výnosnost hlíz a odběrový normativ hlíz brambor v letech 2018 a 2019. Podklady k experimentální části byly získány z dlouhodobého stacionárního pokusu Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Byla vyhodnocována data ze stanoviště Lukavec.

Hodnoceny byly odlišné způsoby hnojení minerálními hnojivy, organickými hnojivy a jejich kombinací, konkrétně se jednalo o tyto varianty hnojení: kontrolní varianta, čistírenský kal – kal 1, hnůj, poloviční dávka hnoje + dusík v LAV, dusík v LAV, NPK, dusík v LAV + sláma.

Nejvyššího výnosu za oba sledované roky bylo dosaženo u varianty N + sláma v roce 2019, a to 26,9 t/ha, naopak nejnižší výnos (mimo kontrolní varianty) byl zaznamenán u varianty kal 1 v roce 2018, konkrétně 22,3 t/ha. V roce 2018 se výnosy u jednotlivých variant pohybovaly v intervalu od 16,3 t/ha – 28,7 t/ha, v roce 2019 od 18,6 t/ha – 27,4 t/ha. Celkově nejvyšší obsah dusíku v hlízách za roky 2018 a 2019 byl zjištěn u varianty hnůj v roce 2018, a to 1,67 % N, naopak nejnižší obsah dusíku v hlízách byl zaznamenán u varianty NPK v roce 2018, konkrétně 1,29 % N. V roce 2018 se pohybovaly obsahy N v hlízách u jednotlivých variant v rozmezí od 1,29 % - 1,67 %, v roce 2019 od 1,27 % - 1,6 %. Nejvyšší odběrový normativ za roky 2018 a 2019 byl zjištěn u varianty hnůj v roce 2018, konkrétně 3,89 kg N/t, naopak nejnižšího průměrného odběrového normativu (mimo kontrolu) bylo dosaženo v roce 2019 rovněž u varianty hnůj – 2,98 kg N/t. V roce 2018 se odběrový normativ hlíz pohyboval v rozmezí od 3,3– 4 kg N/t, v roce 2019 od 2,8 – 3,4 kg N/t.

Klíčová slova: brambory, dlouhodobý pokus, výnos, obsah živin, dusík

The effect of fertilization on nutrient content in potato tuber

Summary

Potatoes are among the fourth world's most important crops. Their most important producer is Asia. The Czech Republic has a long tradition of growing potatoes. From CZSO data sources we can see that in 2019 potatoes were grown on 28,894 ha. The average yield was 21.55 t / ha. The total production of potatoes reached 622,600 t.

The aim of this diploma thesis was to evaluate the effect of different fertilization variants on the nutrient content in potato tubers, tuber yield and sampling standards of potato tubers in 2018 and 2019. I got the data for the experimental part from a long-term stationary experiment of the Department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition. I evaluated the data from the Lukavec site.

In this experiment there were monitored different methods of fertilization with mineral fertilizers, organic fertilizers and their combinations, specifically: 1. without fertilization; 2. manure; 3. sewage sludge 1; 4. half dosage of manure with nitrogen in LAV; 5. nitrogen in LAV; 6. NPK and 7. nitrogen in LAV with straw.

The highest yield for both monitored years was achieved for the N + straw variant in 2019, specifically 26,9 t/ha, while the lowest yield (excluding the control variant) was recorded for the sludge 1 variant in 2018, specifically 22,3 t/ha. In 2018 the yields for individual variants ranged from 16,3 t/ha – 28,7 t/ha, in 2019 from 18,6 t/ha – 27,4 t/ha. Overall, the highest nitrogen content in tubers in 2018 and 2019 was found in the manure variant in 2018, specifically 1,67 % N, while the lowest nitrogen content in tubers was recorded in the NPK variant in 2018 – 1,29 % N. In 2018 the N contents in tubers for individual variants ranged from 1,29 % - 1,67 %, in 2019 from 1,27 % - 1,6 %. The highest sampling norm for 2018 and 2019 was found for the manure variant in 2018, namely 3,89 kg N/t, on the contrary, the lowest average sampling norm (excluding the control variant) was reached in 2019 also for the manure variant - 2,98 kg N/t. In 2018 the sampling norm of tubers ranged from 3,3-4 kg N/t, in 2019 from 2.8–3.4 kg N/t.

Keywords: potatoes, long-term stationary experiment, yield, nutrient content, nitrogen

Obsah

1 Úvod	9
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Význam a nároky brambor na živiny	11
3.2 Živiny.....	12
3.2.1 Dusík.....	12
3.2.1.1 Význam dusíku pro rostliny	13
3.2.1.2 Příjem dusíku.....	13
3.2.1.3 Pohyb a translokace dusíku v rostlinách	13
3.2.1.4 Obsah dusíku v rostlinách	14
3.2.1.5 Kumulace nitrátů v rostlině	15
3.2.1.6 Projevy nedostatku a nadbytku dusíku	16
3.2.2 Draslík.....	17
3.2.2.1 Význam draslíku pro rostliny	17
3.2.2.2 Příjem, pohyb a translokace v rostlině	17
3.2.2.3 Nedostatek a nadbytek draslíku.....	17
3.2.3 Fosfor.....	18
3.2.3.1 Význam fosforu pro rostliny	18
3.2.3.2 Příjem a translokace v rostlině	18
3.2.3.3 Nedostatek a nadbytek fosforu	19
3.2.4 Vápník.....	19
3.2.5 Hořčík	20
3.2.6 Mikroprvky ve výživě brambor	20
3.2.6.1 Selen	21
3.3 Hnojení jednotlivými živinami, zdroje živin.....	21
3.3.1 Hnojení dusíkem, jeho zdroje	21
3.3.2 Zdroje draslíku.....	25
3.3.3 Zdroje fosforu	26
3.4 Organické hnojení.....	26
3.4.1 Chlévský hnůj	27
3.4.2 Kejda.....	28
3.4.3 Močůvka	28
3.4.4 Zelené hnojení	29
3.4.5 Sláma	29

3.4.6	Organická a organominerální hnojiva.....	29
3.5	Tvorba výnosu u brambor.....	30
3.5.1	Výnosotvorné prvky u brambor.....	32
4	Metodika.....	34
4.1	Dlouhodobý stacionární pokus katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin.....	34
4.1.1	Dávky živin aplikovaných v hnojivech.....	34
4.1.2	Průměrné dávky sušiny, sušina a obsah živin v organických hnojivech ..	35
4.1.3	Agrotechnika pěstování brambor v roce 2018 a 2019.....	35
4.1.4	Charakteristika odrůdy Antonie.....	36
4.1.5	Charakteristika stanoviště Lukavec.....	37
4.1.5.1	Půdní podmínky.....	37
4.1.5.2	Klimatická charakteristika stanoviště Lukavec.....	37
4.1.6	Analytické stanovení.....	39
4.1.7	Výnos.....	39
4.1.8	Odběrový normativ.....	39
4.1.9	Agonomická efektivita využití dusíku.....	39
4.1.10	Statistické hodnocení.....	40
5	Výsledky.....	41
5.1	Výnosy hlíz brambor.....	41
5.1.1	Výnosy hlíz brambor v roce 2018.....	41
5.1.2	Výnosy hlíz bramboru v roce 2019.....	42
5.2	Obsah dusíku v hlízách bramboru v letech 2018 a 2019.....	43
5.2.1	Obsahy dusíku v hlízách bramboru v roce 2018.....	43
5.3	Obsah dusíku v hlízách bramboru v roce 2019.....	44
5.4	Odběrový normativ hlíz.....	45
5.4.1	Odběrový normativ hlíz brambor v roce 2018.....	45
5.4.2	Odběrový normativ v roce 2019.....	46
5.5	Agonomická efektivita využití dusíku.....	48
6	Diskuze.....	49
6.1	Výnos hlíz.....	49
6.2	Obsah dusíku v hlízách.....	51
6.3	Odběrový normativ.....	53
7	Závěr.....	54
8	Literatura.....	55
9	Samostatné přílohy.....	I
10	Samostatné přílohy.....	IX
10.1	Seznam tabulek.....	IX

10.2	Seznam grafů	IX
-------------	---------------------------	-----------

1 Úvod

Brambory se řadí k celosvětově nejvýznamnějším kulturním plodinám. V žebříčku nejpěstovanějších plodin jsou na čtvrtém místě. Jejich nejvýznamnějším producentem je Asie. Česká republika má v pěstování brambor dlouholetou tradici. V roce 1937 byla zaznamenána maximální pěstební plocha, přes 500 tis. ha, s rekordní úrodou přesahující devět mil. tun. V poválečném období pak docházelo k postupnému snižování ploch i produkce. Na počátku 60. let byla výměra brambor necelých 400 tis. ha, začátkem 90. let ještě poklesla na 109 tis. ha. Plochy od devadesátých let dále trvale klesají. Ze zdrojů dat ČSÚ lze vyčíst, že brambory byly v roce 2019 pěstovány na 28 894 ha. Průměrný výnos byl 21,55 t/ha. Celková produkce brambor dosáhla 622 600 t.

Intenzivní produkce brambor vyžaduje adekvátní zásobování živinami, aby došlo k zajištění vysokého výnosu a kvality hlíz, vyrovnané hnojení je tedy nedílnou součástí běžné pěstitelské technologie. Brambory jsou plodinou, ke které se hnojí jak organickými, tak minerálními hnojivy.

Dusík je jedním z nejdůležitějších prvků, který podporuje růst brambor. Je celosvětově neaplikovanější živinou v hnojivech, avšak pouze 30–50 % z tohoto dusíku je přijato plodinami. Efektivitu dusíku ovlivňují především konkrétní stanovištní podmínky, průběh počasí, přeměny dusíku v půdě. Dále je ale také výhodné dlouhodobé sledování efektivity využití dusíku na konkrétním stanovišti a v daném osevním sledu, dle čehož se také řídí hnojení dusíkem. Jedním z nástrojů sloužícím k vyhodnocení využití dusíku z hnojiv, je stanovení bilancí dusíku. Umožňuje to pěstitelům předcházet snížení půdní úrodnosti, k čemuž dochází, pokud výstupy dusíku převyšují vstupy. Dále je bilance dusíku potřebná např. k zamezení ohrožení životního prostředí a ekonomickým ztrátám v případě nadměrné aplikace dusíku. Dále je také nezbytné sledovat krátkodobé faktory, které mohou mít významný vliv na efektivitu využití dusíku v daném roce, především aktuální teplotní podmínky (a to jak vzduchu, tak i půdy) a rozložení srážek. Zejména pak v druhé polovině vegetačního období totiž může vlivem počasí docházet ke snižování zásoby potenciálně mineralizovatelného dusíku v půdě, a tím následně ke snížení výnosů a kvalitativních parametrů.

Tato diplomová práce má vytyčeno za cíl sledovat vliv několika variant hnojení na výnos hlíz brambor, obsah dusíku v hlízách a odběr dusíku za stanovišti Lukavec v letech 2018 a 2019.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce bude vyhodnotit vliv různých hnojiv (organická a minerální) na výnos hlíz brambor, obsah a odběr vybraných živin.

Hypotézy:

1. Lze předpokládat vyšší výnos hlíz brambor u varianty hnojené minerálními hnojivy (N, P, K) oproti variantě hnojené pouze hnojem.
2. Lze předpokládat, že obsah dusíku v hlízách brambor bude vyšší na variantě hnojené minerálním dusíkatým hnojivem oproti variantě hnojené pouze hnojem.
3. Lze předpokládat, že odběrový normativ dusíku je ovlivněn systémem hnojení.

3 Literární rešerše

Brambory jsou plodinou náročnou na hnojení jak organickými, tak minerálními hnojivy. Dle Deana (1994) spočívá pěstitelský úspěch v zajištění optimálního množství živin a načasování jejich aplikace. Rostlina bramboru přijímá živiny téměř po celou dobu vegetace, především pak v období květu. Průměrné hodnoty odběru živin na 10 t hlíz spolu s nadzemní částí a kořeny jsou: 40-50 kg N, 8,8 kg P, 70 kg K, 22 kg Ca a 8,4 kg Mg (Čepl 2005).

3.1 Význam a nároky brambor na živiny

Všechna hnojařská opatření je nutné uskutečňovat v souladu s ostatními agrotechnickými zásadami a ekologickými hledisky při respektování stanovištních podmínek. Jedině uplatňováním všech opatření v celém komplexu lze dosahovat dobrých výsledků. Dlouhodobá aplikace organických a minerálních hnojiv pozitivně ovlivňuje obsah organické hmoty v půdě a další fyzikálně chemické vlastnosti, ale i výnosovou úroveň, její stabilitu a kvalitu (Vaněk et al. 1999).

Půdní úrodnost (nebo také obsah přístupných živin v půdě) je označována jako stará půdní síla, která se vytváří pravidelným hnojením a přírodních procesů, dále také záleží na lidské činnosti (Kalinová et al. 2007). Brambory dobře snášejí kyselější půdní reakci, a proto většina půd, na kterých se brambory pěstují, má optimální hodnotu pH v oblasti 5,5 – 6 což naznačuje, že potřeba při vápnění je zde jen při silném poklesu této hodnoty. Dále zásobou fosforu, draslíku a hořčíku, biologickou činností půdy, obsahem trvalého humusu, obsahem organických látek, sorpční schopností půd apod. (Vaněk et al. 2002).

Rybáček et al. (1988) shledávají optimálním prostředím pro brambor půdu provzdušněnou, kyprou a biologicky aktivní. Protože brambory nemají příliš výkonný kořenový systém, vyžadují velké množství kyslíku a rovnoměrné zásobení vodou. Podstatnou roli zde také sehrávají organická a minerální hnojiva. Různé živiny jsou pro výnos a kvalitu brambor významné. Jako příklad mohou sloužit prvky: hořčík, mangan, bór, vápník a fosfor (Verdasdonk 2002).

Hnojením se dá částečně ovlivnit počet a velikost hlíz. Je známo, že dobrá výživa více ovlivňuje počet hlíz, kdežto příznivé rozdělení srážek působí výrazně na jejich velikost. Vyrovnaná a dostatečná výživa ovlivňuje příznivě kvalitu hlíz. Základem úspěšného pěstování brambor je přiměřené hnojení kvalitními stájevými hnojivy (Vaněk et al. 2016).

Jako velmi efektivní je považován systém meziplodin. Jedná se o metodu, která zlepšuje absorpci živin a efektivitu jejich využití, aniž by docházelo ke zvyšování vstupů s hnojivy (Hinsinger et al., 2011; Gitari et al., 2016; Nyiraneza et al., 2017).

3.2 Živiny

3.2.1 Dusík

Mezi hlavní články koloběhu dusíku se řadí půda, rostliny a atmosféra. Jeho největší množství se nachází v litosféře. Ovšem pro koloběh N je nejdůležitější dusík z atmosféry. Obsah dusíku ve vzduchu se pohybuje okolo 78,08 % objemových. Do půdy se dostává pomocí mikroorganismů, průmyslových a organických hnojiv, srážek a fixací dusíku (Vaněk et al. 2016).

Dusík patří k nejvýznamnějším prvkům v koloběhu živin, pro rostliny je nepostradatelnou živinou i pro veškeré živé organismy, včetně půdních mikroorganismů. Patří k základním stavebním prvkům nejdůležitějších sloučenin živé hmoty – bílkovin a makromolekulách nukleových kyselin (Vaněk et al. 2016). Rovněž je považován za rozhodující vstup do rostlinné produkce, protože bez něj by výnosy klesly pod hranici ekonomické udržitelnosti (Giletto et Echeverria 2013; Ankumah et al., 2003; Guertal et Kemble 1997; Mortley et al. 1993; Taranet et al. 2017).

Polovina minerálních dusíkatých hnojiv, která kdy byla použita na planetě, byla aplikována v posledních desetiletích (Erismann et al., 2007). Změny v koloběhu N však mají mnohostranné důsledky:

1. globálně se zvyšuje koncentrace skleníkových plynů – oxidů dusíku,
2. zvyšují se toky dusíkatých sloučenin (přes dvě třetiny emisí N_2O a NH_3 jsou produkovány lidskou činností),
3. přispívají ke kyselým dešťům a fotochemickému smogu (Nátr, 1998).

Dusík má na okolní prostředí jak kladný, tak záporný vliv. Kladem je především pozitivní efekt na růst rostlin v zemědělství pro výrobu potravin, krmiv a paliv, zatímco negativní je dopad na životní prostředí (Erismann, 2011). Významně se podílí na výnosu i kvalitě produkce a většinou rozhoduje o ekonomice hnojařských i ostatních agrotechnických zásahů (Balík, 1993).

Nejdůležitějším zdrojem N v biosféře je poutání vzdušného dusíku. Dusík fixují mikroorganismy, jak volně žijící, tak symbiotické. Volně žijící mikroorganismy (*Azotobacter*) potřebují k fixaci dostatek energetického materiálu. U těchto bakterií poutání N na jednotku plochy za rok není vysoké a jsou značně ovlivňovány stanovištními podmínkami. Symbiotické mikroorganismy jsou bakterie, které žijí především v symbióze s bobovitými rostlinami. Hlavní bakterií je *Rhizobium radicicola*, která má určité specifické rysy pro určité bobovité rostliny. Rostliny zajišťují mikroorganismům vhodné podmínky a zároveň mikroorganismy předávají rostlině většinu fixovaného dusíku ve formě NH_3 (Vaněk et al. 2016).

3.2.1.1 Význam dusíku pro rostliny

Dusík je čtvrtým nejčastěji zastoupeným biogenním prvkem v rostlinách. Jeho obsah se v rostlinách pohybuje ve značném rozmezí, a to v závislosti na orgánu dané rostliny a jejím stáří. V počátečních fázích růstu rostlin je jeho obsah zpravidla vyšší, s tvorbou další biomasy postupně klesá (Smith 1995).

Vaněk et al. (2016) shledávají, že dusík má velký vliv na tvorbu nadzemní biomasy. Je jisté, že dávka dusíku ovlivňuje příznivě integrální listovou plochu (LAI – leaf area index – v m² listové plochy na m² půdy) a ta je v pozitivní korelaci s výnosem hlíz. Vaněk et al. 2007 upozorňují na to, že vyšší dávky dusíku mají pozitivní efekt na výnos, od určité hranice ale dochází ke snižování kvality hlíz, v neposlední řadě je také vyšší riziko napadení plísní bramborovou v důsledku prodloužení vegetační doby. Z tohoto důvodu by měla být dávka diferencována podle užitých statkových hnojiv.

3.2.1.2 Příjem dusíku

Koncentrace nitrátového dusíku v půdním roztoku je výrazně vyšší než koncentrace amonných iontů (Miller et Rosen 2005). Je to dáno rychlou konverzí volných amonných iontů působením půdních mikroorganismů a nitrát je tedy převažující formou dusíku na většině orných půd. Amonné ionty jsou dostupnější formou dusíku na zamokřených či kyselých půdách a také během chladnějších období, kdy je omezena nitrifikace.

Miller et Rosen (2005) píšou, že dusík může být rostlinami přijímán ve formě nitrátového aniontu NO₃⁻ nebo ve formě kationtu amonného NH₄⁺. O jejich příjmu rozhoduje jak sama rostlina (např. vývojová fáze), tak především podmínky vnějšího prostředí (teplota, množství srážek, obsah O₂ či pH rhizosféry, pH půdy a jejího roztoku). V kyselejších podmínkách je častější příjem nitrátů, v zásadité a neutrální oblasti pak převažuje příjem kationtu amonného, nebo je příjem vyrovnán (Vaněk et al. 2012). Vaněk et al. (2016) píšou, že příjem jednotlivých iontů a jejich využití v rostlině ovlivňuje i příjem ostatních iontů.

Cao et Tibbits (1993) se shodují v tom, že bramborové kořeny přijímají různé formy dusíku různou rychlostí. Proto typ dusíkatého hnojiva může ovlivnit růst rostlin a produkci hlíz. Celková biomasa brambor (nadzemní biomasa, kořeny a hlízy) je vyšší, když jsou rostliny hnojeny směsí dusičnanů a amonnou formou dusíku ve srovnání s hnojením samotnou amonnou formou nebo dusičnanem.

I přesto, že je prokázáno, že lépe se vyvíjí většina rostlinných druhů při výživě nitrátovým aniontem, jsou také důkazy, že společné zásobování NH₄⁺ a NO₃⁻ může být více produktivní než hnojení pouze jednou z forem (Pilbeam et Kirkby 1992).

3.2.1.3 Pohyb a translokace dusíku v rostlinách

Rostlinnými membránami kationt NH₄⁺ snadno proniká (Zrůst 1988). Aktivní transport je prvním krokem, který se uplatňuje při příjmu a využití nitrátů rostlinou přes plazmatickou

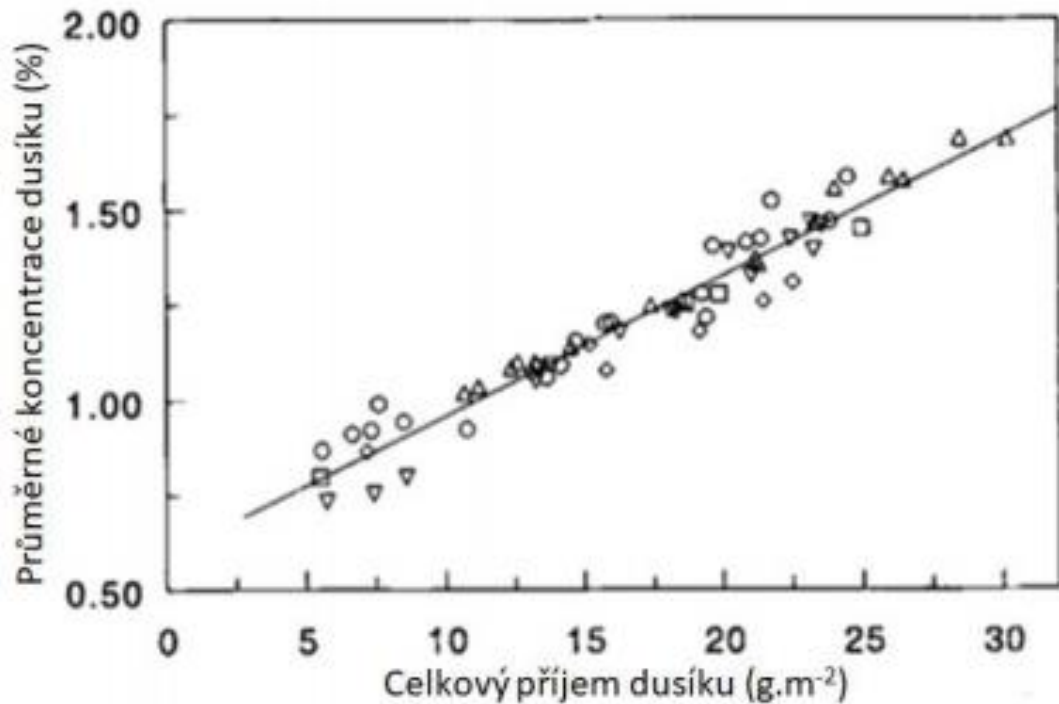
membránu kořenových buněk epidermis a primární kůry spojený s vytvořením elektrochemického gradientu pomocí H^+ ATPázy (Meharg et Blatt 1995). Při příjmu nitrátu dochází ke slabé alkalizaci rhizosféry (Smart et Bloom 1998).

Translokace dusíku v rostlině je zajištěna jak dřevní, tak lýkovou částí vodivých cest. Transportován je buď ve formě nitrátů, ale také ve formě organických sloučenin. Pletiva nadzemní části odebírají dusíkaté látky z kořenů. Jednou přijatý dusík může být v průběhu ontogeneze rostlinou i několikrát využit (Zrůst 1988).

Rostliny přijatý minerální dusík postupně využívají k tvorbě organických dusíkatých sloučenin. Zatímco NH_4^+ mohou rostliny bezprostředně využít k syntéze aminokyselin, nitrátový dusík musí být nejdříve redukován na amonný dusík. Redukce dusičnanů probíhá v rostlinných pletivech, hlavně listech za pomoci enzymů, až na amoniak. Aktivita nitrátoreduktázy poměrně vysoká a k redukci je zapotřebí dostatek energie. Vznikající NH_3 je vázán na oxokyseliny za vzniku aminokyseliny. Do metabolismu rostliny amonný dusík vstupuje nejčastěji zabudován v kyselině glutamové (Vaněk et al. 2016).

3.2.1.4 Obsah dusíku v rostlinách

Brambory jsou dle Rense et al. (2016) plodinou charakteristickou nízkou efektivitou příjmu dusíku, a to kvůli omezeným možnostem kořenů tuto živinu přijímat. Obsah dusíku v jednotlivých orgánech brambor je významně ovlivněn právě množstvím přijatého dusíku, a také množstvím dostupného dusíku rostlinám. To dokládá i graf č. 1, ve kterém je vyjádřena závislost průměrných koncentrací dusíku v sušině na jeho celkovém příjmu. Z grafu vyplývá, že závislost mezi obsahem dusíku a jeho příjmem je lineární, a vyšších koncentrací dusíku dosahují rostliny při jeho vyšším příjmu (Vos 1997).



Graf 1: Závislost koncentrací dusíku v sušině na jeho celkovém příjmu (Vos 1997)

3.2.1.5 Kumulace nitrátů v rostlině

Dusičnany se v rostlinných orgánech hromadí ve větším množství tehdy, když přijatý dusík nestačí využít na tvorbu aminokyselin a následující proteosyntézu bez zjevného toxického poškození rostliny (Minx et al. 1994; Richter et Hlušek 1994).

Kumulace dusičnanů je nesouladem mezi příjmem a jeho aktuálním upotřebením v rostlinném organismu. Kumulace dusičnanů vrcholí v období plného květu. Tehdy rostlina bramboru přijme většinu živin. Ke konci vegetace obsahují hlízy už pouze třetinu množství dusičnanů z fáze plného květu. Největší vliv na kumulaci má stanoviště (85,2 %), vlastnost odrůdy se příkládá 5,4 % a také délce vegetace (Rybáček et al. 1988). Také množství srážek může mít vliv na vyšší kumulaci nitrátů. Za suchého počasí a vyšší teploty bývá obsah dusičnanů v hlízách bramboru vyšší (Wadas et al. 2005). Množství kumulovaných dusičnanů ovlivňuje i délka vegetační doby, odrůdy velmi rané a rané jsou ke kumulaci náchylnější. Se vzrůstajícími dávkami dusíkatého hnojení stoupá kromě bílkovin také podíl nebílkovinných látek – dusičnanů aj. (Míča et Vokál 1997). Bárta et al. (2000) dále uvádí, že náchylnost podmiňuje nadměrné dusíkaté hnojení, nebo její opožděná aplikace.

Nitrátový dusík jako takový samotný není téměř škodlivý. Za škodlivé považujeme dusitany, které vznikají v zaživacím ústrojí. Mají schopnost vázat se na krevní hemoglobin, kde způsobují oxidaci dvoumocného železa na trojmocné, a dojde ke vzniku methemoglobinu, který nemá schopnost se vázat na kyslík (Bárta et al., 2000). Jestliže dusitany budou reagovat

se sekundárními aminy, vzniknou nitrosaminy, z nichž je část považována za karcinogenní (Míča et al. 1991).

Obsah dusičnanů v hlízách se může snížit i po sklizni. Po 180 dnech skladování dojde ke snížení obsahu dusičnanů asi o 20 %. Dle typu tepelné úpravy lze omezit množství dusičnanů na 40–80 % z celkového množství určeného při sklizni (Rybáček et al. 1988).

Koncentrace dusíku v rostlinách bramboru je ovlivněna jednak příjmem a množstvím dodaného dusíku, ale dále také značně proměnlivá v závislosti na stáří rostliny. Celková koncentrace dusíku v sušině se pohybuje cca od 1–5 %. Vysoké koncentrace dusíku jsou sledovány u mladých, dobře hnojených plodin, naopak nižší koncentrace můžeme zaznamenat v pozdějších fázích vegetace a u porostů, které nebyly hnojeny vůbec, nebo pouze nízkými dávkami dusíkatých hnojiv (Ben Abdallah et al. 2016).

V úvahách o vlivu hnojení dusíkem na chemické složení bramborové hlízy bývá právě často diskutován vliv hnojení na obsah dusičnanů v hlízách konzumních brambor. Hnojení dusíkem skutečně může zvyšovat obsah dusičnanů v hlízách, stejně tak ale může ovlivňovat i ostatní složky podílející se na konečném utváření jakosti konzumních hlíz /obsah škrobu, vyzrálост hlíz, zdravotní stav, ale i obsahy bílkovin, které patří k nutričně významným (Bárta et al. 2000).

3.2.1.6 Projevy nedostatku a nadbytku dusíku

Nedostatek dusíku od počátku vegetace má za následek omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, což se projevuje omezením růstu rostlin a tvorby všech jejich podstatných orgánů. Při nedostatku dusíku jsou rostliny slabší a nižší, často jsou porosty nevyrovnané a světlejší. Omezená tvorba listů a také chlorofylu vede ke snížení fotosyntézy, a tím k menší tvorbě produkce biomasy. Snížení tvorby listů má důsledky i v omezení tvorby kořenů a jejich energetickém zásobování. Druhotně tím dochází ke snížení příjmové kapacity kořenů a obecně se snižuje příjem i dalších živin. Proto mají porosty s nedostatečnou výživou N většinou kratší vegetační dobu, rychleji dozrávají, ale zkrácením vegetace dochází ke snížení výnosu a kvality produkce (Zhao et al. 2001; Lu et al. 2016; Vaněk et al. 2016).

Zrůst (1988) uvádí, že nadbytek dusíku se na rostlinách projevuje tím, že jsou rostliny sytě zelené. Dále také dochází ke zvyšování citlivosti vůči chladu a suchu, roste nadzemní hmota na úkor hlíz a snižuje se jejich kvalita. Ovlivňuje tedy i chemické složení hlíz, při vyšších dávkách dusíku je snížen obsah sušiny, ale i škrobu a dalších nutričně významných látek (Grocholl 2007). Zvýšení dávek dusíku nad optimum dále vyvolá zintenzivnění růstové reakce a tím vede k nadměrnému rozvoji listové plochy, ke snížení rychlosti fotosyntézy listů v důsledku silného vzájemného stínění (Diviš et al. 2010).

Při nadbytku dusíku bývají dále trsy vytáhlé a náchylné k poléhavosti. Především v přeuhřtěných porostech může dojít k předčasnému rozklesu trsů a snížení ukazatelů výhodného poměru hmotnosti hospodářsky cenných orgánů k hmotnosti celkové biomasy. Zhoršují podmínky pro následující sklizeň, zvyšuje se nebezpečí mechanického poškození hlíz při sklizni

a následné manipulaci a z toho vyplývající napadení hlíz skládkovými chorobami. Prodlužování vegetační doby může však souviset i s opožděným uvolňováním živin z organické hmoty v půdě, ale s příjmem živin z hnojiv aplikovaných v průběhu vegetačního období (Rybáček et al. 1988).

3.2.2 Draslík

Draslík je jedním z nejdůležitějších prvků, které rostlina potřebuje, třetím nejdůležitějším prvkem pro produkci zemědělských plodin (Marschner 1995). V půdách se draslík vyskytuje hlavně v anorganických sloučeninách (Vaněk et al. 2012).

3.2.2.1 Význam draslíku pro rostliny

Většina zemědělské půdy je přirozeně chudá na K^+ , který je schopna rostlina přijímat a vzhledem k jeho významné roli při fyziologických procesech rostlin to negativně ovlivňuje nejen výnosy zemědělských plodin, ale také jejich kvalitu (Wang et Wu 2013). Fakt, že jsou zemědělské půdy často chudé na K^+ , je způsoben také množstvím K^+ , které je odváděno během sklizně. Nejčastěji jsou na tom půdy, na kterých jsou pěstovány plodiny, ze kterých se sklízí veškeré nadzemní části a díky tomu je znemožněn koloběh K^+ , který se může opětovně dostávat do půdy z rozkládající se biomasy. Nadzemní části rostlin jsou pak využity nejen pro lidskou spotřebu, ale například také pro zvířata. Nedostatečné množství K^+ může vést ke snížení množství listů a zmenšení plochy listů, což ovlivňuje množství látek pocházejících z fotosyntézy a zhoršuje růst rostliny. Jeho základními funkcemi v rostlině jsou transport látek, hospodaření s vodou, aktivita enzymů, ale také má vliv na kvalitu škrobu hlíz, dále má vliv např. na fotosyntézu, prodlužování buněk, pohyb svěracích buněk (Römheld et Kirkby 2010).

3.2.2.2 Příjem, pohyb a translokace v rostlině

Draslík je rostlinami přijímán ve formě K^+ a jeho obsah v hlíze by se měl nacházet v rozmezí 1,8–2 % v sušině. V rostlině je draslík velmi pohyblivý a transportuje se jak bazipetálně, tak akropetálně. Vlastnost, která ho charakterizuje, je vysoká schopnost průniku buněčnými membránami. Vysoké koncentrace draslíku jsou dle Vaňka et al. (2012) typické v mladých orgánech a rostlinách. Při stárnutí pletiv se obsah draslíku snižuje. Většina iontů není v buňkách pevně vázána a jsou dobře pohyblivé a snadno se přemisťují. Draslík se vyznačuje rychlou redistribucí ze starých pletiv do nových (Mengel et Kirkby 2001).

3.2.2.3 Nedostatek a nadbytek draslíku

K^+ je v rostlině mobilní, a proto k projevům deficiencie dochází nejprve na starších částech rostliny. Převážně bývají zasaženy listy, kde můžeme zpočátku vidět chlorózy, které později přechází v nekrózy (Vaněk et al. 1999). V některých případech je zdokumentováno poléhání rostlin (Brady et Weil 2002). To souvisí se změnami v anatomické stavbě stonku a jeho zhoršenou mechanickou odolností (Vaněk et al. 1999). Současně dochází ke zmenšení listové plochy (Pettigrew 1999). Dalším projevem deficiencie draslíku je horší regulace otevři-

rání a zavírání průduchů, horší udržitelnost osmotického potenciálu během období sucha, zpomalení fotosyntézy, změny v enzymatické aktivitě a také v transportu látek v rostlině (Marschner 1995).

Nadbytek draslíku souvisí s poklesem obsahu škrobu v hlízách brambor, ale nemá vliv na celkový obsah cukrů (Sarkar et al. 2010). Vyšší koncentrace draslíku v sušině hlíz překračující 2 % mohou snižovat celkový obsah sušiny (Bansal et Trehan 2011).

S aplikací draselných hnojiv úzce souvisí možnost škodlivého působení doprovodného iontu chlóru. Může dojít k poškození hlíz, případně ke zhoršení kvality, pokud není dodržen dostatečný časový odstup mezi hnojením a vegetací (Vaněk et al. 2016).

Typickým projevem nedostatku draslíku je snížená odolnost rostlin vůči stresovým faktorům prostředí. Dostatečné množství K^+ proto může zlepšit toleranci rostliny k abiotickým i biotickým stresovým faktorům, což je také jednou z výzev současného zemědělství (Wang et Wu 2015).

3.2.3 Fosfor

Mimo dusíku je fosfor nejvýznamnějším prvkem, který rostlina potřebuje ke svému růstu a vývoji. Fosfor není pouze významnou složkou mnoha látek, které hlíza bramboru obsahuje, ale účastní se několika metabolických pochodů, které probíhají v rostlině během vegetace i po sklizni bramboru v hlízách (Míča et al. 1991).

Obsah celkového fosforu v půdě se pohybuje v rozmezí 0,03 – 0,1 %. Fosfor se v půdě vyskytuje převážně ve sloučeninách anorganických i organických (Kalinová et al. 2007).

3.2.3.1 Význam fosforu pro rostliny

Pokud je fosforu dostatečné množství, pak to má příznivý vliv na kvalitu hlíz, a proto je při vyšších dávkách hnojení třeba i vyšší hnojení fosforem. Fosforečné hnojení stimuluje růst rostlin, zvláště kořenů a urychluje zrání. Jelikož stimuluje růst kořenů, umožňuje tím větší osvojování živin z půdy (Vaněk et al. 2007).

3.2.3.2 Příjem a translokace v rostlině

Fosfor je přijímán rostlinami ve formě $H_2PO_4^+$ a HPO_4^{2-} . Příjem fosforu rostlinami je výrazně ovlivňován půdní reakcí (optimum se pohybuje okolo pH/KCl 5,5 – 6,5) a dostatkem organických látek v půdě. Při vyšším obsahu organické hmoty se snižuje objem chemicky vázaného fosforu. Za optimální zásobu fosforu v půdě se považuje rozmezí 80–115 mg/kg půdy ve výluhu Mehlich III (Vokál et al. 2013; Kasal et al. 2011).

Pozitivně na příjem fosforu působí organické látky v půdě, kde mohou zbytky organických kyselin uvolňovat výměnnými reakcemi ionty fosforu navázané v kyselých půdách. Nedostatečné srážky, respektive půdní vlhkost snižuje značně příjem fosforu. Rostlina je schop-

na fosfor přijímat i při nízkých koncentracích v půdě, jedná se však o aktivní proces, který vyžaduje dostatek energie. Dále může rostlina aktivovat v membránách kořenů fosfatázy a přenašeče tak, aby zlepšila příjem fosforu, a zároveň zvýšit růst kořenů na úkor nadzemních částí, aby lépe prokořenila půdu a tím zvětšila objem půdy, ze kterého může fosfor získat (Vaněk et al. 2016). Maximální obsah fosforu je dle Míči et al. (1991) dosažen ve fázi tvorby poupatek, kdy je také nejvyšší metabolická aktivita rostliny bramboru. Navýšení dávky fosforečného hnojiva nemá významný vliv na zvýšení příjmu a obsahu fosforu v rostlině, protože jak uvádí Vaněk et al. (2012) je pro výživu rostlin důležitý půdní fosfor.

3.2.3.3 Nedostatek a nadbytek fosforu

Nedostatek fosforu se u rostlin projevuje méně často. Většinou jde o latentní nedostatek, tedy že na rostlinách nejsou zřetelné žádné zjevné příznaky nedostatku této živiny, ale jeho obsah v rostlinách je nízký, takže nemohou probíhat všechny biochemické funkce na potřebné úrovni. Kritickým obdobím pro příjem fosforu rostlinami je počátek vegetace, a zvláště za chladného, případně suchého počasí je výrazně ztížen jeho příjem. Při déletrvajícím nedostatku P reagují rostliny již vnějšími příznaky. Charakteristickými projevy jsou nižší rostliny, úzké, malé a vzpřímené listy, které mají špinavě zelenou barvu, slabší stonky (Vaněk et al. 2016).

Výraznější nadbytek fosforu se u nás téměř nevyskytuje. Je to způsobeno tím, že je P velmi dobře sorbován půdou a jeho obsah zatím zdaleka nedosahuje kritických hodnot, kdy by přecházel ve vyšších koncentracích do půdního roztoku (Vaněk et al. 2016).

3.2.4 Vápník

Vápník je nepostradatelnou složkou rostlinných a živočišných organismů. V rostlinné výrobě se uplatňuje mnohostranně a plní řadu agronomicky a ekologických důležitých funkcí (Vaněk et al. 1999). Rostlina přijímá vápník ve formě kationtu Ca^{2+} z půdního roztoku, kde je většinou převažujícím kationtem. Vlastní příjem se uskutečňuje především pasivně kořenovými špičkami. Aktivní příjem vápníku a jeho průchod membránami jsou omezené, stejně tak i jeho pohyblivost a transport v rostlině se uskutečňují téměř výhradně transpiračním proudem (Vaněk et al. 2016). Pokud je rostlina dobře zásobená vápníkem, odráží se to na dobrém stavu buněčných membrán a zdraví buněk (Hirschi 2004). Jeho nedostatek může vést k neparazitárním chorobám, popř. ke zvýšené náchylnosti k nežádoucím změnám zbarvení. Vzhledem k tomu, že se vápník podílí na pevnosti buněčných stěn, má vliv i na chování hlíz konzumních brambor při tepelném zpracování (ÚZPI 2000).

Rostlina bramboru přijímá v poměrně vysokých dávkách vápník (2,2 kg Ca/t hlíz) i přesto, že jí vyhovuje kyslejší půdní reakce. Je podstatný především pro tvorbu a růst kořenů (Vokál et al. 2013).

3.2.5 Hořčík

Hořčík je rostlinami přijímán ve formě Mg^{2+} . Příjem je značně ovlivňován koncentrací jednotlivých iontů v půdním roztoku, výrazně antagonisticky působí K^+ . Za optimální zásobu ve střední půdě je 160–265 mg/kg ve výluhu Mehlich III. Půdy v bramborářském výrobním typu jsou zásobeny hořčíkem většinou středně (Vokál et al. 2004).

Transport hořčíku v rostlině je poměrně dobrý, proto je také opětovné využití již uloženého Mg ze sloučenin poměrně dobrý (Vaněk et al. 2016).

Hořčík je považován za klíčový pro tvorbu organických sloučenin. Hořčík je pro rostliny důležitou živinou, působí jako kofaktor fosforylačních enzymů; ovlivňuje fotosyntézu, dýchání a syntézu organických sloučenin (Altarugio et al. 2017; Meurer et al. 2018); a je zásadní pro růst a vývoj rostlin (Cakmak et Kirkby 2008; Gransee et Fuhrs 2013). Hořčík je základní složkou chlorofylu, která podporuje vysokou rychlost fotosyntézy. Brambory tedy na nedostatek hořčíku reagují nižší intenzitou zeleného zbarvení, které postupně přechází v nerovnoměrné rozložení chlorofylu, především na starších listech středního patra. Nedostatek hořčíku omezuje fosforylační procesy a tím se snižuje transport asimilátů z listů do hlíz a klesá jejich škrobnatost (Elfrich 2011).

Často se můžeme u brambor setkat s projevy nedostatku hořčíku ve formě chlorózy, a to např. s nižší intenzitou zeleného zbarvení, nestejně rozložením chlorofylu zejména na starších listech spodního patra (Vokál et al. 2013).

V tabulce č. 1 jsou uvedena kritéria pro hodnocení obsahu draslíku, fosforu a hořčíku v orné půdě. Na základě těchto kritérií lze posoudit možnosti dodání P, K, Mg do půdy.

obsah	fosfor (mg/kg)	draslík (mg/kg)			hořčík (mg/kg)		
		půda			půda		
		lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
nízký	do 50	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120
vyhovující	51-80	101-160	106-170	171-260	81-135	106-160	121-220
dobrý	81-115	161-275	171-310	261-350	136-200	161-265	221-330
vysoký	11-185	276-380	311-420	351-510	201-285	266-330	331-460
velmi vysoký	nad 185	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460

Tabulka 1: Kritéria hodnocení obsahu jednotlivých živin v orné půdě (Mehlich III)

3.2.6 Mikroprvky ve výživě brambor

Co se týče výživy brambor mikroprvky, máme k dispozici jen velmi omezené informace o odezvě brambor na mikroživiny – Zn, Mn, Fe, Cu, B, Mo, Mn (Westermann 2005). V posledních letech, zejména v prostředích středomořského typu, existují nepříznivá zjištění o do-

stupnosti mikroživin v půdě. Je to způsobeno řadou faktorů, mezi něž patří například nižší využívání statkových hnojiv ve srovnání s minerálními hnojivy, vysoká poptávka po moderních odrůdách plodin a zvýšená čistota minerálních hnojiv, ztráty mikroživin v důsledku eroze půdy a vyluhování (Ryan et Sommer 2012).

Brambory nejsou řazeny k rostlinám, které mají specifické nároky na mikroelementy. Reakce na jejich aplikaci je střední, ať již jde o bór, měď, mangan, molybden, zinek či železo. Některé případy z praxe ale dokazují, že záležitost mikroelementů nelze pokládat za okrajovou. Nedostatek manganu se projevuje u brambor leskem a bledostí mladých lístků, které jsou menší a svinují se k vrchnímu povrchu (Vokál et al. 2004).

3.2.6.1 Selen

V současnosti je selenu věnována pozornost vzhledem k jeho esenciálnosti pro živé organismy, včetně člověka. Zatím nebyla zcela prokázána jeho prospěšnost pro rostliny. Jsou sledovány obsahy a příjem Se rostlinami právě s ohledem na přínos tohoto prvku v potravě. Je přijímán rostlinami převážně jako SeO_4^{2-} (Vaněk et al. 2016).

V pokusu Poggiho et al. (2000) byl sledován účinek u foliární aplikace selenu k bramborám. Ve formě seleničitanu sodného a selenanu sodného ve vodě byly aplikovány dávky 0,5 a 150 g Se/ha, jako čisté látky nebo s přídavkem 0,15 % rozpustného leonarditu jako zdroj kyseliny huminové (pH 7). Koncentrace selenu v hlízách se zvyšovala s úrovní aplikace jak u selenanu sodného, tak u seleničitanu sodného pouze pokud byly použity vodné roztoky. Z těchto dosažených výsledků lze soudit, že jak aplikací Se do půdy před sázením, tak i foliární aplikací Se v průběhu vegetace je možno zvýšit obsah tohoto deficitního prvku v jednotlivých částech rostliny bramboru. Aplikace hodnocených dávek selenu se negativně neprojevila ani na počtu hlíz na jeden trs, ani na hektarovém výnosu. Obsah Se v hlízách brambor se zvyšoval se vzrůstající aplikovanou dávkou, přičemž již po aplikaci nejnižší dávky (100 g Se/ha) došlo k výraznému navýšení obsahu Se (Jůzl et al. 2006).

3.3 Hnojení jednotlivými živinami, zdroje živin

3.3.1 Hnojení dusíkem, jeho zdroje

Zajištěním optimálního hnojení dusíkem se předpokládá vytvoření příznivých podmínek pro vzcházení, rychlý počáteční růst porostu a nasazování hlíz. Zároveň vytváří podmínky pro zdravý vývoj porostu (Vaněk et al. 2012).

Nejpoužívanějšími minerálními dusíkatými hnojivy jsou síran amonný (min. 20,6 % N amonného v amonné formě a 23,5 % síry), močovina (46 % N), DAM 390 (42,2 % $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ a 32,7 % $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) a ledek amonný s vápencem s obsahem 27 % N (Tesař et Vaněk 1992).

Dávka hnojiva, která je zapotřebí k dosažení optimálního výnosu, se liší podle místa (u stejné odrůdy brambor vypěstované ve stejném roce se může výnosová odezva na hnojení dusíkem u jednotlivých polí velmi lišit), podmínek pěstování, agrotechniky pěstování bram-

bor a dále na výskytu chorob škůdců (Zebarth et Rosen 2007). Dávka hnojiva, která je potřebná k dosažení maximálního výnosu brambor s minimálním rizikem nadměrné aplikace, dále závisí na faktorech, jako je forma živin, interakce mezi ionty živin, koncentrace živin již přítomných v půdě a imobilizace živin (Burton 1989). Dusík je nejvíce omezující živinou pro růst rostlin brambor, zejména v písčitých půdách (Mortvedt et al. 2001; Errebhi et al. 1998; Scharf et al. 2005; Lobell 2007). Brambory dávají přednost dusičnanovému aniontu NO_3^- před amonným kationtem NH_4^+ (Havlin et al. 1999).

Zhou et al. (2018) píšou, že pokud je dusík aplikován v jediné aplikaci v době výsadby, tak to následně vede k vyluhování dusičnanů z kořenové zóny a kontaminaci podzemní vody, zejména při silných deštích během vegetačního období. Kromě negativního vlivu na životní prostředí má aplikace dusíkatého hnojiva v jediné dávce v době výsadby za následek časně stárnutí listů během pozdního období, což výrazně ovlivňuje výnos hlíz (Love et al. 2005; Woli et al. 2016). Určení optimální dávky dusíku pro brambory je náročné, protože je specifické pro danou lokalitu (Zhou et al. 2018).

Výnosnost hlíz a jejich kvalita souvisí s množstvím a načasováním aplikace živin (Dean 1994), a proto se výzkumu vhodných systémů hnojení po celém světě věnovala velká pozornost (Hamouz et al. 2005; Westermann 2005; El-Sirafy et al. 2008; Poljak et al. 2008; Vos 2009). Nízká dávka dusíkatého hnojiva vede ke špatnému růstu a výnosu brambor, zatímco nadměrná aplikace N vede ke zpožděné zralosti, špatné kvalitě hlíz, nadměrnému vyluhování dusičnanů a někdy také ke snížení výnosnosti hlíz (Sharifi et al. 2005; Li et al. 2006; Zebarth et al. 2006; Haase et al. 2007; Kumar et al. 2007; Sincik et al. 2008; Arriaga et al. 2009; Černý et al. 2010). Vliv dusíku na výnos plodiny a její kvalitu je větší než u ostatních minerálních prvků. Ke konečnému výnosu může přispět až ze 40 % až 50 % (Hartemink et al. 2000).

Výnos hlíz je citlivý na přidání hnojiva s obsahem dusíku téměř ve všech případech. Aplikace dusíkatého hnojiva zvyšuje výnos především prostřednictvím zvýšení hmotnosti hlíz (De la Morena et al. 1994). Zvýšení hmotnosti hlíz však není vždy ovlivněno aplikací dusíkatého hnojiva. Vyšší dávka dusíku navýšila hmotnosti hlíz ve dvou ze šesti lokalit v New Brunswicku, ale v jednom případě vysoká dávka dusíku způsobila snížení hmotnosti hlíz. Je tedy patrné, že nadměrné hnojení může vést ke snížení výnosu hlíz (Allen et Scott 1992).

Zdroj dusíku používaný v bramborách nepřímo ovlivňuje obsah škrobu v bramborách, protože má vliv na obsah sušiny a vyžralost hlíz (Kumar et al. 2004; Silva et al. 2013). Je pravděpodobné, že aplikace dusíku mění fyzikálně-chemické vlastnosti hlíz v době sklizně i během skladování. Ve skutečnosti je známo, že nadměrné množství dusíku, zejména pozdní aplikací, indukuje produkci listů, která prodlužuje období růstu rostlin, zpomaluje zrání, snižuje obsah škrobu a snižuje kvalitu hlíz. Změny chemického složení brambor způsobené různými zdroji hnojení N závisí také na odrůdě brambor (Coelho et al. 2010). Vokál et al. (2000) uvádějí, že se zvyšující se dávkou dusíku klesá jeho účinnost. U dávek 50 kg N/ha připadá na 1 kg dusíku přírůstek výnosu kolem 100–120 kg hlíz, ale u dávek nad 120 kg N/ha již jenom 20–30 kg hlíz.

Ve víceletých pokusech v Německu zaznamenal Grocholl (2007) dobré výsledky při lokální aplikaci hnojiv. Nejvyššího výnosu bylo dosaženo u varianty, kdy se polovina dávky vícesložkového hnojiva s upraveným obsahem N, P, K a Mg aplikovala lokálně při sázení a druhá polovina dávky při výšce porostu cca 15 cm. Mimo toho byl zjištěn výrazně lepší vývoj porostu a vyšší tolerance ke stresům. Na lehkých půdách a u raných a poloraných odrůd bylo dosaženo nejlepších výsledků.

Jelikož je dusík nezbytný prvek pro růst rostlin, je v zemědělství aplikován v největších množstvích. Přesto může být značné množství aplikovaného dusíku ztraceno systémem půda – rostlina, i za optimalizovaného hnojení, díky NO_3 vyplavování, NO_x a N_2O plyným emisím z nitrifikace a denitrifikace a NH_3 volatilizaci (Trenkel 2010). Tyto ztráty nepředstavují pouze ekonomickou zátěž, ale mají také dále velmi negativní vliv na životní prostředí (Hu et al. 2013). Gutser (1999) konstatoval, že vyplavování NO_3 následující po aplikaci minerálních hnojiv, může být výrazně omezeno při použití inhibitoru nitrifikace. Přidáním inhibitoru můžeme také snížit N_2O emise o 30–80 % (Amberger 1989; Vos 1994; Linzmeier et al. 2001; Weiske et al. 2001; Zerulla et al. 2001; Khalil et al. 2009; Zanman et al. 2009; Akiyama et al. 2010).

Užitím inhibitorů se zvyšuje efektivita využití dusíku, který je dodáván v hnojivu tak, aby byl maximálně využit rostlinou a pokud ne, aby byl co nejvíce zabudován do organických vazeb v půdě. Tímto dojde k významnému snížení rizika ztrát dusíku vyplavením a denitrifikací. Inhibitory nitrifikace je vhodné používat v oblastech s promyvným režimem půd a pro plodiny, u kterých je aplikována vyšší jednorázová dávka dusíku (patří sem i brambory). Inhibitory prodlužují dobu, kdy má rostlina k dispozici amonnou formu dusíku, která je v půdě méně mobilní než nitrátová forma, protože se váže do sorpčního komplexu. Nitrátový dusík vzniká v půdě tak, že dojde k oxidaci amonného dusíku za přítomnosti autotrofních bakterií. Inhibitory nitrifikace ovlivňují enzymy mikroorganismů, resp. vazbu kofaktoru enzymu nebo substrátu. Doba inhibice dále závisí na konkrétních půdních podmínkách, zejména na vlhkosti a teplotě půdy. Používá se přípravek N-serve, který se přidává do statkových hnojiv, zejména kejdy. Dále je na trhu přípravek s názvem PIA DIN, který má obdobné použití u statkových hnojiv. Další možností je použití minerálních dusíkatých hnojiv, které v granulích již obsahují zabudovaný inhibitor. V ČR je registrováno hnojivo ALZON, které obsahuje 46 % močovinného dusíku. Inhibitory ureázy omezují působení enzymu ureáza, který přeměňuje amidickou formu dusíku na amonnou, která by dále oxidovala na nitrátovou formu. Tento inhibitor je obsažen v hnojivu UREA stabil. Jedná se v podstatě o močovinu (46 % N), která je obohacena o inhibitor ureázy. Hnojivo je dobře rozpustné a je možné jej aplikovat do bezprostřední blízkosti hlíz. Nevýhodou inhibitorů ureázy je jejich časově kratší účinnost ve srovnání s inhibitory nitrifikace. Při lokální aplikaci hnojiva DAM 390 je možné použít stabilizátor dusíku Stabiluren. Aplikaci je možné provést přímo na dno brázdy při sázení pomocí rozprašovacích trysek určených k moření sadby. Uvedené přípravky a hnojiva jsou v posledních letech již dostupná na trhu. Hnojiva, která obsahují inhibitory nitrifikace i inhibitory ureázy, jsou vhodná pro užití k bramborám, a to jak v systému plošné, tak i lokální aplikace (Čepl et al. 2010).

K přívodu organických látek a živin do půdy se využívají organická hnojiva, které mají podstatnou roli. Jako optimální termín jejich zapravení je na podzim. V prvním roce se totiž z doporučené dávky hnoje 30–40 t/ha uvolní asi 60 kg N. Co se týká rychlosti mineralizace, ta je závislá na mnoha faktorech. Jedním z nich je kvalita rozkládané hmoty a fyzikální stav půdy, částečně vyjádřený půdním druhem. Jarní hnojení není tak výhodné jako podzimní aplikace, jelikož hrozí nebezpečí uvolňování dusíku až v druhé polovině vegetace. To se pak projeví na prodlužování vegetace a nevyzrálosti hlíz (Škarda 1982).

použitá dávka hnoje	délka vegetační doby	užitkový směr pěstování		
		sadbové	průmyslové	konzumní
t/ha				
bez hnoje	velmi rané	110	120	120
	polorané	85	110	110
	polopozdní	50	90	90
20	velmi rané	100	120	100
	polorané	75	100	90
	polopozdní	45	80	80
40	velmi rané	90	110	100
	polorané	65	90	90
	polopozdní	40	70	70
60	velmi rané	80	90	90
	polorané	55	80	80
	polopozdní	40	60	60

Tabulka 2: Doporučené celkové dávky dusíku pro brambory v kg č.ž./ha (Čepl et Vokál., 1997)

U sadbových porostů se volí nižší dávky dusíku. Jednak se požaduje vysoký podíl hlíz do 80 g, dále včasné vyzrání a sklizeň bez průtahů, které vystavují porost delší dobu pro možný přenos virových chorob. Požadovány jsou hlízy zdravé, s vysokou biologickou a sadbovou hodnotou (Míča et Vokál 1997). U konzumních brambor se věnuje pozornost organoleptickým vlastnostem, na nichž se dusík velkou měrou podílí. Moučnatost hlíz je ovlivňována obsahem škrobu, pokud je obsah škrobu vysoký, stávají se hlízy rozvářivými. Škrobářské brambory by měly být hnojeny s ohledem na kvalitu škrobu, který je hlavním kritériem při výkupu pro zpracování. Dávka N by měla být tím menší, čím větší má být škrobnatost a obsah sušiny v hlízách, nebo tím větší, čím větší má být hektarový výnos hlíz i škrobu. Obvykle se dávka dusíku pohybuje v rozmezí od minimální dávky pro sadbu a maximální pro konzumní brambory (Čepl 2005).

Jako částečná nebo úplná náhrada za minerální hnojiva při produkci brambor se používají hnoje, kaly a rostlinný materiál přenašený nebo zapravený do půdy. Pokud je s těmito hnojivy špatně nakládáno, může se tím více podpořit vyluhování dusičnanů než v případě minerálních hnojiv. Dva hlavní problémy s aplikací tkví v nesprávném načasování nebo nadměrném použití (Beckwith et al. 1998). Důležitými faktory, které je třeba vzít v úvahu před aplikací hnoje, jsou čistá mineralizace N (která závisí na poměru C:N u rostlinných zbytků).

ků, teplota půdy a vlhkost půdy. Všechny tyto faktory se mohou lišit v závislosti na ročním období, což ztěžuje předpověď mineralizace na sezónní rozpočet N (Vos 1999).

Havlin et al. (1999) uvedli, že pomalu dostupný dusík z hnoje, kalu nebo luštěnin by mohl mít vyšší potenciál pro vyluhování než dusíkaté hnojivo aplikované při odpovídající míře, protože část organického N v těchto materiálech mohla být mineralizována během období vzcházení rostlin nebo dokonce když je půda ladem. Tato skutečnost je zvláště důležitá u mělce kořenících plodin (Webb et al. 1997; Izadi et al. 1996; Sanderson et MacLeod 1994; Neeteson et al. 1989). Hlavním problémem používání zvířecího nebo rostlinného organického materiálu je proto nepředvídatelnost dostupnosti dusíku. V závislosti na tom, kdy je N mineralizován, může dojít ke zvýšení potenciálu ztrát dusičnanů (Faassen et al. 1990). Aplikace hnoje by proto mohla být dobrou alternativou ke kapalným hnojivům v podmínkách, kde lze obsah vody v půdě relativně regulovat zavlažováním. Lokality, kde je historicky zaznamenáván podprůměrný úhrn srážek a k doplnění potřebné vody je využíváno zavlažování, mohou být oblasti, kde by bylo možné úspěšně rozvíjet plány výživy využívající aplikaci hnoje jako zdroje dusíku s omezeným negativním dopadem na životní prostředí (Neeteson et al. 1989).

Ve výzkumu Beckwitha et al. (1998) bylo zjištěno, že krocaní hnůj je dobrou alternativou při produkci přijatelného výnosu a kvality hlíz brambor, aniž by došlo ke zvýšení ztrát při vyluhování. V Minnesotě (druhý největší producent krůt ve Spojených státech) je použití krůtího hnoje v produkci brambor dobrou možností, jak jej likvidovat. (Waddell et al. 2000).

3.3.2 Zdroje draslíku

Hlavním zdrojem draslíku pro výrobu draselných hnojiv jsou přírodní ložiska draselných minerálů, která vznikla opakovaným přerodem mořských mělčin. Odparem vykristalizovaly postupně jednotlivé soli, hlavně sírany a chloridy vápenaté, hořečnaté draselné a sodné (Vaněk et al. 2016).

Brambory nemají velké nároky na množství draslíku v půdě, spíše střední. Z půdy ho ale odčerpávají v poměrně velkém množství. Pokud je nízká zásoba draslíku v půdě, tak použijeme doporučenou dávku zpravidla v draselné soli na podzim (Vokál et al. 2004). Musí se dávat pozor na aplikaci draselné soli (KCl) na jaře, jelikož vyšší dávky chloru mohou mít negativní vliv na obsah a kvalitu škrobu (Vokál et al. 2013).

Výživa draslíkem ovlivňuje výnos hlíz i jejich kvalitu. Vyšší nároky na draslík mají průmyslové odrůdy. Brambory patří k plodinám, které nesnáší chlór (snižuje velikost škrobových zrn), a tím zhoršuje technologické vlastnosti hlavně průmyslových brambor. Vzhledem k výrazně vyšší ceně hnojiv bez chlóru a při dodržení dostatečného předstihu hnojení před výsadbou se hnojí chloridovými draselnými hnojivy, převážně se používá 60% draselná sůl. Na podzim před orbou se hnojí na středních půdách, na jaře jen na písčitých půdách. Ani při jarní aplikaci draselné soli při dodržení dostatečného odstupu mezi hnojením a sázením nedojde k nepříznivému působení Cl. Doporučované dávky K na hektar se pohybují v rozmezí od 100–165 kg. Na určení dávky K se odráží obsah K v půdě a dávka a druh statkového

hnojiva. Výhodné je také použití draselných hnojiv s hořčíkem, zvláště na půdách s nízkým obsahem přijatelného Mg (Vaněk et al. 2016).

S aplikací draselných hnojiv úzce souvisí možnost škodlivého působení doprovodného iontu chlóru. Může dojít k jejich poškození, případně ke zhoršení kvality, pokud není dodržen dostatečný časový odstup mezi hnojením a vegetací (Vaněk et al. 2016).

El-Baky et al. (2010) ve svém výzkumu zaznamenali nejvyšší výnos u brambor, ke kterým byla aplikována dávka draslíku 150 kg/ha. Draslík a dusík mají synergický absorpční účinek, takže navýšením dávky draslíku dojde k vyšší akumulaci dusíku. Pro získání vysokého výnosu je nezbytné udržovat v listech brambor příslušný poměr N / K (Shen et al. 2010).

3.3.3 Zdroje fosforu

Kunzová (2009) píše, že zásoba přijatelného fosforu v půdách klesá a fosfor se postupně stává limitující pro výnos a kvalitu produktu. Při současném omezeném hnojení např. hnojem, případně kompostem a minerálními hnojivy dochází k odčerpání fosforu z půdy, které bilančně přesahuje vstupy. To má za následek snižování obsahu přístupného fosforu v půdě. S klesajícím hnojením se na všech druzích půd zastavil nárůst kategorií s vysokým a velmi vysokým obsahem fosforu a začal přechod do nižších kategorií zásobenosti.

Dlouhodobý bilanční deficit v používání fosforečných hnojiv naznačuje zvýšené čerpání fosforu z půdy, čímž se snižuje její úrodnost. Snahou by mělo být takové hnojení fosforem, aby nedocházelo k trvalému deficitu v půdě, které následně ohrožuje produkci rostlin. Tímto je potlačena i konkurenční schopnost rostlinné výroby v České republice. Toto může hrát velkou úlohu při dalším rozvoji českého zemědělství, ale i v procesu konkurenceschopnosti České republiky v rámci evropského zemědělství (Kunzová 2009).

K dodání fosforu je používán především superfosfát, případně NP a NPK hnojiva. Superfosfátem se hnojí na neutrálních a slabě kyselých půdách na podzim před orbou. Dávky fosforu jsou závislé na jeho obsahu v půdě a běžně se pohybují v rozmezí 30–45 kg P na hektar (Vaněk et al. 2016).

Nadměrné užívání fosforu vede ke zhoršení kvality vod, eutrofizaci a ztrátě biodiverzity (Schoumans et al. 2015).

3.4 Organické hnojení

Tato skupina hnojiv se člení na hnojiva statková, organická a organominerální. K nejvýznamnější skupině statkových hnojiv se řadí chlévský hnůj, kejda, zelené hnojení a sláma. K organickým a organominerálním patří průmyslové komposty, kaly z ČOV a digestát (Kasal 2013).

Používání statkových hnojiv sehrává důležitou roli v přívodu organických látek a živin do půdy a tím i udržování a zvyšování půdní úrodnosti (Čepl et al. 2009). Většinou jsou pro-

duktem přímo ze zemědělského podniku. Jejich složení a obsah živin reflektuje živný režim půd dané oblasti, způsob uložení, ošetřování a druh zvířat, která je produkují. Organická hnojiva mají vysokou hnojivou hodnotu a jsou jimi do půdy dodávány: rostlinné živiny (makroprvky a mikroprvky), organické látky, mikroorganismy, látky stimulační, růstové a hormonální (Vaněk et al. 2012).

Statková hnojiva mají pozvolné a dlouhodobější působení. Pravidelným hnojením statkovými hnojivy dochází ke zlepšení a udržení půdní úrodnosti, neboť pozitivně ovlivňují fyzikální vlastnosti půdy, jímavost vody, zadržování živin v půdě, zvyšují odolnost k výkyvům pH a umožňují vhodnější dávkování minerálních hnojiv a lepší využití živin rostlinami (Vokál a kol. 2013). Pokud se organická hnojiva aplikují správně, mohou způsobit i vyšší účinnost živin než při aplikaci minerálních hnojiv (Mikula 1997). Statková hnojiva se zapravují mělce, proto dochází k rychlé mineralizaci a poměrně velkým ztrátám dusíku (Hlušek et al. 2002).

Další funkce organických hnojiv spočívá v tom, že jsou zdrojem energie a uhlíku pro půdní organismy, chrání humus před degradací dodáním primární organické hmoty, zlepšují v půdě hospodaření s vodou, omezují působení vodní a větrné eroze a další (Richter et Kubát 2003).

Brambory patří mezi rostliny pěstované obvykle v tzv. první trati, to znamená, že se k nim aplikují statková hnojiva, jejichž pozitivního působení využívají plodiny pěstované v rámci celého osevního sledu. Není to však pravidlo, brambory, stejně jako ostatní plodiny, nejlépe dokážou využít statková hnojiva v druhé trati (Vokál et al. 2013).

Rané brambory lze úspěšně pěstovat i při hospodaření bez živočišné výroby, kdy se půdní úrodnost jednak zaoráváním všech vedlejších produktů pěstovaných plodin, např. slámy a chrástu (Hamouz et al. 2007).

Organické hnojení může být různého původu. Jednak jsou hnojiva stájová (hnůj, močůvka, kejda), dále rostlinného původu (sláma, zelené hnojení) a komposty (Vaněk et al. 2012).

Maidl (1989), Edmeades (2003), Bhogal et al. (2009) a Müller et al. (2011) se shodují, že zvýšeným uplatněním organických hnojiv narůstá riziko vyplavování dusičnanů a ohrožení kvality podzemních vod.

Kasal (2013) řadí k nejvýznamnější skupině statkových hnojiv chlévský hnůj, kejda, zelené hnojení a slámu. K organickým a organominerálním hnojivům patří průmyslové komposty, kaly z ČOV a digestát.

3.4.1 Chlévský hnůj

Chlévská mrva je směs výkalů, steliva, případně zbytků krmiva, která opouští stáj. Uzráním na hnojišti vzniká chlévský hnůj. Výše produkce chlévské mrvy, obsah sušiny, organických látek a živin závisí na druhu a množství steliva. Hnojem se hnojí především plodiny

s delší vegetační dobou, které jsou náročné na plynulé a dlouhodobé dodávání živin v pohotové formě (Vaněk et al. 2016).

Statkový hnůj je základní organické hnojivo, které se používá při pěstování brambor. Vzhledem k tomu, že produkce hnoje na statcích klesá v důsledku snižujícího se počtu hospodářských zvířat a rozvoje integrovaného a ekologického pěstování brambor, hledají se alternativní řešení. Za těchto okolností roste popularita zeleného hnojení (Redulla et al. 2005; Rozylo et Palys 2009; Plaza et al. 2015).

Základním organickým hnojivem uspokojujícím nároky brambor na postupné zásobování živinami je chlévský hnůj (Hruška 1974). Hnůj v porovnání s dalšími organickými hnojivy zajišťuje nejlepší zdravotní stav hlíz po sklizni a po uložení do skladu (Bolíglowa et Glen 2003). Hnojení chlévským hnojem se provádí před zimní orbou. Organická hnojiva zapravená pod brambory slouží pro celý osevní sled a půda by jimi měla být vyhnojena každé čtyři roky. Hnůj se zaorává v obvyklé dávce 30–40 t/ha (Vokál et al. 2013).

3.4.2 Kejda

Kasal (2013) uvádí, že kejda je kvalitní statkové hnojivo, ale vzhledem k tomu, že obsahuje značnou část dusíku v amonné formě, by se na podzim neměla kejda k bramborům aplikovat s výjimkou těžkých nebo středních jílových půd. Největší účinnost má kejda aplikována na jaře před založením porostu.

Kvalitní kejda je srovnatelná s ostatními statkovými hnojivy, obohacuje se o organické látky a snadno přijatelné živiny. Její složení závisí na druhu hospodářských zvířat, krmení, množství vypité vody, způsobu odklizení a skladování. Nejvíce je však ovlivněno množstvím technologické a jiné vody, jejíž obsah by neměl překročit 20 % vyprodukované neředěné kejdy (Hlušek et al. 2002).

Kejda má větší množství snadněji rozložitelných organických látek, čímž se zvyšuje biologická aktivita půdy. Mikroorganismy v čtené míře rozkládají primární organickou hmotu, což znamená, že hnojení kejdou může snižovat obsah organické hmoty v půdě. Proto je lepší možností kombinovat kejdou se slámou a střídát hnojení kejdou a hnojem. Pro hnojení brambor nelze doporučit aplikaci nekvalitní kejdy, neboť zpravidla obsahuje značné množství semen plevelů, která neztratila klíčivost, a hrozí tak zaplevelení porostu. Při hnojení kejdou je výhodná její kombinace se zeleným hnojením nebo zaorávkou slámy (Vokál et al. 2013).

3.4.3 Močůvka

Močůvkou se rozumí zkvašená moč hospodářských zvířat ze stelivových provozů. Skladuje se v jímkách a dále se využívá k hnojení. Lze ji zařadit k dusíkato-draselným hnojivům. Obsah organických látek a fosforu v močůvce je zanedbatelný. Toto je důvod, proč se dávky močůvky řídí požadavky hnojené plodiny na dusík, případně draslík. Jako velmi výhodné je považováno použití močůvky společně se zaorávkou slámy v dávce nepřesahující

80 kg N/ha, tj. cca 30 t močůvky/ha. Při aplikaci močůvky na povrch půdy je nutné její zapravení do 24 hodin (Vaněk et al. 2012).

V současnosti není dostatečně využívána a velmi často není ani součástí plánů hnojení. Hlavní příčinou tohoto stavu je nevyhovující skladovací kapacita jímek, nedostatek aplikační techniky a v řadě případů i nezájem o její účelné využití (Hlušek et al. 2002).

3.4.4 Zelené hnojení

Při zeleném hnojení dochází k zaorávání vyprodukované hmoty rostlin, které byly za tímto účelem pěstovány. Plodiny, které se používají na zelené hnojení, se pěstují v různých formách, a to jako podsevy, letní a ozimé meziplodiny, výjimečně také ve formě hlavních plodin. Jako nejčastěji pěstované meziplodiny se používají hořčice, řepka, ředkev, svazanka a z podsevů jetel plazivý. Vzhledem k přínosu fixovaného dusíku, dobrého osvojení živin a celkově příznivého působení na půdu je výhodné pěstování bobovitých rostlin (Vaněk et al. 2012).

Možnosti výběru plodin na zelené hnojení je široký, ale účinek je velmi závislý na druhu zvolených plodin. Pokud se nejedná o vikvovité, je žádoucí podpořit růst meziplodiny dusíkem v minerálních hnojivech nebo v kejďě, a to dávkou 20 až 30 kg N/ha (Vokál et al. 2004).

3.4.5 Sláma

Zaorávka slámy přichází stále více v úvahu vzhledem k rozvoji nových technologií v živočišné výrobě, kde se omezuje potřeba steliva, dále v důsledku poklesu stavu zvířat a s tím souvisejícím přebytkem slámy. Zaorávku slámy lze též doporučit v případech nedostatku jiných statkových hnojiv. K jedné tuně slámy je třeba přidat 5-6 kg N. Důležité je rovnoměrné rozprostření slámy po pozemku a kvalita zapravení orbou (Kasal 2013).

3.4.6 Organická a organominerální hnojiva

K těmto hnojivům patří průmyslově vyráběné komposty, substráty, ale i digestát z bioplynových stanic nebo kaly z čistíren odpadních vod (Vokál et al. 2013).

Dobrý kompost by měl zahrnovat rozloženou organickou hmotu, která je zčásti přeměňována na humusové látky a je stabilizována minerální koloidní frakcí. Dodává jimi do půdy významné množství organických látek a živin, které se uvolnily v procesu rozkladu mineralizací (Vaněk et al. 2012). Často je doporučováno (zvláště pro kompostování odpadů v zahradách, domácnostech apod.) přidávání různých preparátů, očkovacích látek, urychlovačů kompostování apod., které mají působit jako startéry kompostování a zajistit správné tlení. Zárukou kvality kompostu je správná skladba surovin (dostatek organického materiálu), dobrá homogenizace surovin (dobré promísení a vrstvení materiálů, aby byly zajištěny procesy rozkladu ve všech částech kompostu) a zajištění dobrých podmínek pro mikroorganismy (Vaněk et al. 2016).

Kal je suspenze nerozpuštěných látek ve vodě. Jedná se o další možnost doplňování organických látek do půdy. Jejich efektivita však není tak dlouhodobá, kdybychom to porovnávali např. s chlévským hnojem. Výhodou kalů je příznivý vliv na obsah a přijatelnost živin v půdě obsah organických látek a tvorbu humusu. Složení kalů a obsahy jednotlivých živin se mění v závislosti na jejich původu (Vokál et al. 2013). Používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství může výrazně řešit nedostatek statkových hnojiv, především chlévského hnoje. Z hlediska producentů kalů je jejich aplikace na zemědělskou půdu vhodným způsobem likvidace tohoto produktu. Obsah živin i rizikových prvků je v kalech variabilní a při aplikaci je třeba se řídit konkrétními hodnotami (Kasal 2013). Aplikace odpadních kalů do půdy je stále oblíbenější, a to díky možnosti recyklace cenných složek, jako jsou organické látky a rostlinné živiny (Singh et Agrawal 2008).

Klír (2011) definuje digestáty jako organické hnojivo, které je vyrobené ze statkových hnojiv a objemných krmiv anaerobní fermentací při výrobě bioplynu. Podle Kasala et al. (2010) se jedná o hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem. Použití i dávkování digestáty jako hnojiva se do značné míry podobá použití a dávkování kejdy, a to vždy s přihlédnutím ke konkrétnímu obsahu živin, zejména dusíku. V současné době se v zahraničí nejčastěji provádí anaerobní digesce kukuřičné siláže, dalších píceňin nebo energetických rostlin. Dále je často zbioplynována čerstvá nebo senážovaná travní fytomasa, jejímž zdrojem jsou nejen louky, ale též veřejná zeleň, golfové hřiště apod.

3.5 Tvorba výnosu u brambor

Výnos hlíz bramboru je výsledkem interakce mezi souborem dědičně fixovaných dispozic (genotypem) a podmínkami prostředí. Sled jednotlivých procesů, kterými je tento složitý fenotypový projev realizován, nazýváme tvorbou výnosu (Zrůst 2000).

Rybáček et al. (1988) definují výnos jako výsledek vývojových a růstových pochodů, které probíhají v relativně dlouhém období vegetace. V tomto období dochází ke změnám vyvíjení faktorů vnějšího prostředí. Vlivem toho rostliny prodělávají změny během své ontogeneze. Během růstu a vývoje rostlin brambor můžeme některé fyziologické pochody ovlivnit.

Podle změn hlavních faktorů prostředí se mění též reakce rostliny na tyto změny během ontogeneze. V ontogenezi bramboru lze pozorovat tvorbu hlavních produkčních orgánů (listů) a výstavbu převážně transportních orgánů (stonků a kořenů). Vytvářejí se tak předpoklady pro tvorbu orgánů akumulujících produkty fotosyntézy (hlíz) a představujících hospodářský výnos rostliny (Zrůst 2000).

Zrůst (2000) píše, že významnou úlohu v procesu tvorby výnosu bramboru má využití slunečního záření zachyceného rostlinou, respektive porostem. Z tohoto hlediska je pro dosažení vysokého hospodářského výnosu bramboru rozhodující:

- rychlost, s jakou se tvoří asimilační aparát;
- optimální velikost listové plochy plně schopné funkce;
- produktivita asimilačního aparátu;
- životnost plně funkčních listů;
- co nejdelší období optimálně rozvinuté listové plochy;
- relativní rychlost růstu zásobních orgánů;
- odpovídající rozdělení vytvořených asimilátů do produkčního procesu a k tvorbě zásobních orgánů;
- výkonný kořenový systém;
- hospodárný a účinný vodní režim;
- účinná a hospodárná minerální výživa.

Jelikož je kulturní brambor víceletá rostlina, která v našich klimatických podmínkách nedokáže přezimovat, musí se tudíž každým rokem vegetativně množit z nově vytvořených hlíz. Klíčky vyrůstají z pupenů hlíz, které dále rostou a tvoří stonky. V podzemní části stonků vyrůstají přídatné kořeny neboli adventivní kořeny a stolony. Tloustnutím vrcholového internodia stolonů začíná tvorba hlíz (Vokál et al. 2013).

Pro rychlý vývoj porostu na jaře z důvodů včasného využití záření a pro zamezení neproduktivnímu výparu vody z půdy slouží biologické příprava hlíz před sázením (předklíčení, nebo alespoň narašení hlíz). Jejím cílem je vytvoření klíčků v poměrně krátkém období před výsadbou, zkrácení doby mezi výsadbou a vzejitím porostu, dosažení vyrovnanějšího vzházení rostlin, dřívějšího začátku nasazování hlíz a dřívější sklizně u porostů sklizených pro nejranější konzum. V tomto případě se při skladování a přípravě sadby podporuje vyšší stupeň apikální dominance. S nakličováním je třeba začít co nejdříve po skončení dormance hlíz. Snahou je získat menší počet dobře vyvinutých klíčků na hlíze. Tím se vytvoří menší počet stonků na trs i nižší počet hlíz pod trsem. Hlízy pak rychle dorůstají do konzumní velikosti (Zrůst 2000).

Bätz et al. (1980) rozdělili vývojová stádia rostliny bramboru do makrostádií, která následně rozdělil na mikrostádia, která podrobněji představují diferenciaci makrostádií. Za makrostádia byly vybrány fáze:

- 00 Klíčení
- 10 Vycházení
- 20 Tvorba listů a stonků
- 30 Růst do délky / růst do výšky
- 40 Zapojení (uzavírání porostu)
- 50 Tvorba pupat
- 60 Květ / kvetení
- 70 Tvorba (vývin) bobulí
- 80 Žloutnutí rostlin / dozrávání
- 90 zralost hlíz v době sklizně

Jedním ze základních předpokladů pro využití výnosového potenciálu odrůd je zdravá a velikostně vytříbená sadba (Vokál et al. 2000).

Ideální velikost sadbových hlíz je dle pokusu Votoupala (1964) 40–60 mm, přičemž Čepl et Novotný (1995) dosáhli ještě lepších výnosů s velikostí hlíz 40–50 mm při srovnání s velikostí 30–40 mm. Dále uvádí, že zvýšení výnosu a výtěžnosti konzumních hlíz lze dosáhnout použitím sadbových hlíz s vyšší hmotností.

3.5.1 Výnosotvorné prvky u brambor

Během ontogenetického vývoje se u rostlin brambor postupně vytvářejí výnosotvorné prvky. U brambor se mezi výnosotvorné prvky řadí počet rostlin a počet stonků na ploše porostu, počet hlíz na jeden trs a hmotnost hlíz.

Počet rostlin – jedná se o jednu z hlavních složek tvorby výnosu. Počet rostlin určuje množství rostlin na jednotku plochy půdy. Množství rostlin je závislé na tzv. sponu sázení neboli vzájemném rozestupu rostlin mezi sebou. Optimální počet rostlin bramboru je 40–60 tisíc na jeden hektar (Hruška et Zrůst. 1980).

Počet stonků – jedná se o velice variabilní odrůdově typickou vlastnost. Téměř vůbec není tato vlastnost ovlivňována přirozeným a modifikovaným prostředím, dále také ročníkem. Počet stonků je závislý na počtu oček na sadbové hlíze, který je ovlivněn fyziologickým stavem a kvalitou sadby (Rybáček 1988).

Počet hlíz – počet hlíz na trs je ovlivněn genotypem, počtem stonků, klimatickými podmínkami v době sázení hlíz a na škůdcích a chorobách. Jedná se o přímý ukazatel hospo-

dářského výnosu hlíz. Vlastnosti hlíz, lze příznivě ovlivnit základními agrotechnickými úkony, například hustotou porostu, termínem výsadby, výživou a biologickou přípravou sadby (Hruška et Zrůst. 1980). S prodlužující se délkou vegetačního období narůstá počet hlíz na rostlinu (Jůzl et al. 2000).

Hmotnost hlíz – tvoří nejdůležitější faktor při určování hospodářského výnosu. Ze všech výnosotvorných prvků je nejvíce ovlivněn přirozeným a modifikovaným prostředím. Hmotnost hlíz závisí na době nasazení, tato doba je rozhodující pro cílený výnos. Při pozdním nasazení se může omezit doba růstu hlíz (Hruška et Zrůst 1980). Co se týče organizace porostu, nejvyšší hmotnosti jedné hlízy lze dosáhnout při řídkém sponu výsadby a při nižším počtu stonů na rostlinu (Oliveira et al. 2016).

Růst brambor je značně závislý na odrůdě – velmi rané odrůdy mají délku vegetační doby pouze poloviční oproti pozdním odrůdám. Tímto jsou také dány značné rozdíly v příjmu živin a jejich využití. Rané odrůdy přijímají živiny během krátkého období, zatímco u pozdějších odrůd je období příjmu delší a rostliny mohou lépe využít živiny půdy. Jsou i značné rozdíly ve výnosech hlíz, a proto se dosti výrazně liší odběry živin, zvláště dusíku. Nižší odběr dusíku na jednotku výnosu je u množitelských porostů, naopak vyšší u raných a konzumních odrůd (Vaněk et al. 2002).

4 Metodika

V experimentální části byl vyhodnocen vliv organických hnojiv (hnůj, čistírenské kaly, sláma) a minerálních hnojiv (s obsahem živin N, P, K) na výnos brambor, obsah a odběrový normativ živin v letech 2018 a 2019. V diplomové práci jsou využity výsledky z dlouhodobých polních pokusů Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ze stanoviště Lukavec.

4.1 Dlouhodobý stacionární pokus katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Jedná se o pokus, který byl založen roku 1996 na pěti stanovištích České republiky s odlišnými půdně klimatickými podmínkami (Praha-Suchdol, Humpolec, Hněvčeves, Lukavec u Pacova, Červený Újezd). V tomto pokusu je osevni postup následující: brambory, ozimá pšenice, jarní ječmen.

Ke všem zmíněným plodinám jsou v podzimním období aplikována fosforečná a draselná hnojiva. U brambor a ječmene jarního je aplikace minerálních dusíkatých hnojiv provedena před založením porostu, u ozimé pšenice je dávka dusíku rozfázována na dvě dávky. První dávka dusíku se aplikuje jako regenerační přihnojení, druhá jako produkční přihnojení.

Velikost pokusných parcel na stanovišti Lukavec je 60 m².

V této diplomové práci budou použity a hodnoceny výsledky ze stanoviště Lukavec. V tabulce č. 3 jsou uvedeny varianty hnojení, u kterých byl sledován vliv na výnos hlíz brambor, dále na obsah a odběr živin hlízami brambor.

4.1.1 Dávky živin aplikovaných v hnojivech

V tabulce č. 3 jsou zaznamenány celkové dávky živin v kilogramech na hektar dodávané v hnojivech pro brambory.

Pro hnojení dusíkem slouží hnojivo LAV s obsahem dusíku 27 %, pro hnojení fosforem se využívá hnojivo TSP s 21 % fosforu a pro hnojení draslíkem slouží hnojivo draselná sůl s obsahem 50 % draslíku.

číslo varianty	varianta	N	P	K
1	kontrola	/	/	/
2	kal 1	330	201	55
3	hnůj	330	118	374
4	hnůj 1/2 + N	165	59	187
5	N	120	0	0
6	NPK	120	30	100
7	N + sláma	138	6	47

Tabulka 3: Dávky jednotlivých živin aplikovaných v hnojivech

4.1.2 Průměrné dávky sušiny, sušina a obsah živin v organických hnojivech

	dávka	sušina	obsah živin (% sušiny)				
	t/ha/rok	%	N	P	K	Ca	Mg
kal 1	9	30,6	3,66	2,23	0,61	3	0,78
hnůj Luka-vec	17,77	26,3	1,9	0,63	2,72	1,71	0,51
sláma	5	95	0,35	0,11	0,93	0,49	0,04

Tabulka 4: Průměrné dávky sušiny, sušina a obsah živin v organických hnojivech

V tabulce jsou představeny průměrné dávky hnoje, kalu a slámy na stanovišti Lukavec, průměrné obsahy sušiny a průměrný obsah živin v těchto hnojivech.

4.1.3 Agrotechnika pěstování brambor v roce 2018 a 2019

datum	operace
26.4.	hnojení pro brambory + rotační brány
1.5.	sázení brambor
20.5.	Dominátor 3 l/ha
25.5.	vzcházení brambor
5.6.	ošetření Biscaya 0,2 l/ha
16.6.	Revus Top 0,6 l/ha
28.6.	Revus Top 0,6 l/ha
28.6.	květ brambor
7.7.	Revus Top 0,6 l/ha
23.7.	Zingal 500SC 0,4 l+Mospilan 0,07 kg/ha
8.9.	sklizeň

Tabulka 5: Provedené agrotechnické operace v agronomickém roce 2017/2018

datum	operace
18.4.	hnojení pro brambory + rotační brány
22.4.	sázení brambor
22.5.	vzcházení brambor
3.6.	ošetření Titus 25WG 60 gr.+ Sencor Liquid 0,3 l + smáčedlo
18.6.	Vaztak Forte 0,25 l
22.6.	Revus Top 0,6 l/ha +Biscaya 0,2 l/ha
30.6.	květ brambor
2.7.	Revus Top 0,6 l/ha
16.7.	Revus Top 0,6 l/ha
1.8.	Zingal 500SC 0,4 l
12.9.	sklizeň

Tabulka 6: Provedené agrotechnické operace v agronomickém roce 2018/2019

V tabulkách č. 4 a č. 5 jsou popsány provedené agrotechnické operace za agronomické roky 2017/2018 a 2018/2019.

4.1.4 Charakteristika odrůdy Antonie

Ranost: poloraná odrůda

Varný typ: A

Kvalita: vysoká vnitřní i vnější kvalita

Výnos: vhodná na praní a balení, vysoký podíl středně velkých hlíz vyrovnaného třídění, vysoký výnosový potenciál

Počáteční vývoj: pozvolný, listový typ

Dormance (skladovatelnost): vysoká, výborná dlouhodobá skladovatelnost až do jara

Hlíza: oválný tvar, žlutá slupka, žlutá dužnina, očka mělká

Odolnost: háďátko bramborové: Ro 1 + 4; virové choroby: vysoká; plíseň bramboru: vysoká; strupovitost: vysoká

Náchylnost: mechanické poškození: nízká až střední; tmavnutí dužniny: nízká, netmavne

4.1.5 Charakteristika stanoviště Lukavec

Stanoviště Lukavci spadá do podhoří Českomoravské vysočiny se středem velké rulové oblasti (Pacovská vrchovina) s polohou cca 610 m. n. m., se značně členěným reliéfem terénu a s hojnějším výskytem jehličnatých lesů. Z geomického hlediska patří stanoviště s pokusy k výrobnímu typu B2.

Lokalizace: 49°34'00'' severní šířky a 14°59' 30'' východní délky

4.1.5.1 Půdní podmínky

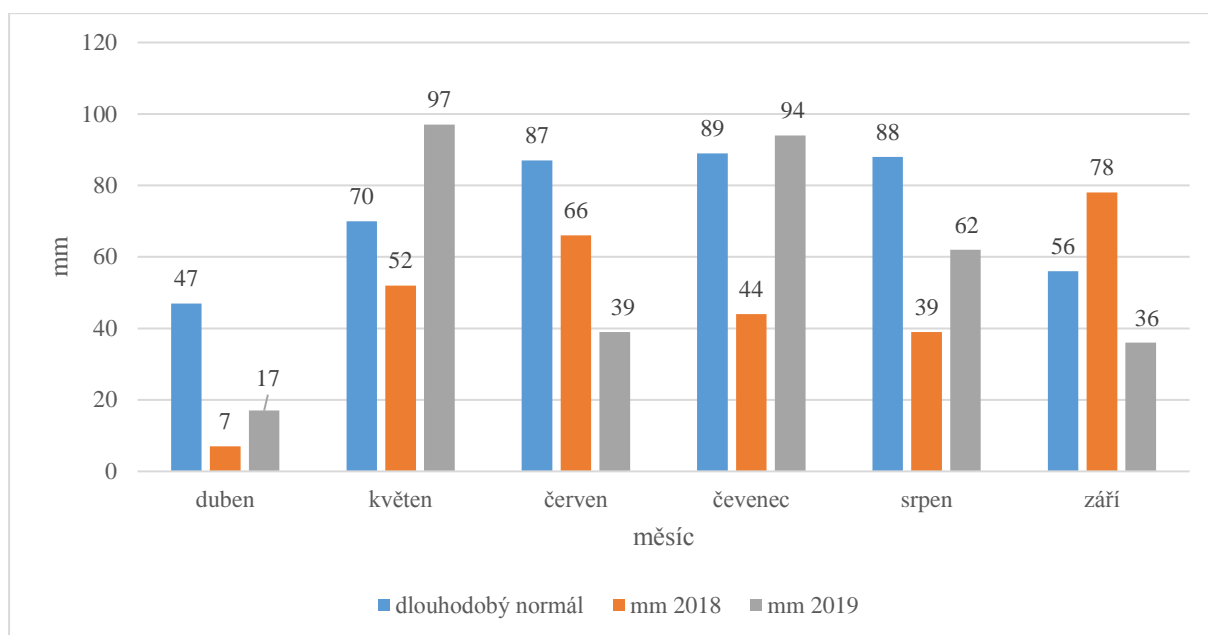
Stanoviště se nachází na dvou geologických útvech. Útvary krystalických břidlic a nejmladší náplavy holocenní. Půda je hnědá, podzolová oglejová. Půdotvorným substrátem je rula. Jedná se o půdu, která má spíše lehčí drobivost. Drobivost se vyznačuje vyšším obsahem IV. kategorie hrubého písku, a to u ornice 30-40 % a spodin 40-60 %. V tabulce č. 7 jsou uvedeny agrochemické vlastnosti ornice.

pH (CaCl ₂)	5,6
Cox	3,25%
KVK	128 mmol/kg
P	114 mg/kg
K	221 mg/kg
Mg	82 mg/kg
Ca	1100 mg/kg

Tabulka 7: Agrochemické vlastnosti ornice

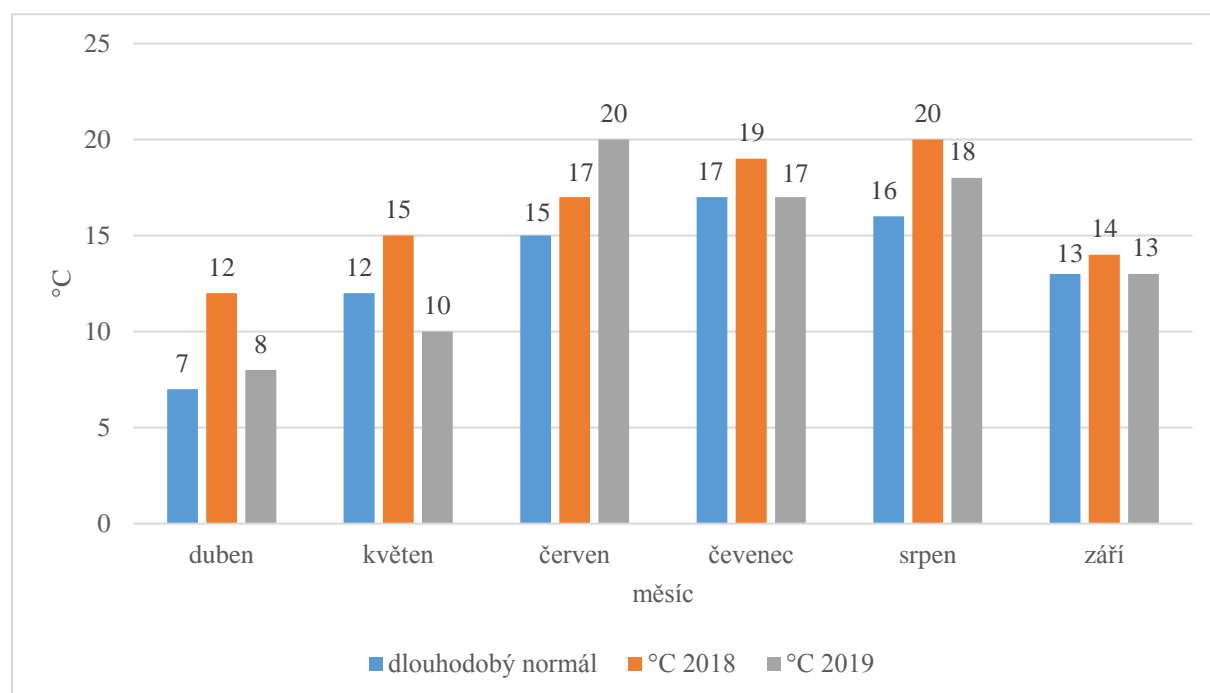
4.1.5.2 Klimatická charakteristika stanoviště Lukavec

Tato klimatická oblast je mírně teplá, klimatický okrsek B5 (mírně teplý, mírně vlhký, vrchovinový). Agroklimatické členění (makrooblast, oblast a podoblast): chladná, mírně chladná, mírně suchá.



Graf 2: Porovnání průměrných úhrnů srážek v letech 2018 a 2019 s dlouhodobým normálem (vegetační období)

Z grafu č. 2 je patrné, že měsíc duben v roce 2018 byl v porovnání úhrnu srážek s dlouhodobým normálem hluboce podprůměrný, spadlo 7 mm srážek, kdežto průměrná 7hodnota úhrnu srážek za 50 let činí 47 mm. Podprůměrným byl také duben v roce 2019, kdy spadlo 17 mm srážek. Lze z toho vyhodnotit fakt, že měsíc duben v obou letech nebyl srážkově bohatý a nelze ho považovat za optimální jako počátek vegetačního období. Celkově ve vegetačním období duben–září v roce 2018 spadlo 286 mm a v roce 2019 345 mm.



Graf 3: Porovnání průměrných teplot v roce 2018 a 2019 s dlouhodobým normálem (°C)

Z grafu č. 3 je patrné, že rok 2018 lze hodnotit jako teplotně nadprůměrný, a to jak v porovnání s dlouhodobým normálem, tak i s rokem 2019.

4.1.6 Analytické stanovení

Ke stanovení obsahu dusíku v hlízách brambor bylo využito metody dle Kjeldahla.

Tato metoda sestává ze tří základních etap: mineralizace, destilace a titrace. Nejprve je zapotřebí navážít vzorek o hmotnosti cca 0,5 g, do kterého se následně přidá katalyzátor a poté ještě kyselina sírová. Dusík vázaný v aminových a dalších funkčních skupinách se převedl na amoniak, který vstupoval do chemické reakce s kyselinou sírovou za vzniku síranu amonného. Po procesu mineralizace následuje fáze destilace zmineralizovaného vzorku vodní párou, kdy dojde k uvolnění dusíku v podobě amoniaku, který je jímán v přebytku titračního roztoku kyseliny borité. Skutečný obsah dusíku je stanoven zpětnou acidobazickou titrací kyselinou chlorovodíkovou.

Procesy titrace a destilace byly prováděny automaticky za pomoci přístroje Vapodest 50s, který stanoví obsah dusíku a výsledky z jednotlivých měření zpracuje a uloží.

4.1.7 Výnos

Hlízy byly sklizeny z parcelky o velikosti 60 m², 3 opakování tedy byly na ploše o rozloze 20 m² (sklízely 4 řádky). Hlízy byly z každého opakování zváženy, zapsány a následně přepočítány na výnosy v t/ha.

4.1.8 Odběrový normativ

Odběr dusíku rostlinami byl vypočítán na základě výsledků obsahu dusíku a výnosu sušiny. Výsledky obsahu dusíku (%) byly přepočteny na obsah dusíku v kilogramech v 1 tuně a následně se výsledek vynásobil výnosem sušiny v t/ha. Pro výpočet odběrového normativu bylo dále třeba znát výnos čerstvých hlíz.

4.1.9 Agronomická efektivita využití dusíku

Agronomická efektivita aplikovaného dusíku (AE-N) je počítána jako rozdíl z přírůstku výnosu na hnojené variantě v porovnání s výnosem na nehnojené variantě a ve vztahu k aplikované dávce dusíku (kg/ha).

$AE-N = (\text{výnos na hnojené variantě} - \text{výnos na nehnojené variantě}) / \text{dávka N na hnojené variantě}$

4.1.10 Statistické hodnocení

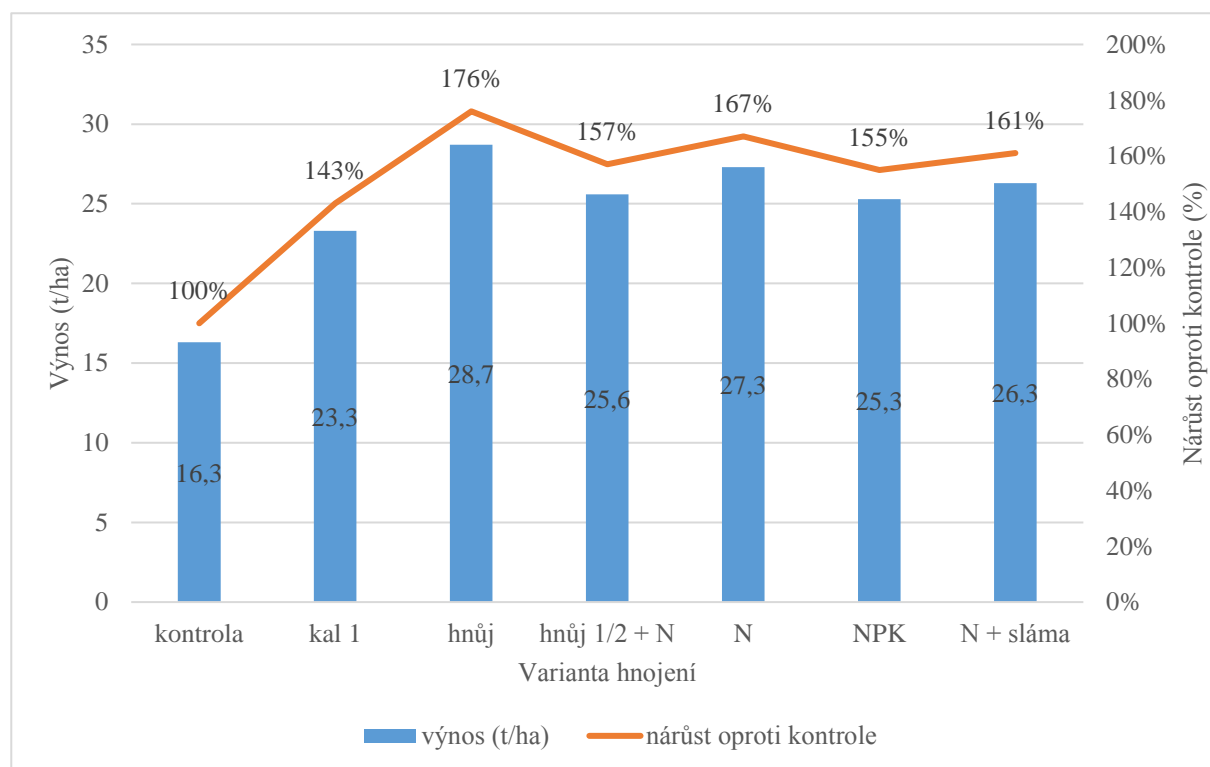
Ke statistickému hodnocení byl využit program Statistica 12. Vyhodnocování probíhalo metodou ANOVA při zvolené hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Pro podrobnější hodnocení byl využit Tukeyův test.

5 Výsledky

V této kapitole diplomové práce budou vyhodnoceny dosažené výsledky z experimentální části, konkrétně výnosy hlíz brambor, obsahy dusíku v hlízách brambor, odběrové normativy hlíz a také agronomická efektivita využití dusíku v letech 2018 a 2019.

5.1 Výnosy hlíz brambor

5.1.1 Výnosy hlíz brambor v roce 2018



Graf 4: Průměrné výnosy hlíz v roce 2018 (v t/ha)

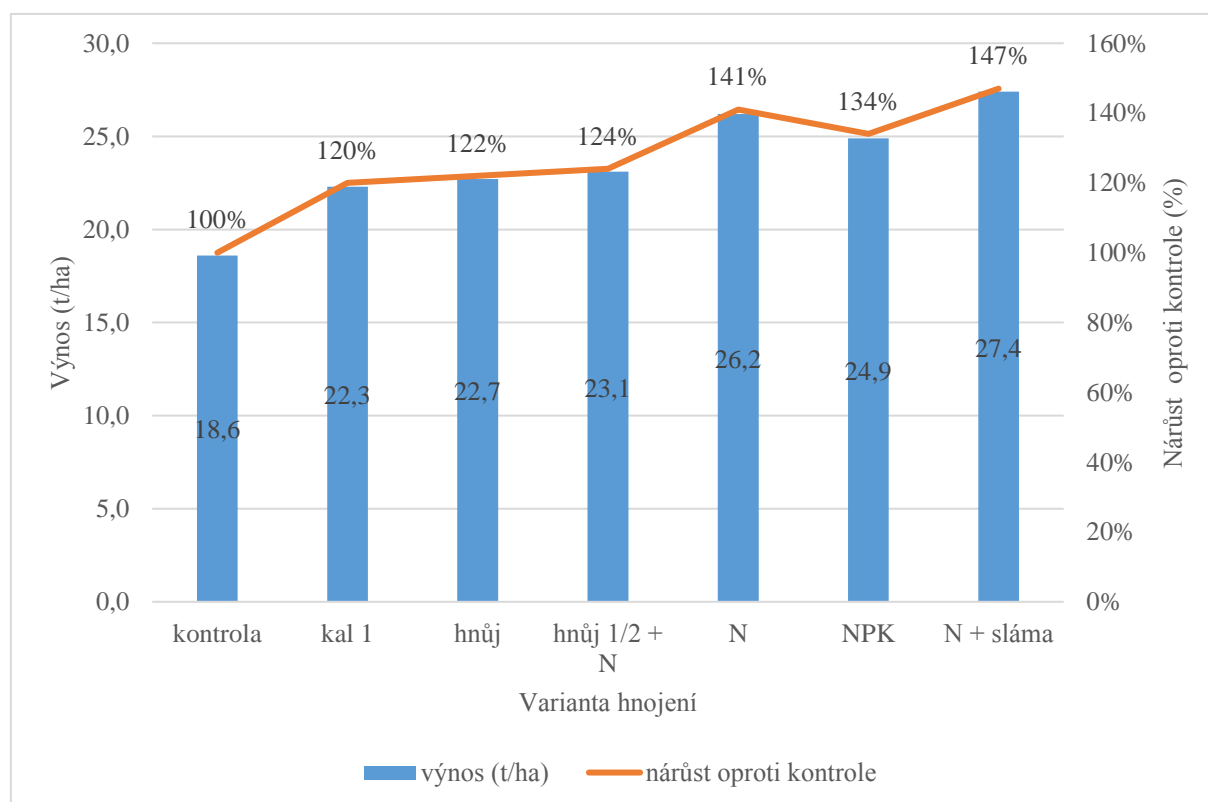
Graf č. 4 popisuje průměrné dosažené výnosy u jednotlivých variant hnojení v roce 2018. Tento rok bylo na kontrolní variantě hnojení dosaženo výnosu hlíz 16,3 t/ha. Nejvyššího výnosu dosáhla varianta hnůj, kdy bylo aplikováno 330 kg N/ha, konkrétně 28,7 t/ha a oproti kontrolní variantě se výnos hlíz bramboru navýšil o 76 %. Stejně množství dusíku (330 kg/ha) bylo aplikováno u varianty kal 1, ta však nedosáhla takových hodnot, jako varianta hnůj. Výnos hlíz byl 23,3 t/ha a navýšení oproti kontrole bylo o 43 %. Shodné množství dusíku (120 kg/ha) bylo dále aplikováno u variant N a NPK. Rozdíl mezi těmito dvěma variantami činil 2 t/ha. Varianta N dosáhla výnosu 27,3 t/ha, navýšení tedy bylo o 37 % a varianta NPK dosáhla výnosu 25,3 t/ha a došlo k navýšení o 55 % oproti kontrolní variantě hnojení. Varianta, kdy bylo hnojeno kombinací N + sláma a bylo tak aplikováno 138 kg N/ha, dala

výnos 26,3 t/ha, došlo tak nárůstu výnosu o 61 %. Variantou hnůj ½ + N bylo dodáno 165 kg N/ha, dosáhlo se výnosu 25,6 t/ha a došlo tak k navýšení výnosu o 61 % vzhledem ke kontrole.

Při statistickém hodnocení (Graf č.14, Tabulka č.12) bylo prokázáno, že se v roce 2018 výnos kontroly liší od všech ostatních variant. Nejvyšší statistický rozdíl v tomto roce byl zaznamenán mezi variantami kontrola a hnůj, naopak nejnižší průkazný rozdíl ve výnose je mezi variantami kontrola a kal 1.

Veškeré grafy a tabulky statistického hodnocení jsou umístěny v kapitole s názvem Samostatné přílohy.

5.1.2 Výnosy hlíz bramboru v roce 2019



Graf 5: Průměrné výnosy hlíz v roce 2019 (v t/ha)

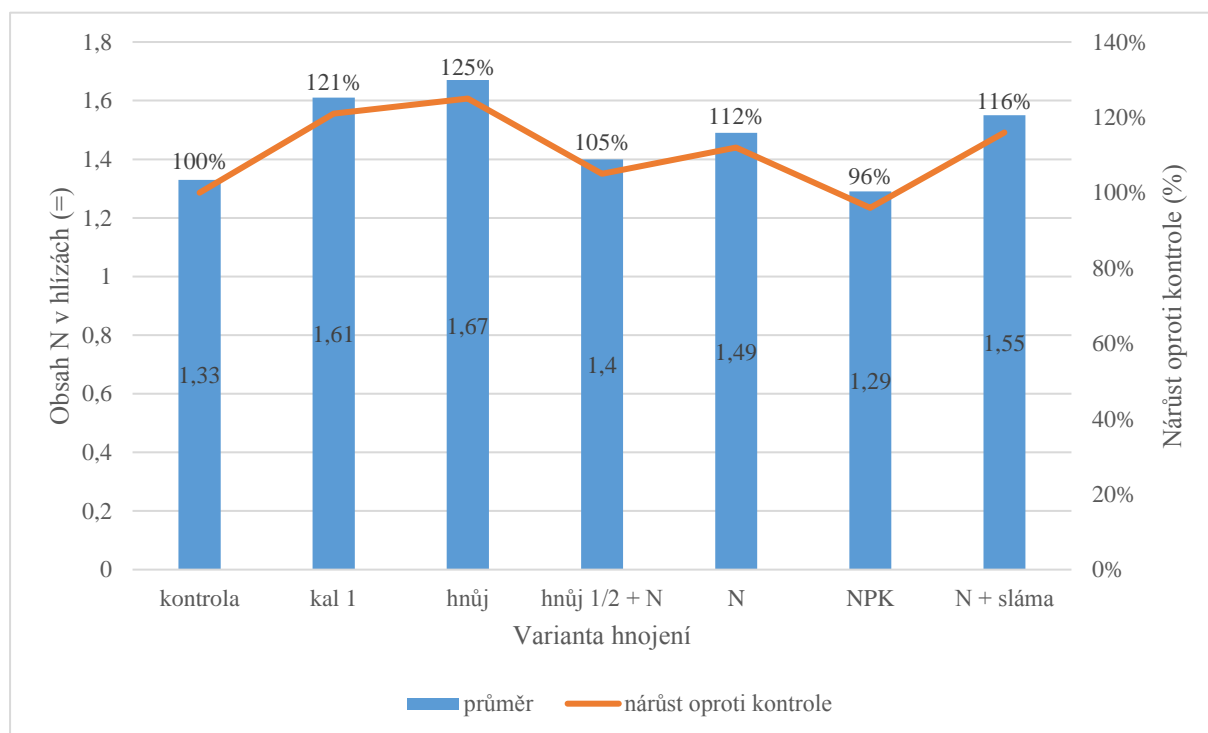
V grafu č. 5 jsou uvedeny průměrné dosažené výnosy v roce 2019. Tento rok bylo na kontrolní variantě hnojení dosaženo 18,6 t/ha. Nejvyšší výnos poskytl varianta N + sláma, kdy bylo aplikováno 138 kg N/ha, konkrétně 27,4 t/ha a došlo tak k navýšení výnosu hlíz o 47 % oproti kontrole. Téměř shodného výnosu dosáhly varianty kal 1 a hnůj, kdy bylo aplikováno i stejné množství 330 kg N/ha. Rozdíl ve výnosech hlíz mezi těmito variantami byl o 0,4 t/ha. Varianta kal 1 dala výnos 22,3 t/ha a navýšil se tak výnos o 20 % vzhledem ke kontrole. Varianta hnůj dosáhla výnosu 22,7 t/ha a jeho navýšení oproti kontrole bylo o 22 %. Stejně množství dusíku bylo dále aplikováno u varianty N a NPK, a to 330 kg/ha. Varianta N

poskytla druhý nejvyšší výnos 26,2 t/ha, jeho navýšení oproti kontrole bylo o 41 %. Na variantě NPK bylo dosaženo výnosu 24,9 t/ha a navýšil se tak o 34 % vůči kontrole. Variantou hnůj ½ + N bylo dodáno 165 kg N/ha, dosáhlo se výnosu 23,1 t/ha a došlo tak k navýšení výnosu o 24 % vzhledem ke kontrole.

Na základě statistického hodnocení (Graf č. 15, Tabulka č. 13) se stejně jako v předchozím roce ukázalo, že se tento rok se výnos kontroly statisticky liší od všech ostatních variant hnojení. Statisticky nejvýznamnější rozdíl ve výnosu v roce 2019 byl mezi variantou kontrola a N + sláma, naopak statisticky nejnižší rozdíl ve výnosech byl zaznamenán mezi variantami kontrola a kal 1.

5.2 Obsahy dusíku v hlízách bramboru v letech 2018 a 2019

5.2.1 Obsahy dusíku v hlízách bramboru v roce 2018



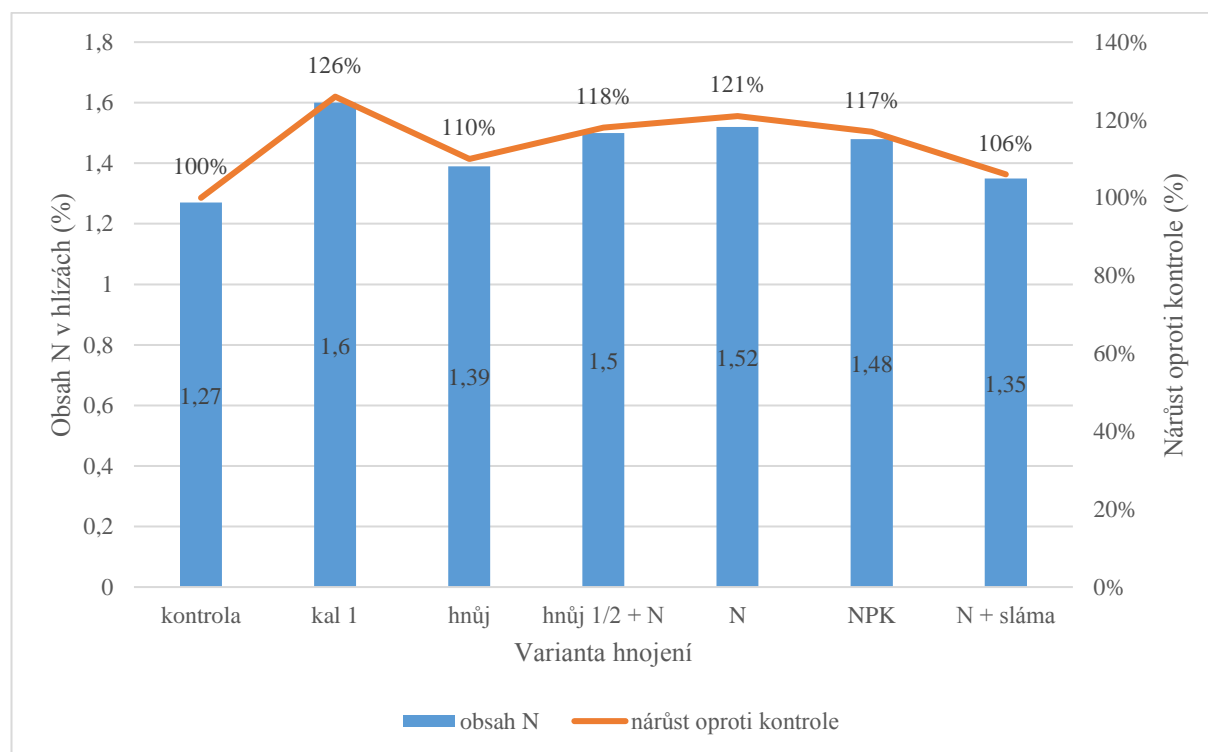
Graf 6: Průměrné obsahy N v hlízách v roce 2018 (%)

Graf č. 6 zobrazuje průměrné obsahy N v roce 2018. Tento rok byl obsah dusíku v hlízách na kontrolní variantě hnojení 1,335 %. Varianty kal 1 a hnůj, u kterých bylo aplikováno stejné množství dusíku (330 kg N/ha), obsahovaly v sušině hlíz 1,61 % N, respektive 1,67 % N. Rozdíl mezi těmito variantami v obsahu dusíku v sušině hlíz činil 0,06 %. U varianty kal 1 došlo k navýšení obsahu dusíku o 21 % vůči kontrole, u varianty hnůj to bylo o 25 %. Zároveň byl u varianty hnůj zaznamenán nejvyšší obsah dusíku. U varianty N + slá-

ma byl zaznamenán obsah dusíku v sušině 1,55 % a oproti kontrole došlo k navýšení obsahu N o 16 %. Varianta hnůj ½ + N nabyla na obsahu 1,4 % dusíku, došlo k navýšení 5 %. U variant N a NPK bylo aplikováno shodné množství dusíku (120 kg/ha) a sušiny hlíz obsahovaly 1,49 % N a 1,29 % N. U varianty N tak došlo k navýšení obsahu dusíku o 12 % oproti kontrole. U varianty NPK byl zaznamenán nejnižší obsah dusíku v sušině, zároveň byl nižší než u varianty kontrola. Rozdíl v obsazích dusíku mezi kontrolou a variantou NPK byl o 4 %.

V roce 2018 bylo na základě statistického hodnocení (Graf č.16, Tabulka č. 14) prokázáno, že se průkazně liší obsah N varianty kontrola od variant kal 1, N, N + sláma a hnůj. Dále existují rozdíly mezi variantou kal 1 a variantami N, NPK, hnůj ½ + N; mezi variantou N a variantami NPK, hnůj, hnůj ½ + N; mezi variantou NPK a variantami N + sláma, hnůj, hnůj ½ + N; mezi variantou N + sláma a variantami hnůj, hnůj ½ + N a také mezi variantou hnůj a hnůj ½ + N. Statisticky nejvýznamnější rozdíl v obsahu N byl mezi variantami kontrola a hnůj, naopak průkazně nejnižší byl rozdíl obsahu N mezi variantami kontrola a variantou NPK.

5.3 Obsah dusíku v hlízách bramboru v roce 2019



Graf 7: Průměrné obsahy N v hlízách v roce 2019

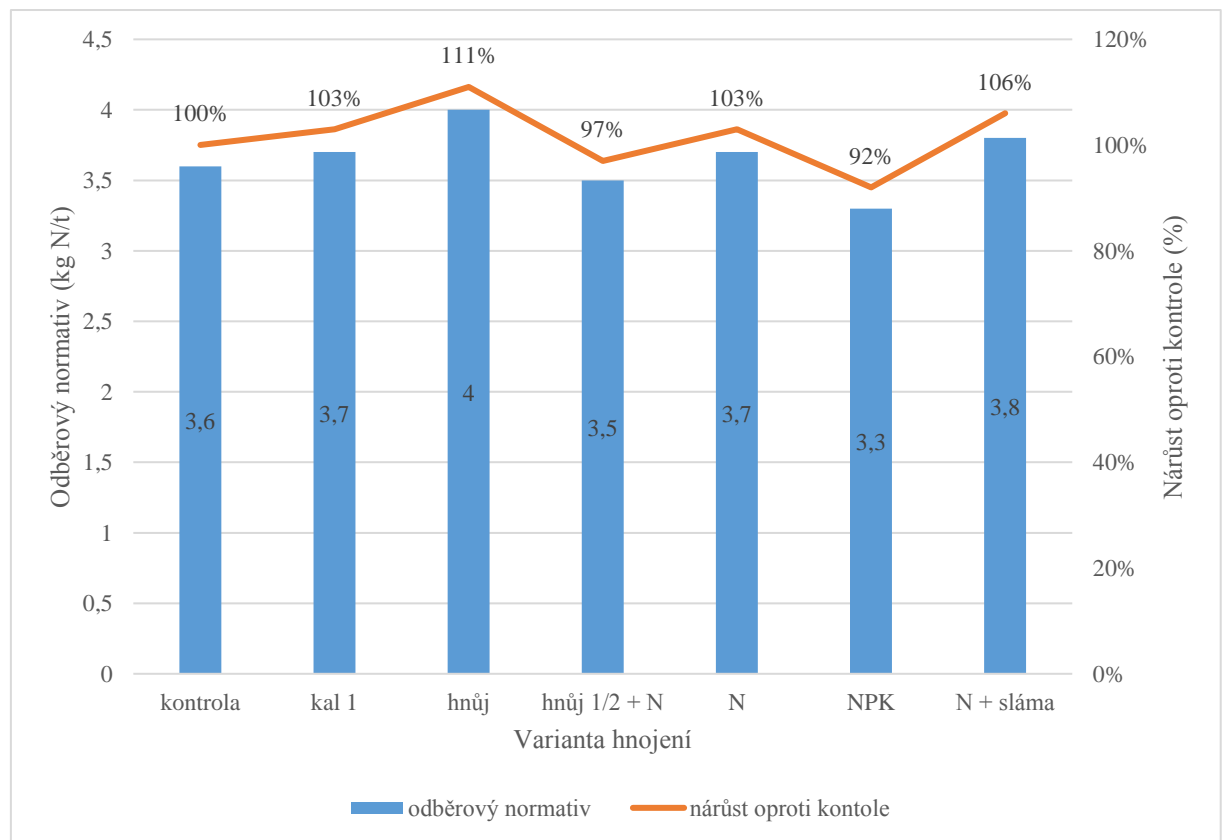
V roce 2019 obsahovala kontrolní varianta v sušině hlíz brambor 1,265 % N. Varianty kal 1 a hnůj, u kterých bylo aplikováno stejné množství dusíku (330 kg N/ha), obsahovaly v sušině hlíz 1,6 % N a 1,39 %. Rozdíl mezi těmito variantami v obsahu dusíku činil 0,21 %. U varianty kal 1 došlo k navýšení obsahu dusíku o 26 % vůči kontrolní variantě a u varianty hnůj bylo navýšení o 10 % oproti kontrole. Zároveň zaznamenaný obsah dusíku v sušině

u varianty kal 1 byl i nejvyšším v roce 2019. U variant N a NPK bylo také aplikováno shodné množství dusíku (120 kg/ha) a sušiny hlíz obsahovaly 1,52 % N a 1,48 % N. U varianty N tak došlo k navýšení obsahu dusíku o 21 %. U varianty NPK byl zaznamenán nárůst obsahu dusíku o 17 % oproti kontrole. Rozdíl v obsazích dusíku v sušině u těchto variant byl o 0,04 %. Hlízy hnojené variantou hnůj ½ + N obsahovaly ve své sušině 1,5 % N a došlo tak k nárůstu obsahu dusíku o 19 % vůči kontrole. Nejnižší obsah dusíku v sušině hlíz byl zaznamenán u varianty N + sláma, kdy bylo aplikováno 138 kg N/ha, a to 1,35 %, došlo k navýšení obsahu dusíku o 6 %.

Statistické hodnocení (Graf č. 17, Tabulka č. 15) poukazuje na to, že se průkazně liší varianta kontrola od všech variant kromě varianty N + sláma. Dále byl zaznamenán rozdíl mezi variantou kal 1 a variantami NPK, N + sláma, hnůj; mezi variantou N a variantami N + sláma, hnůj; mezi variantami N + sláma a NPK a mezi variantami N + sláma a hnůj ½ + N. Statisticky nejvýznamnější rozdíl v obsahu N v hlízách byl zaznamenán mezi variantami kontrola a kal 1, naopak průkazně nejnižší obsah N byl u variant hnůj ½ + N a N.

5.4 Odběrový normativ hlíz

5.4.1 Odběrový normativ hlíz brambor v roce 2018

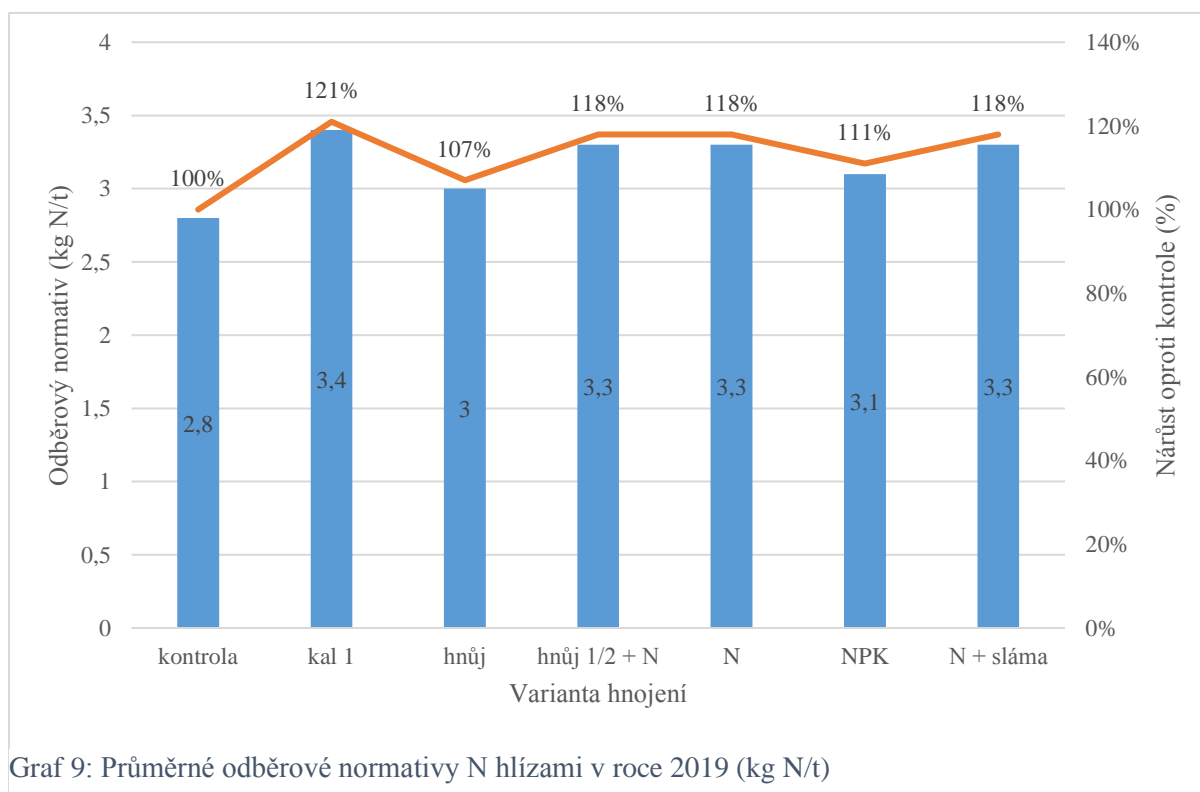


Graf 8: Průměrné odběrové normativy N hlízami v roce 2018 (kg N/t)

V roce 2018 nabyl odběrový normativ hlíz u varianty kontrola hodnoty 3,6 kg N/t. Varianty, které byly hnojeny pouze organickými hnojivy a zároveň bylo u obou variant aplikováno stejné množství dusíku (330 kg N/ha), tedy kal 1 a hnůj, dosáhly hodnot odběrového normativu hlíz 3,7 kg N/t, respektive 4 kg N/t. Oproti kontrole tak došlo k navýšení odběrového normativu u varianty kal 1 o 3 % a u varianty hnůj o 11 %. Rozdíl odběrového normativu hlíz u varianty kal 1 a hnůj činil 0,3 kg N/t. K variantám N a NPK také bylo aplikováno stejné množství dusíku, v tomto případě to však bylo 120 kg N/ha. Varianta N nabyla hodnoty 3,7 kg N/t, varianta NPK 3,3 kg N/t. V případě varianty N došlo k nárůstu hodnoty odběrového normativu o 3 % oproti kontrole, u varianty NPK byl zaznamenán naopak pokles vůči kontrolní variantě, a to o 8 %. Rozdíl v odběrovém normativu hlíz mezi variantou N a NPK byl o 0,4 kg N/t. Druhým nejvyšším zaznamenaným odběrovým normativem v roce 2018 byl u varianty N + sláma, konkrétně nabylo hodnoty 3,8 kg N/t a dosáhl tak navýšení o 6 % oproti kontrole. Varianta hnůj ½ + N dosáhla hodnoty 3,5 kg N/t a došlo k poklesu odběrového normativu o 3 % vůči kontrole.

Z údajů grafu č. 18, tabulky č. 16 vyplývá, že statisticky průkazný rozdíl zde není, protože $p > 0,05$.

5.4.2 Odběrový normativ v roce 2019

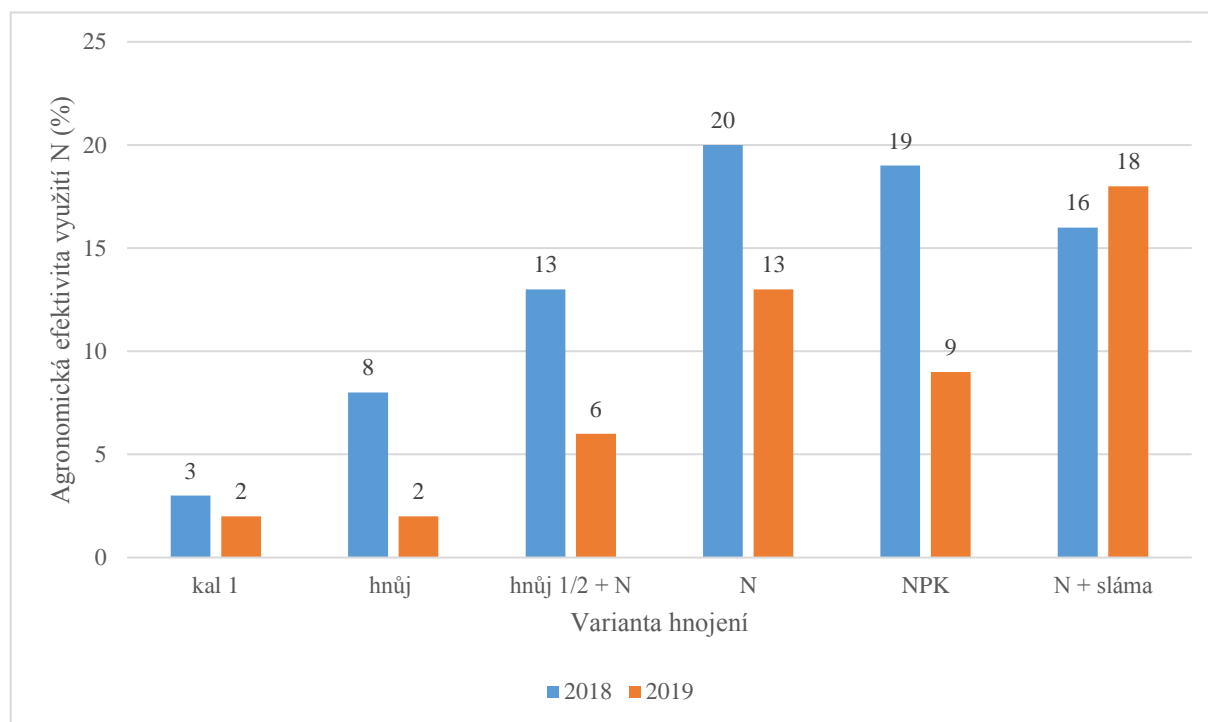


Graf 9: Průměrné odběrové normativy N hlízami v roce 2019 (kg N/t)

V roce 2019 varianta kontrola dosáhla hodnoty odběrového normativu hlíz 2,8 kg N/t. Varianty, které byly hnojeny pouze organickými hnojivy a zároveň bylo u obou variant aplikováno shodné množství dusíku (330 kg N/ha), tedy kal 1 a hnůj, dosáhly hodnot odběrového normativu hlíz 3,4 kg N/t, respektive 3 kg N/t. Oproti kontrole tak došlo k navýšení odběrového normativu u varianty kal 1 o 21 % a u varianty hnůj o 7 %. Diference hodnot u těchto variant byl 0,4 kg N/t. K variantám N a NPK také bylo aplikováno shodné množství dusíku, v tomto případě to bylo 120 kg N/ha. Varianta N nabyla hodnoty 3,3 kg N/t, varianta NPK 3,1 kg N/t. V obou sledovaných případech došlo k nárůstu hodnoty odběrového normativu oproti kontrole, u varianty N to bylo o 18 %, u varianty NPK byl zaznamenán nárůst o 11 %. Rozdíl v odběrovém normativu hlíz mezi variantou N a NPK byl o 0,2 kg N/t. U varianty N + sláma (138 kg N/ha) nabyl odběrový normativ hodnoty 3,3 kg N/t a dosáhl tak navýšení o 18 % vůči kontrole. Varianta hnůj ½ + N dosáhla hodnoty 3,3 kg N/t a došlo k nárůstu odběrového normativu o 18 % vůči kontrole.

Při statistickém hodnocení (Graf č. 19, Tabulka č. 17) bylo zjištěno, že se průkazně liší odběrový normativ varianty kontrola od varianty kal 1.

5.5 Agronomická efektivita využití dusíku



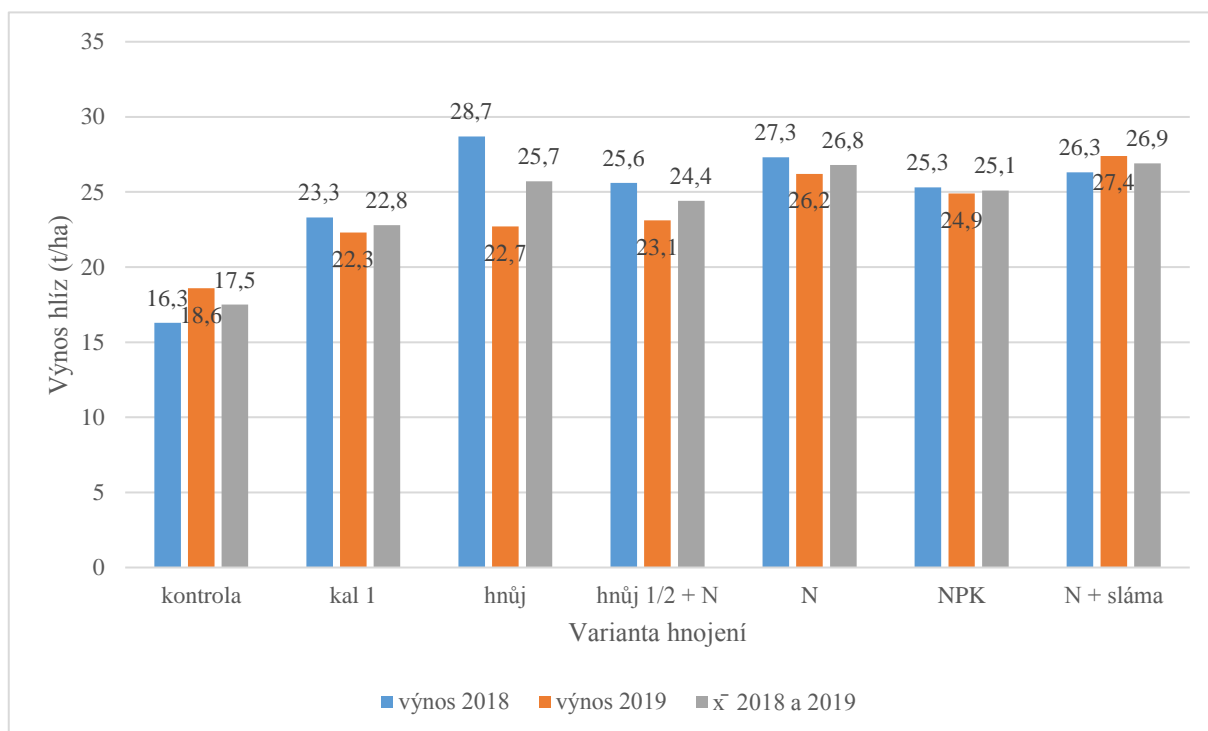
Graf 10: Agronomická efektivita využití dusíku (%) v letech 2018 a 2019

Nejvyšší průměrné agronomické efektivity využití dusíku za oba roky bylo dosaženo na variantě N + sláma, a to 17 %. V roce 2018 byla agronomická efektivita využití dusíku rovna hodnotě 16 %, v roce 2019 byla 18 %. Dále bylo dosaženo průměrné agronomické efektivity využití dusíku u varianty N, konkrétně 16,5 %. V roce 2018 byla tato hodnota rovna 20 %, v roce 2019 klesla na hodnotu 13 %. Varianta NPK zaznamenala využitelnost dusíku v roce 2018 19 % a v roce 2019 klesla tato hodnota na 9 %. V průměru za oba sledované roky bylo dosaženo využitelnosti dusíku u varianty NPK 14 %. Varianta hnůj ½ + N nabyla hodnoty agronomické efektivity využití dusíku v průměru za oba sledované roky 9,5 %. V roce 2018 hodnota využitelnosti dusíku dosáhla 13 % a v roce 2019 klesla hodnota na 6 %. Varianty kal 1 a hnůj zaznamenaly nejnižší využitelnost dusíku z hnojiv v průměru za oba sledované roky, a to 2,5 %, respektive 5 % i přesto, že k těmto variantám byla aplikována nejvyšší dávka dusíku, konkrétně 330 kg N/ha.

6 Diskuze

V České republice se za hlavní plochu pro pěstování brambor považují místa ve výškách v rozmezí od 400 do 700 m. n. m., kde jsou srážky vyšší a půdy jsou mírně kyselé kyselina (Hejzman et Kunzová 2010). V nadmořské výšce 610 m. n. m. se nachází i stanoviště Lukavec, ze kterého jsou k dispozici podklady pro tuto diplomovou práci.

6.1 Výnos hlíz



Graf 11: Výnosy hlíz (t/ha) v letech 2018 a 2019 a průměrné výnosy za oba roky

Kontrolní varianta hnojení dosáhla v roce 2018 výnosu 16,3 t/ha a v roce 2019 18,6 t/ha. Podobných výsledků dosáhli také Alvarez et al (2006), kteří ve svém experimentu zkoumali vliv organického a minerálního hnojení na výnosnost hlíz bramboru. Kontrolní varianta hnojení v tomto pokusu dosáhla rovněž vyšších výnosových hodnot i přesto, že nebyly u této varianty dodány žádné živiny. Příčinou byla přirozená půdní úrodnost a dostupnost dusíku.

Výnos hlíz je citlivý na přidání dusíkatého minerálního hnojiva téměř ve všech případech (Zebarth et al. 2009). Aplikace dusíkatého hnojiva zvyšuje výnos, primárně zvýšením hmotnosti hlíz (De la Morena et al. 1994). Pokud tyto poznatky porovnáme s výsledky pokusů této diplomové práce, lze potvrdit, že dusíkaté hnojivo mělo pozitivní efekt na výnosnost hlíz. Varianta N dosáhla za roky 2018 a 2019 průměrného výnosu hlíz 26,75 t/ha a došlo tak k nárůstu výnosu oproti kontrolní variantě hnojení.

V roce 2018 bylo u varianty NPK dosaženo průměrného výnosu 25,3 t/ha a v roce 2019 byl výnos 24,9 t/ha. U varianty NPK byla dávka dusíku aplikovaného v hnojivu: 120 kg N/ha. Výzkum Šreka et al. (2010) byl proveden na západním okraji V Ruzyni u Prahy. Na místě studie je průměrná roční teplota cca 8,2 °C a průměrné roční srážky se pohybují okolo 422 mm. Typ půdy byl dle české taxonomie půdy klasifikován jako illimerizovaný luvisol. Varianta NPK v tomto experimentu měla obsah živin v aplikovaných hnojivech: 120 kg N/ha. Průměrný výnos u této varianty dosáhl hodnoty 26,7 t/ha a zároveň byl vyšší o 1,6 t/ha v porovnání s průměrným výnosem v našem experimentu za roky 2018 a 2019 i přesto, že stanoviště Lukavec se nachází v oblasti s nevhodnějšími podmínkami pro pěstování brambor.

Varianta hnojená pouze hnojem poskytla v Lukavci v roce 2018 nejvyšší výnos ze všech sledovaných variant, konkrétně 28,7 t/ha a v roce 2019 klesl výnos na 22,7 t/ha. Rozdíl mezi těmito hodnotami činí 6 t/ha. Zároveň byl tento rozdíl nejvyšší v porovnání s ostatními variantami hnojení. Stejně poznatky v meziročníkové kolísavosti, kdy bylo hnojeno hnojem, zjistili i Haase et al. (2007), kteří v prvním roce dosáhli výnosu 27,9 t/ha a v roce následujícím 35,3 t/ha. Tyto poznatky ve svém výzkumu komentovali tak, že kravský hnůj nelze považovat za jistý zdroj dusíku, jelikož je silně ovlivňován ročníkem. Proto není výnosnost v jednotlivých letech příliš shodná. Hnůj také obsahuje nižší koncentrace ve vodě rozpustných, snadno dostupných forem dusíku (Gunapala et al. 1998). Hlavním problémem používání organických hnojiv je nepředvídatelnost dostupnosti dusíku. V závislosti na tom, kdy je dusík mineralizován, může dojít ke zvýšení potenciálu ztrát dusičnanů (Faassen et al. 1990).

V experimentu této diplomové práce bylo u varianty hnůj aplikováno 330 kg N/ha. V pokusu Teina et al. (2014) byl rovněž sledován vliv hnojení hnojem na výnos a aplikovaná dávka dusíku byla 388 kg N/ha. Pokus probíhal na polích nedaleko Tartu v Estonsku. V pokusu dosáhli výnosu 28,7 t/ha a náš průměrný výnos za oba sledované roky byl 25,7 t/ha.

U varianty hnůj $\frac{1}{2}$ + N byla oproti variantě hnůj aplikována pouze poloviční dávka dusíku (165 kg N/ha). V roce 2018 dosáhla tato varianta výnosu 25,6 t/ha a v roce 2019 klesl výnos na 23,1 t/ha. Rozdíl mezi průměrnými výnosy za oba sledované roky u variant hnůj a hnůj $\frac{1}{2}$ + N činil pouze 1,35 t/ha. Tétard-Jones et al. (2013) pozorovali vliv hnoje skotu s vyšší a poloviční dávkou aplikovaného dusíku na hektar, konkrétně aplikovali při vyšší dávce 170 kg N/ha a poloviční dávka dusíku tedy byla 85 kg N/ha. U varianty s vyšší dávkou dosáhli výnosu 26 t/ha, u varianty s nižší aplikovanou dávkou dusíku byl výnos 24,8 t/ha. Tétard-Jones et al. (2013) tedy zaznamenali téměř identický rozdíl mezi sledovanými variantami, a to 1,2 t/ha.

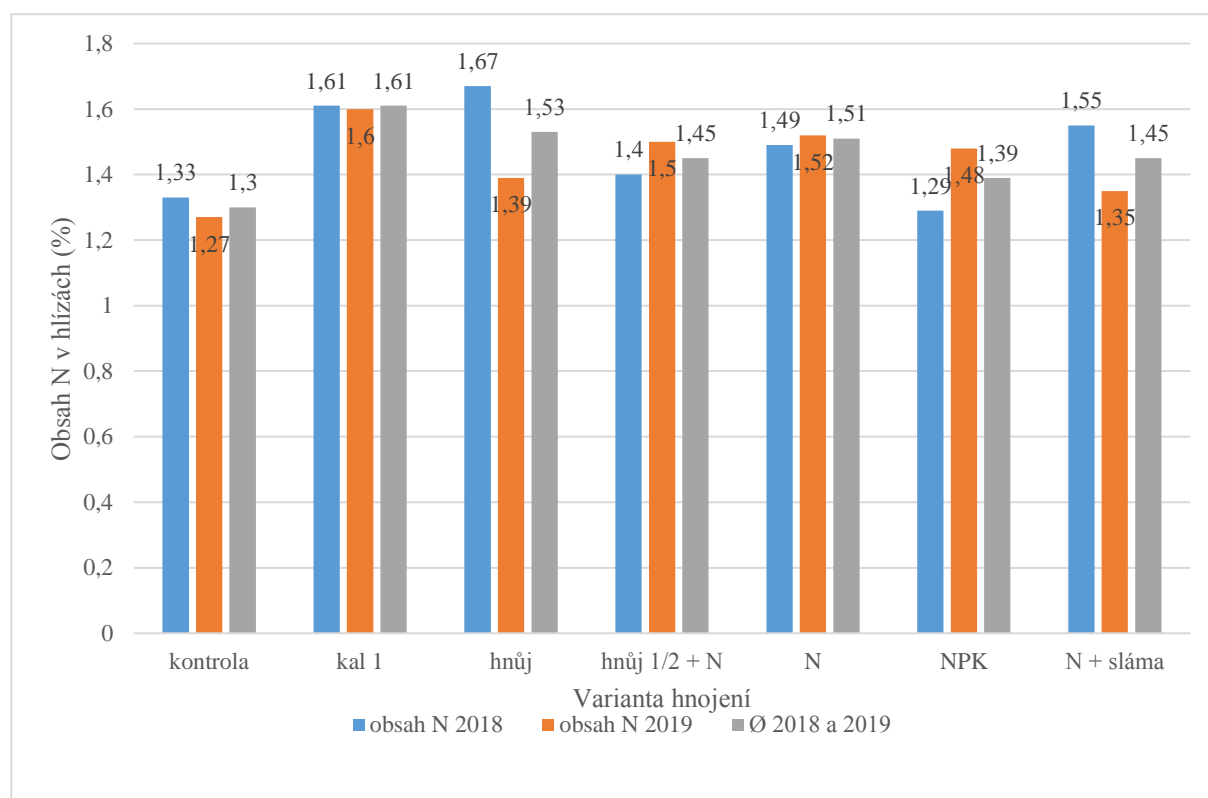
V roce 2019 bylo nejvyššího výnosu dosaženo u varianty N + sláma, kdy se hodnota dostala na 27,4 t/ha. V roce 2018 byl průměrný výnos u této varianty 26,3 t/ha. Tyto výsledky se neshodují s poznatky z experimentu Šreka et al. (2010), kteří nezaznamenali pozitivní efekt na dlouhodobé hnojení brambor slámou.

Varianta kal 1 poskytla v roce 2018 výnos 23,3 a v roce 2019 výnos 22,3, přičemž dodaná dávka dusíku v tomto hnojivu byla 330 kg N/ha. Černý et al. (2010) sledovali dlouhodo-

bý vliv čistírenských kalů na produkci brambor, ozimé pšenice a jarního ječmene. Tyto plodiny byly pěstovány na různých typech půd. Osevní postup zahajovaly brambory, v dalším roce byla vyseta ozimá pšenice a třetí rok byl osevní cyklus uzavřen jarním ječmenem. Kal byl aplikován pouze pod brambory. Výsledky prováděných pokusů ukazují na příznivý okamžitý i dlouhodobý hnojivý efekt čistírenských kalů na brambory.

6.2 Obsah dusíku v hlízách

Brambor je plodina náročná na živiny. Koncentrace živin v hlízách tedy přímo souvisí s dostupností a absorpcí živin, což je ovlivněno povětrnostními podmínkami. Pokud je však k dispozici více živin, než je požadováno, pak rostliny obecně mají tendenci jich přijímat více, než potřebují (Westermann, 2005).



Graf 12: Obsahy N v hlízách (%) v letech 2018 a 2019 a průměrný obsah N za oba roky

Nejnižší průměrné obsahy dusíku měla varianta kontrola, konkrétně to bylo 1,3 %. Stejně tendence byly pozorovány i Tétardem-Jonesem et al. (2013), kteří zaznamenali také nejnižší obsahy dusíku v hlízách u varianty kontrola. V roce 2018 však byl zaznamenán vyšší obsah dusíku v hlízách u varianty kontrola (1,33 %) než u varianty NPK (1,285) ten samý rok. Stejný trend byl sledován i u Šreka et al. (2010), kteří zjistili u varianty kontrola obsah dusíku v sušině hlíz 1,8 % a u varianty NPK, ke které bylo aplikováno téměř shodné množství živin jako v našem experimentu, 1,7 % N. Příčinou mohla být přirozená půdní úrodnost a dostupnost dusíku. Dále také mohl hrát roli zředovací efekt.

V obou sledovaných letech byly zjištěny nejvyšší obsahy dusíku u varianty kal 1. V roce 2018 byla tato hodnota 1,61 % N a v roce 2019 1,6 % N. Tato zjištění potvrzuje Gutser et al. (2005), kteří ve svém experimentu prokázali fakt, že u čistírenských kalů je vysoká míra dostupnosti dusíku (15–30 %).

U varianty hnůj bylo dosaženo druhého nejvyššího průměrného obsahu dusíku za oba sledované roky, a to 1,53 % N. V pokusu výše zmíněných Teina et al. (2014) byl rovněž sledován vliv hnojení hnojem na obsah dusíku v hlízách. Průměrný obsah dusíku za 3 roky byl 1,25 % a zároveň byl nižší než u variant, kdy byla aplikována minerální hnojiva. Tento poznatek se neshoduje s výsledky této práce, jelikož v tomto případě byly obsahy dusíku u variant hnojených minerálními hnojivy nižší. Může zde hrát roli také fakt, že bylo aplikováno v hnoji 330 kg N/ha a v minerálních hnojivech pouze 120 kg N/ha.

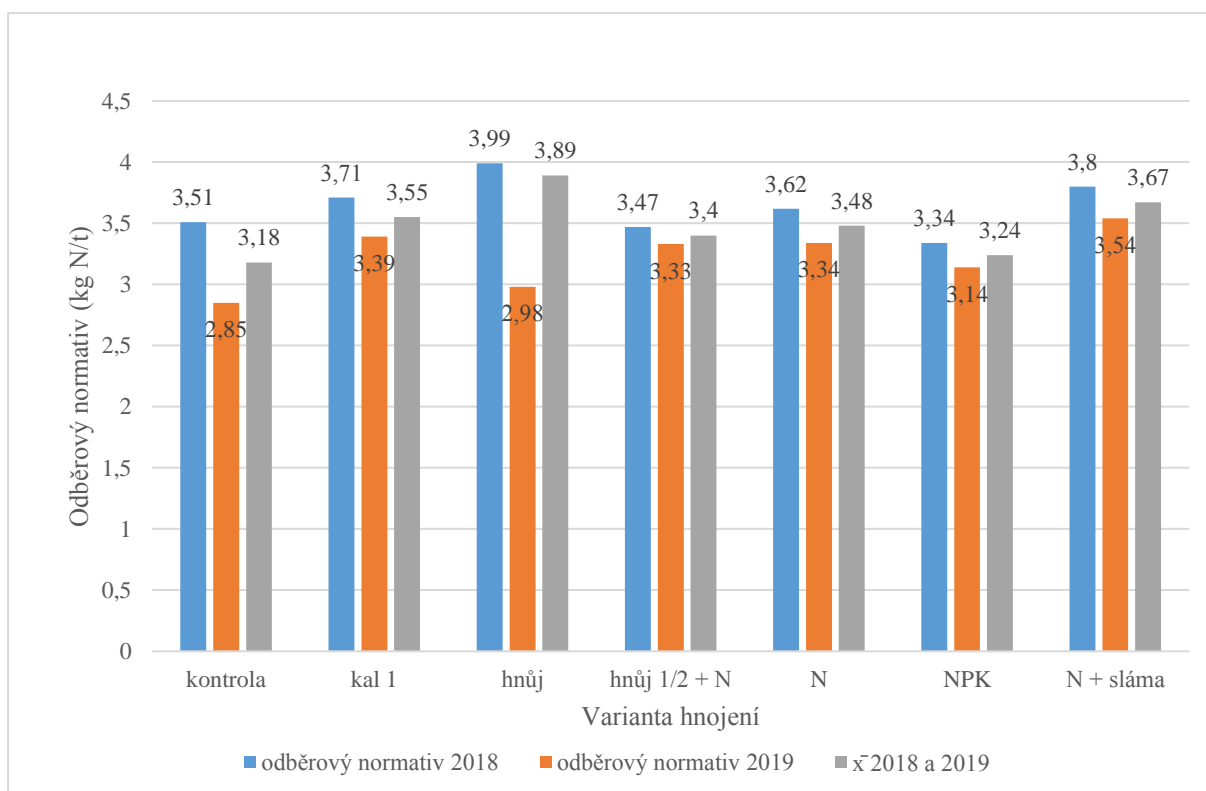
Obsahy dusíku u varianty hnůj (1,53 %) jsou nižší než u varianty kal 1 (1,61 %), i přestože byla dodána stejná dávka dusíku na hektar, a to 330 kg N/ha. Této problematice dostupnosti živin se zabývali také Gutser et al. (2005), kteří míru dostupnosti dusíku v prvním roce vyjádřili ekvivalentem minerálního hnojiva. U hnoje se tento ekvivalent rovná 10–20 %, u čistírenských kalů se sušinou odpovídajícím kalu 1 se ekvivalent pohybuje v rozmezí 15–30 %, což vysvětluje vyšší obsahy dusíku v sušině hlíz.

Tétard-Jones et al. (2013) z Univerzity v Newcastlu pozorovali vliv hnoje skotu s vyšší a poloviční dávkou aplikovaného dusíku na hektar, konkrétně bylo aplikováno při vyšší dávce 170 kg N/ha a poloviční dávka dusíku tedy byla 85 kg N/ha. Naměřený obsah dusíku u varianty s dávkou 85 kg N/ha byl 1,09 % a u varianty s dávkou 170 kg N/ha byl 1,14 %. Rozdíl v obsahích mezi těmito variantami byl 0,05 % N. V našem experimentu byly zaznamenány tyto hodnoty: u varianty hnůj $\frac{1}{2}$ + N (165 kg N/ha) 1,45 % N a u varianty hnůj (330 Kg N/ha) 1,53 % N. V tomto případě byly pozorován rozdíl mezi variantami 0,08 %. Lze z toho vyvodit, že v obou případech nebyly difference vysoké, i přesto že u plných dávek dusíku byl aplikován dvojnásobek dusíku na hektar.

Obsah dusíku u varianty N dosáhl v roce 2018 hodnoty 1,49 % N a v roce 2019 stoupl na 1,52 % N. Vyšší obsahy dusíku v hlízách u variant hnojených dusíkem zaznamenali např. Alvarez et al. (2006), Lehensrant et al. (2007) i Herencia et al. (2007).

Lehensrant et al. (2007) při svých experimentech zjistili u variant hnojených minerálním NPK o téměř polovinu vyšší obsah dusíku v hlízách v porovnání s organickým hnojivem, což se s našimi výsledky z Lukavce neshoduje. Rozdíl byl však v druhu použitého organického hnojiva. V jejich výzkumu byl použit kompost. Dále publikovali, že obsah dusíku byl významně vyšší u variant hnojených minerálními hnojivy, což se s našimi poznatky také neshoduje.

6.3 Odběrový normativ



Graf 13: Odběrové normativy hlíz (kg N/t) v letech 2018 a 2019 a průměrný odběrový normativ za oba roky

Nejnižší průměrný odběrový normativ hlíz brambor na stanovišti Lukavec měla kontrolní varianta hnojení s hodnotou 3,18 kg N/t. Naopak nejvyššího průměrného odběrového normativu dosáhla varianta hnojená variantou hnůj, konkrétně 3,89 kg N/t. Rozdíl mezi těmito hodnotami činí 0,71 kg N/t. Další průměrné odběrové normativy se pohybovaly takto: kal 1 – 3,55 kg N/t; hnůj 1/2 + N – 3,4 kg N/t; N – 3,48 kg N/t; NPK – 3,24 kg N/t a N + sláma – 3,67 kg N/t.

Všechny hodnoty průměrných odběrových normativů hlíz se pohybovaly mezi hodnotami 3–4 kg N/t, což koresponduje s publikací Vaňka et al. (1999), kteří takto definovali odběrový normativ hlíz brambor. Rovněž se naše výsledky shodují s metodikou Klíra et al. (2008), ve které se zabývají výživou a hnojením rostlin. Píší, že hodnoty odběrového normativu hlíz brambor se pohybují okolo hodnoty 3,5 kg N/t.

7 Závěr

- První hypotéza této diplomové práce předpokládá vyšší výnosy u variant hnojených minerálními hnojivy oproti variantě hnojené pouze hnojem. Průměrný výnos hlíz brambor za roky 2018 a 2019 u varianty hnůj dosáhl 25,7 t/ha. Průměrný výnos za oba sledované roky u varianty N byl 26,8 t/ha, avšak u varianty NPK byl zaznamenán výnos pouze 25,1 t/ha. Výnos u varianty N byl sice vyšší, ale nebyl zde potvrzen statisticky průkazný rozdíl. Z tohoto důvodu byla první hypotéza vyvrácena.
- Výnosově lépe dopadl rok 2018 než rok 2019 i přesto, že byl rok 2018 srážkově podprůměrný a teplotně nadprůměrný. V roce 2018 se výnosy u jednotlivých variant pohybovaly v intervalu od 16,3 t/ha – 28,7 t/ha, v roce 2019 od 18,6 t/ha – 27,4 t/ha. Nejvyššího výnosu za oba sledované roky bylo dosaženo u varianty N + sláma v roce 2019, a to 26,9 t/ha, naopak nejnižší výnos (mimo kontrolní varianty) byl zaznamenán u varianty kal 1 v roce 2018, konkrétně 22,3 t/ha.
- Druhá hypotéza této diplomové práce předpokládá vyšší obsahy N u variant hnojených minerálním dusíkatým hnojivem oproti variantě hnojené pouze hnojem. V roce 2018 byly statisticky zjištěny vyšší obsahy N u varianty hnůj než u variant N a NPK. V roce 2019 byl zjištěn vyšší obsah dusíku v hlízách hnojených variantou N oproti variantě hnůj, u varianty NPK však tento trend potvrzen nebyl. Proto byla druhá hypotéza vyvrácena.
- V roce 2018 se pohybovaly obsahy N v hlízách u jednotlivých variant v rozmezí od 1,29 % - 1,67 %, v roce 2019 od 1,27 % - 1,6 %. Celkově nejvyššího obsahu dusíku v hlízách za roky 2018 a 2019 bylo dosaženo u varianty hnůj v roce 2018, a to 1,67 % N, naopak nejnižší obsah dusíku v hlízách byl zaznamenán u varianty NPK v roce 2018, konkrétně 1,29 % N.
- Třetí hypotéza, která předpokládá to, že je odběrový normativ hlíz ovlivněn systémem hnojení, lze v průměru za roky 2018 a 2019 vyvrátit. V roce 2018 nebyl zaznamenán žádný statisticky průkazný rozdíl mezi variantami, v roce 2019 byl zaznamenán průkazný rozdíl pouze mezi variantami kontrola a kal 1.
- V roce 2018 se odběrový normativ hlíz pohyboval v rozmezí od 3,3– 4 kg N/t, v roce 2019 od 2,8 – 3,4 kg N/t. U kontrolní varianty hnojení byl zaznamenán odběrový normativ hlíz za oba sledované roky 3,18 kg N/t. Nejvyšší odběrový normativ za roky 2018 a 2019 byl zjištěn u varianty hnůj v roce 2018, konkrétně 3,89 kg N/t, naopak nejnižšího průměrného odběrového normativu (mimo kontrolu) bylo dosaženo v roce 2019 rovněž u varianty hnůj – 2,98 kg N/t.

8 Literatura

- Akiyama H, Yan X, Yagi K. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils. Meta analysis. *Glob. Change Boil.* 16:1837-1846.
- Allen EJ, Scott RK. 1992. Principles of agronomy and their application in the potato industry. 816–881 in *The potato crop: the scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London.
- Altarugio LM, Loman MH, Nirschl MG, Silvano RG, Zavaschi E, Carneiro LMS, Vitti GC, Luz PHC, Otto R. 2017. Yield performance of soybean and corn subjected to magnesium foliar spray. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 52:1185–1191.
- Alvarez CE, Amin M, Hernández E, González CJ. 2006. Effect of Compost, Farmyard Manure and/or Chemical Fertilizers on Potato Yield and Tuber Nutrient Content. *Biological Agriculture and Horticulture* 23:273-286.
- Amberger A. 1989. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 20:1933–1955.
- Ankumah RO, Khan V, Mwamba K, Kpombrekou-A K. 2003. The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. *Agriculture Ecosystems & Environment* 100:201–207.
- Arriaga FJ, Lowery B, Kelling KA. 2009. Surfactant impact on nitrogen utilization and leaching in potatoes. *Am. J. Potato Res* 86:383–390.
- Balík J. 1993. *Základy výživy rostlin*. MZe ČR, Praha.
- Bansal SK, Trehan SP. 2011. Effect of potassium on yield and processing quality attributes of potato. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 24:48-54.
- Bárta J, Čurn V, Diviš J. 2000. Vliv dusíkatého hnojení na vztah mezi obsahem škrobu a bílkovin v hlízách brambor. *Series for Crop Sciences* 17:5-14. *Collection of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in České Budějovice*.
- Bätz W, Meier U, Radtke W, Schröder B, Eidewitz L, Steinberg J. 1980. *Entwicklungsstudien der Kartoffel*. Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (Bba), braunschweig. Merkblatt.
- Beckwith CP, Cooper J, Smith KA, Shepherd MA. 1998. Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils in arable cropping. I. Effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. *Soil Use and Management* 14:123-130.
- Ben Abdallah F, Olivier M, Goffart JP, Minet O. 2016. Establishing the Nitrogen Dilution Curve for Potato Cultivars Bintje in Belgium. *Potato Research* 59:241-258.
- Bhogal A, Nicholson FA, Chambers BJ. 2009. Organic carbon additions: effects on soil biophysical and physico-chemical properties. *European Journal of Soil Science* 60:276-286.

- Boliglowa E, Glen K. 2003. Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilisation and tillage method. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Series Agronomy*.
- Brady NC, Weil RR. 2002. *The Nature and Properties of Soils* (13th Ed.). Pearson Education, Inc., USA.
- Burton WG. 1989. *The potato* 3rd edition. Longman Scientific & Technica, England.
- Cakmak I, Kirkby EA. 2008. Role magnesium in carbon partitioning and alleviating photo-oxidative damage. *Physiologia Plantarum* 133:692–704.
- Cao W, Tibbitts TW. 1993. Study of various NH₄⁺ / NO₃⁻ mixtures for enhancing growth of potatoes. *Journal of Plant Nutrition*:1691-1704.
- Coelho FS, Fontes PCR, Puiatti M, Neves JCL, Silva MCC. 2010. Nitrogen rate associated with yield of potato and leaf nitrogen indices. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34:1175–1183.
- Čepl J et al. 2009. *Konzumní brambory*. Výzkumný ústav bramborářský, Havlíčkův Brod.
- Čepl J, Kasal P, Vokál B. 2010. *Hnojení brambor*. VÚB Havlíčkův Brod.
- Čepl J, Novotný J. 1995. *Pěstitelská specifika nových odrůd*. Závěrečná zpráva. VÚB Havlíčkův Brod.
- Čepl J, Vokál B. 1997. Použití dusíkatých hnojiv u brambor. *Agris*. Available at <http://www.agris.cz/clanek/118818> (accessed July 15, 2020).
- Čepl J. 2005. *Hnojení brambor*. VÚB Havlíčkův Brod, Havlíčkův Brod.
- Čepl J. 2005. *Hnojení brambor*. VÚB Havlíčkův Brod, Havlíčkův Brod.
- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Časová K, Nedvěd V. 2010. Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant Soil Environ* 56:28–36.
- De la Morena I, Guillén A, García del Moral LF. 1994. Yield development in potatoes as influenced by cultivar and the timing and level of nitrogen fertilization. *Am Potato J* 71:165–173.
- Dean BB. 1994. *Managing the potato production system*. Food Products Press, New York.
- Diviš J, a kol. 2010. *Pěstování rostlin*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- Edmeades DC. 2003. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Ecosystems* 66:165-180.
- El Baky MM, A. H, Ahmed AA, Elnemr MA, Zaki MF. 2010. Effect of potassium fertilizer and foliar zinc application on yield and quality of sweet potato. *Research Journal of Agriculture & Biological Sciences* 6:386-394.
- Elfrich R. 2011. Blattdüngung mit Magnesiumsulfat gegen Pflanzenstress. *Kartoffelbau* 62:44-47.

- El-Sirafy ZM, Abbady AK, El-Ghamry AM, Dissoky RA. 2008. Potato yield quality, quantity and profitability as affected by soil and foliar potassium application. *Res. J. Agric. Biol. Sci* 4:912–922.
- Erisman JW, Bleeker A, Galloway J, Sutton MS. 2007. Reduced nitrogen in ecology and the environment. *Environmental Pollution* 150:140-149.
- Erisman JW. 2011. The new global nitrogen cycle. in *Ecological aspects of nitrogen metabolism in plants*. Wiley-Blackwell, UK.
- Errebhi M, Rosen CJ, Gupta SC, Birong DE. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal* 90:10–15.
- Faassen HG van, Lebbink G. 1990. Nitrogen cycling in high-input versus reduced-input arable farming. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38:265–282.
- Faassen van HG, Lebbink G. 1990. Nitrogen cycling in high-input versus reduced-input arable farming. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38:265–282.
- Gillete CM, Echeverria HE. 2013. Nitrogen balance for crops in the southeast pampas region, Argentina. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 95:73-86.
- Gitari H, Gachene C, Karanja N, Schulte-Geldermann E. 2016. Evaluation of Potato (*Solanum tuberosum*L.) Nutrient Use Efficiency under Legume Intercropping Systems. Annual conference proceedings of Tropical and Subtropical Agricultural and Natural Resource Management (TROPENTAG), organised by the University of Natural Resources and Life Sciences. BOKU Vienna, Austria.
- Granse A, Fuhrs H. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil* 368:5–21.
- Grocholl J. 2007. Düngung: N und K entscheiden über den Erfolg. *Kartoffelbau*:12-15.
- Guertal EA, Kemble JA. 1997. Nitrogen rate and within row plant spacing effects on sweet-potato yield and grade. *Journal of Plant Nutrition* 20:355–360.
- Gunapala N, Scow KM. 1998. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biol. Biochem* 30:805–816.
- Gutser R, Ebertseder T, Weber A, Schraml M, Schmidhalter U. 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168:439-446.
- Gutser R. 1999. Langzeitwirkung nitrifikationsgehemmter Stickstoffdünger im Lysimeterversuch 1982-1998.. *VDLUFA Schrift* 52:465-468.
- Haase T, Schüler C, Hess J. 2007. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. *Eur. J. Agron* 26:187–197.

- Haase T, Schüler C, Heß J. 2007. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. *Journal of Agronomy* 26:187-197.
- Hamouz K, Čepl J, Domkářová J, Dvořák P, Hausvater E, Mottl V, Vokál B, Zavadil J. 2007. Rané brambory. Kurent, České Budějovice.
- Hamouz K, Lachman J, Dvořák P, Pivec V. 2005. The effect of ecological growing on the potatoes yield and quality. *Plant Soil Environ* 51:397–402.
- Hartemink AE, Johnston M, O’Sullivan JN, Poloma S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Agr Ecosyst Environ. Agr Ecosyst Environ* 79:271-280.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL, Nelson WL. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management 6th edition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL, Nelson WL. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management 6th edition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Hejzman M, Kunzová E. 2010. Sustainability of winter wheat production on sandyloamy Cambisol in the Czech Republic: results from a long-term fertilizer and crop rotation experiment. *Field Crops Res* 115:191–199.
- Hejzman M, Száková J, Schellberg J, Šrek P, Tlustoš P. 2009. The Rengen Grassland Experiment: soil contamination by trace elements after 65 years of Ca, N, P and K fertiliser application. *Nutr. Cycl. Agroecosyst* 83:39–50.
- Herencia JF, Ruiz-Porras JC, Melero S, Garcia-Galavis PA, Morillo E, Maqueda C. 2007. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agron. J* 99:973–983.
- Hinsinger P, Betencourt E, Bernard L, Brauman A, Plassard C, Shen J, Tang X, Zhang F. 2011. P for two, sharing a scarce resource: soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant Physiol* 156:1078–1086.
- Hirschi KD. 2004. The Calcium Conundrum. Both Versatile Nutrient and Specific Signal.. *Plant Physiology* 136:2438-2442.
- Hlušek J, Richter R, Ryant P. 2002. Výživa a hnojení zahradních plodin. Profi Press, Praha.
- Hruška L, a kol. 1974. Brambory. SZN, Praha.
- Hruška L, Zrůst J. 1980. Tvorba výnosu u brambor. 349 - 384 in Tvorba výnosu hlavních polních plodin. SZN, Praha.
- Hu Y, Schramla M, Tuchera S, Lia F, Schmidhalter U. 2013. Influence of nitrification inhibitors on yields of arable crops. A meta-analysis of recent studies in Germany.
- Izadi B, Ashraf MS, Studer D, McCann I, King B. 1996. A simple model for the prediction of nitrate concentration in the potato root zone. *Agricultural Water Management* 30:41–56.
- Jůzl M, Hlušek J, Čepl J, Elzner P, Čížek M. 2006. Zvyšování nutriční kvality brambor. *Bramborářství* 14:8-9.

- Jůzl M, Pulkrábek J, Diviš J. 2000. Rostlinná výroba III – okopaniny. MZLU Brno.
- Kalinová K, Moudrý J, Konvalina P. 2007. Půdní úrodnost, výživa a hnojení rostlin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- Kasal P, Čepl J, Vokál B. 2010. Hnojení brambor: pěstitelský rádce, 2nd. Výzkumný ústav bramborářský, Havlíčkův Brod.
- Kasal P, Nechvátal M. 2013. Nové pěstební technologie u brambor se zaměřením na vyšší efektivnost hnojení a ochranu vod. VÚB Havlíčkův Brod.
- Kasal P, Růžek P, Kusá H, Čepl J. 2011. Efektivní způsoby aplikace minerálních dusíkatých hnojiv u brambor a jejich vliv na výnos hlíz. Vědecké práce – VÚB Havlíčkův Brod.
- Keller A, Schulin R. 2003. Modelling heavy metal and phosphorus balance for farming systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst* 66:271–284.
- Khalil MI, Gutser R, Schmidhalter U. 2009. Effects of urease and nitrification inhibitors added to urea on Nitrou oxide emissions from a loess soil.. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172:651-660.
- Klír J. 2011. Registrace, uskladnění a aplikace digestátu. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Available at https://www.czba.cz/files/ceska-biopllynova-asociace/uploads/files/22_VPBPS2011_klir.pdf (accessed July 15, 2020).
- Kumar D, Singh BP, Kumar P. 2004. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Annals of Applied Biology* 145:247–256.
- Kunzová E. 2009. Výživa rostlin a hnojení fosforem: Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby.
- Lehesranta SJ et al. 2007. Effects of agricultural production systems and their components on protein profiles of potato tubers. *Proteomics*:597–604.
- Li H, Parent LE, Karam A. 2006. Simulation modeling of soil and plant nitrogen use in a potato cropping system in the humid and cool environment. *Agric. Ecosyst. Environ* 115:248–260.
- Linzmeier W, Gutser R, Schmidhalter U. 2001. The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC®. Allows increased N-efficiency with simplifield fertilizing strategies. 760-761 in *Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium.. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.*
- Lobell DB. 2007. The cost of uncertainty for nitrogen fertilizer management: a sensitivity analysis. *Field Crops Res* 100:210–217.
- Love S, Stark J, Salaiz T. 2005. Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. *American Journal of Potato Research* 82:21–30.
- Lu Z, Lu J, Pan Y, Lu P, Li X, Cong R, Ren T. 2016. Anatomical variation of mesophyll conductance under potassium deficiency has a vital role in determining leaf photosynthesis. *Plant, Cell and Environment* 39:2428–2439.

- Maidl FX. 1989. Effects of long-term application of slurry on soil nitrogen mineralization. *Journal of Agronomy and Crop Science* 162:310-319.
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- Meharg AA, Blatt MR. 1995. NO₃ – transport across the plasma membrane of *Arabidopsis thaliana* root hairs: kinetic control by pH and membrane voltage. *Journal of Membrane Biology* 145:49-66.
- Mengel K, Kirkby EA. 2001. *Principles of plant nutrition*. Principles of plant nutrition, Dordrecht.
- Meurer EJ, Tiecher T, Mattiello L. 2018. Potassium. 429–464 in *Mineral nutrition of plants*. Vic,osa, Portugal: Sociedade Brasileira de Ciência Do Solo.
- Micó C, Peris M, Recatalá L, Sánchez J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 65:863–872.
- Míča B, Vokál B, Penk J. 1991. *Dusičnany v bramborách a možnost snížení jejich obsahu*. MZe ČR, Praha.
- Míča B, Vokál B. 1997. Dusíkaté látky a jejich vztah ke kvalitě brambor. *Bramborářství* 4:5-8.
- Mikula P. 1997. *Pěstování brambor. Studijní zpráva. Ústav zemědělských a potravinářských informací*, Praha.
- Miller JS, Rosen CJ. 2005. Interactive effects of fungicide programs and nitrogen management on potato yield and quality. *American Journal of Potato Research* 82:399–409.
- Minx L, Diviš J, a kol. 1994. *Rostlinná výroba III (OKOPANINY)*. Vysoká škola zemědělská, Praha.
- Mortley DG, Bonsi CK, Hill W, Loretan PA, Morris CE. 1993. Irradiance and nitrogen to potassium ratio influences sweetpotato yield in nutrient film technique. *Crop Science* 33:782–784.
- Mortvedt J, Soltanpour PN, Zink RT, Davidson RD. 2001. *Fertilizing potatoes*. Colorado State University.
- Müller CH, Laughlin R, Christine P, Watson CJ. 2011. Effects of repeated fertilizer and cattle slurry applications over 38 years on N dynamics in a temperate grassland soil. *Soil Biology and Biochemistry* 43:1362-1371.
- Nátr L. 1998. *Rostliny, lidé a trvale udržitelný život člověka na zemi*. Karolinum, Praha.
- Neeteson JJ. 1989. Effect of legumes on soil mineral nitrogen and response of potatoes to nitrogen fertilizer. in *Effects of crop rotation on potato production in the temperate zones*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Nyiraneza J, Fuller KD, Messiga AJ, Bizimungu B, Fillmore S, Jiang Y. 2017. Potato response to phosphorus fertilization at two sites in Nova Scotia, Canada. *Am. J. Potato Res* 94:357–366.

- Oliveira JS, Brown HE, Gash A, Moot DJ. 2016. Yield and weight distribution of two potato cultivars grown from seed potatoes of different physiological ages. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 45:91-118.
- Pettigrew WT. 1999. Potassium deficiency increases specific leaf weights and leaf glucose levels in field-grown cotton. *Agronomy Journal* 91:962–968.
- Pilbeam DJ, Kirkby EA. 1992. Some aspects of the utilization of nitrate and ammonium by plants. 55-70 in *Nitrogen metabolism in plants*. Oxford:Clarendon.
- Plaza A, Makarewicz A, Gasiorowska B. 2015. Influence of undersown catch crops on mineral nitrogen content determined in the soil profile in autumn and spring in conventional and organic farming system. *Fresenius Environmental Bulletin* 24:3315-3319.
- Poggi V, Arcioni A, Filippini P. 2000. Foliar application of selenite and selenate to potato (*Solanum tuberosum*): Effect of a ligand agent on selenium content of tubers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:474-475.
- Poljak M, Horvat T, Majič A, Pospíšil A, Čosić T. 2008. Nitrogen management for potatoes using rapid test methods. *Cereal Res. Commun* 36:1795–1798.
- Redulla CA, Davenport JR, Evans RG, Hatterndorf MJ, Alva AK, Boydston RA. 2005. Relating potato yield and quality to field scale variability in soil characteristics. *American Journal of Potato Research* 79:317-323.
- Rens L, Zotarelli L, Alva A, Rowland D, Liu G, Morgan K. 2016. Fertilizer nitrogen uptake efficiency for potato as influenced by application timing. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 104:175-185.
- Richter R, Hlušek J. 1994. *Výživa a hnojení rostlin (I. obecná část)*, 1st. VŠZ v Brně, Brno.
- Richter R, Kubát J. 2003. *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Römheld V, Kirkby EA. 2010. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant and Soil* 335:155–180.
- Rózylo K, Palys E. 2009. The chemical composition of potato tubers and its correlations with the amount of weed infestation depending on the fertilization system and the agronomical category of soil. *Annales UMCS, Sectio E, Agricultura* 44:110-119.
- Ryan J, Sommer R. 2012. Soil fertility and crop nutrition research at an international center in the Mediterranean region: achievements and future perspective. *Arch. Agron. Soil Sci* 58:41–54.
- Rybáček V, a kol. 1988. *Brambory*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Sanderson JB, MacLeod JA. 1994. Soil nitrate profile and response of potatoes to fertilizer-N in relation to time of incorporation of lupin (*Lupinus albus*). *Canadian Journal of Soil Science* 74:241–246.

- Sarkar D, Pandey SK, Sharma S. 2010. High K⁺ does not affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber induction, but represses its development in vitro. *In Vitro Cellular & Developmental Biology: Plant* 46:569-577.
- Sharifi M, Zebarth BJ, Hajabbasi MA, Kalbasi M. 2005. Dry matter and nitrogen accumulation and root morphological characteristics of two clonal selections of 'Russet Norkotah' potato as affected by nitrogen fertilization. *J. Plant Nutr* 28:2243–2253.
- Shen XL, Wu JM, Chen Y, Zhao GH. 2010. Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. *Food Hydrocolloids* 24:285–290.
- Scharf PC, Kitchen NR, Sudduth KA, Davis JG, Hubbard VC, Lory JA. 2005. Field-scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. *Agron J* 97:452–461.
- Schoumans OF et al. 2015. Future agriculture with minimized phosphorus losses to waters: Research needs and direction. *AMBIO* 44:163–179.
- Silva JS, França MGC, Gomide FTF, Magalhaes JR. 2013. Different nitrogen sources affect biomass partitioning and quality of potato production in a hydroponic system. *American Journal of Potato Research* 90:179–185.
- Sincik M, Turan ZM, Göksoy AT. 2008. Responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to green manure cover crop and nitrogen fertilization rates. *Am. J. Potato Res* 85:150–158.
- Singh RP, Agrawal M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Manage* 28:347–358.
- Smart DR, Bloom AD. 1998. Investigations of ion absorption during NH₄⁺ exposure I. Relationship between H⁺ efflux and NO₃⁻ absorption. *Journal of Experimental Botany* 49:95-100.
- Smith C. 1995. Evolution, history and technology. Crop production, New York.
- Škarda M. 1982. Hospodaření s organickými hnojivy. SZN, Praha.
- Šrek P, Hejzman M, Kunzová E. 2010. Multivariate analysis of relationship between potato (*Solanum tuberosum*L.) yield, amount of applied elements, their concentrations in tubers and uptake in a long-term fertilizer experiment. *Field Crop Res* 118:183-193.
- Taranet P, Harper S, Kirchof G, Fujinuma R, Menzies N. 2017. Growth and yield response of glasshouse and field-grown sweetpotato to nitrogen supply. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 108:309–321.
- Tein B, Kauer K, Eremeev V, Luik A, Selge A, Loit E. 2014. Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. *Field Crops Research* 156:1-11.
- Tesař S, Vaněk V, a kol. 1992. Výživa rostlin a hnojení. Vysoká škola Zemědělská v Praze, Agronomická fakulta, Praha.
- Tétard-Jones C, Edwards MG, Rempelos L, Gatehouse AMR, Eyre M, Wilcockson SJ, Leifert C. Effect of Previous Crop Management, Fertilization Regime and Water Supply on Potato Tuber Proteome and Yield. *Agronomy* 3:59-85.

- Trenkel ME. 2010. Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhanced Nutrient Use Efficiency in Agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris.
- ÚZPI. 2000. Vápník v hlízách bramborách: funkce a vliv na kvalitu. Available at <http://www.agris.cz/clanek/118818> (accessed July 15, 2020).
- Vaněk V, a kol. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. ProfiPress, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valenta J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia Praha, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Němeček R, Pavlíková D, Tlustoš P. 1999. Výživa a hnojení polích plodin, ovoce a zeleniny. Farmář – zemědělské listy, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Tlustoš P, Pavlíková D. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P. 2002. Výživa a hnojení polních a zahradních plodin. Praha.
- Verdaasdonk R. 2002. Die Rolle von Spurenelementen. Kartoffelbau 53:308-310.
- Vokál B, a kol. 2000. Brambory. Agrospoj, Praha.
- Vokál B, a kol. 2004. Technologie pěstování brambor. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Vokál B, a kol. 2013. Brambory šlechtění, pěstování, užití, ekonomika. Profi Press, Praha.
- Vos J. 1994. Effects of dicyandiamide on potato performance. Journal of Agronomy and Crop Science 173:93–99.
- Vos J. 1997. The nitrogen response of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the field: nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration. Potato Research 40:237-248.
- Vos J. 1999. Soil nitrogen application in potato: Effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on soil nitrogen budget. Journal of Agricultural Science 133:263–274.
- Vos J. 2009. Nitrogen responses and nitrogen management in potato. Potato Res 52:305–317.
- Votoupal B. 1964. Velikost sadbových hlíz. Rostlinná výroba.
- Wadas W, a kol. 2005. Effect of cultivation way and nitrogen fertilization on the total and nitrate nitrogen content in early potato tubers. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wroclawiu. Rolnictwo 86:535-541.
- Waddell JT, Gupta SC, Moncrief JF, Rosen CJ, Steele CC. 2000. Irrigation and nitrogen management impacts on nitrate leaching under potato. Agronomy Journal 91:991–997.
- Wang Y, Wu WH. 2013. Potassium transport and signaling in higher plants. Annual Review of Plant Biology 64:451–476.
- Wang Y, Wu WH. 2015. Genetic approaches for improvement of the crop potassium acquisition and utilization efficiency. Current Opinion in Plant Biology 25:46–52.

- Webb J, Sylvester-Bradley R, Seeney. 1997. The effects of site and season on the fate of nitrogen residues from root crops grown on sandy soils. *Journal of Agricultural Science* 128:445–460.
- Weiske A, Benckiser G, Ottow CG. 2001. Effect of the new inhibitor DMPP in comparison to DCD on nitrous oxide (N₂O) emissions and methane (CH₄) oxidation during 3 years of repeated applications in field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60:57–64.
- Westermann DT. 2005. Nutritional requirements of potatoes. *Am. J. Potato Res.* 82:301–307.
- Woli P, Hoogenboom G, Alva A. 2016. Imulation of potato yield, nitrate leaching, and profit margins as influenced by irrigation and nitrogen management in different soils and production regions. *Agricultural Water Management* 171:120–130.
- Zanman M, Saggarr S, Blennerhassett JD, Singh J. 2009. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and Nitric oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil Biol Biochem* 41:1270-1280.
- Zebarth BJ, Arsenault WJ, Sanderson JB. 2006. Effect of seedpiece spacing and nitrogen fertilization on tuber yield, yield components, and nitrogen use efficiency parameters of two potato cultivars. *Am. J. Potato Res* 83:289–296.
- Zebarth BJ, Drury CF, Tremblay N, Cambouris AN. 2009. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: a review. *Can J Soil Sci* 89:113–132.
- Zebarth BJ, Rosen CJ. 2007. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. *Am. J. Potato Res* 84:3–18.
- Zerulla W, Barth T, Dressel J, Erhardt K, von Locquenghien KH, Pasda G, Radle M, Wissemeier AH. 2001. 3,4 Dimethylpyrazole phosphate (DMPP): A new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils* 34:79–84.
- Zhao D, Oosterhuis DM, Bednarz CW. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica* 39:103–109.
- Zhou Z, Plauborg F, Liu F, Kristensen K, Andersen MN. 2018. Yield and crop growth of table potato affected by different split-N fertigation regimes in sandy soil. *European Journal of Agronomy* 92:41–50.
- Zrůst J. 1988. Dusík ve fyziologii výživy brambor. in *Dusík ve výživě brambor*. ČSVTS – pobočka VŠÚB Havlíčkův Brod, Havlíčkův Brod.
- Zrůst J. 2000. Fyziologie tvorby výnosu u brambor. *Úroda* 48:23-25.

9 Samostatné přílohy

varianta	a kg/par.	b kg/par.	c kg/par.	prům. kg/par.	t/ha
kontrola	35,0	37,4	39,1	37,2	18,6
kal 1	44,6	41,3	47,9	44,6	22,3
hnůj	41,8	51,7	42,9	45,5	22,7
hnůj 1/2 + N	44,0	49,5	45,1	46,2	23,1
N	55,0	51,2	51,2	52,4	26,2
NPK	49,0	51,7	49,0	49,9	24,9
N + sláma	57,8	52,8	53,9	54,8	27,4

Tabulka 8: Výnosy jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (t/ha)

varianta	a kg/par.	b kg/par.	c kg/par.	prům. kg/par.	t/ha
kontrola	35,0	37,4	39,1	37,2	18,6
kal 1	44,6	41,3	47,9	44,6	22,3
hnůj	41,8	51,7	42,9	45,5	22,7
hnůj 1/2 + N	44,0	49,5	45,1	46,2	23,1
N	55,0	51,2	51,2	52,4	26,2
NPK	49,0	51,7	49,0	49,9	24,9
N + sláma	57,8	52,8	53,9	54,8	27,4

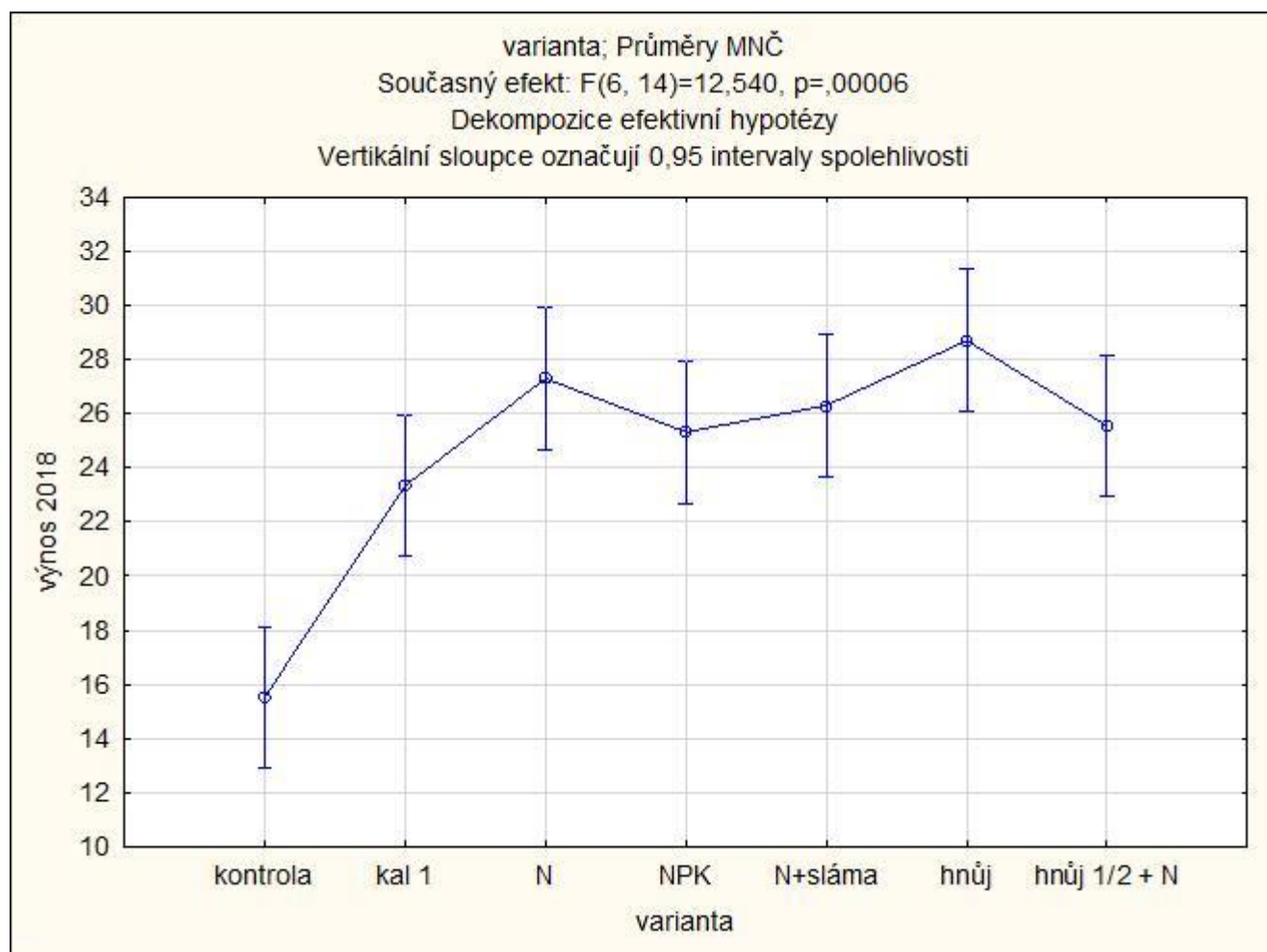
Tabulka 9: Výnosy jednotlivých variant hnojení v roce 2019 (t/ha)

varianta	měření 1	měření 2	průměr
kontrola	1,34	1,33	1,33
kal 1	1,65	1,58	1,61
hnůj	1,69	1,65	1,67
hnůj 1/2 + N	1,4	1,4	1,4
N	1,49	1,49	1,49
NPK	1,29	1,28	1,29
N + sláma	1,56	1,54	1,55

Tabulka 10: Výsledky analýzy – obsahy N v hlízách u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (%)

varianta	měření 1	měření 2	průměr
kontrola	1,26	1,27	1,27
kal 1	1,62	1,58	1,6
hnůj	1,37	1,41	1,39
hnůj 1/2 + N	1,52	1,47	1,5
N	1,49	1,56	1,52
NPK	1,47	1,49	1,48
N + sláma	1,36	1,34	1,35

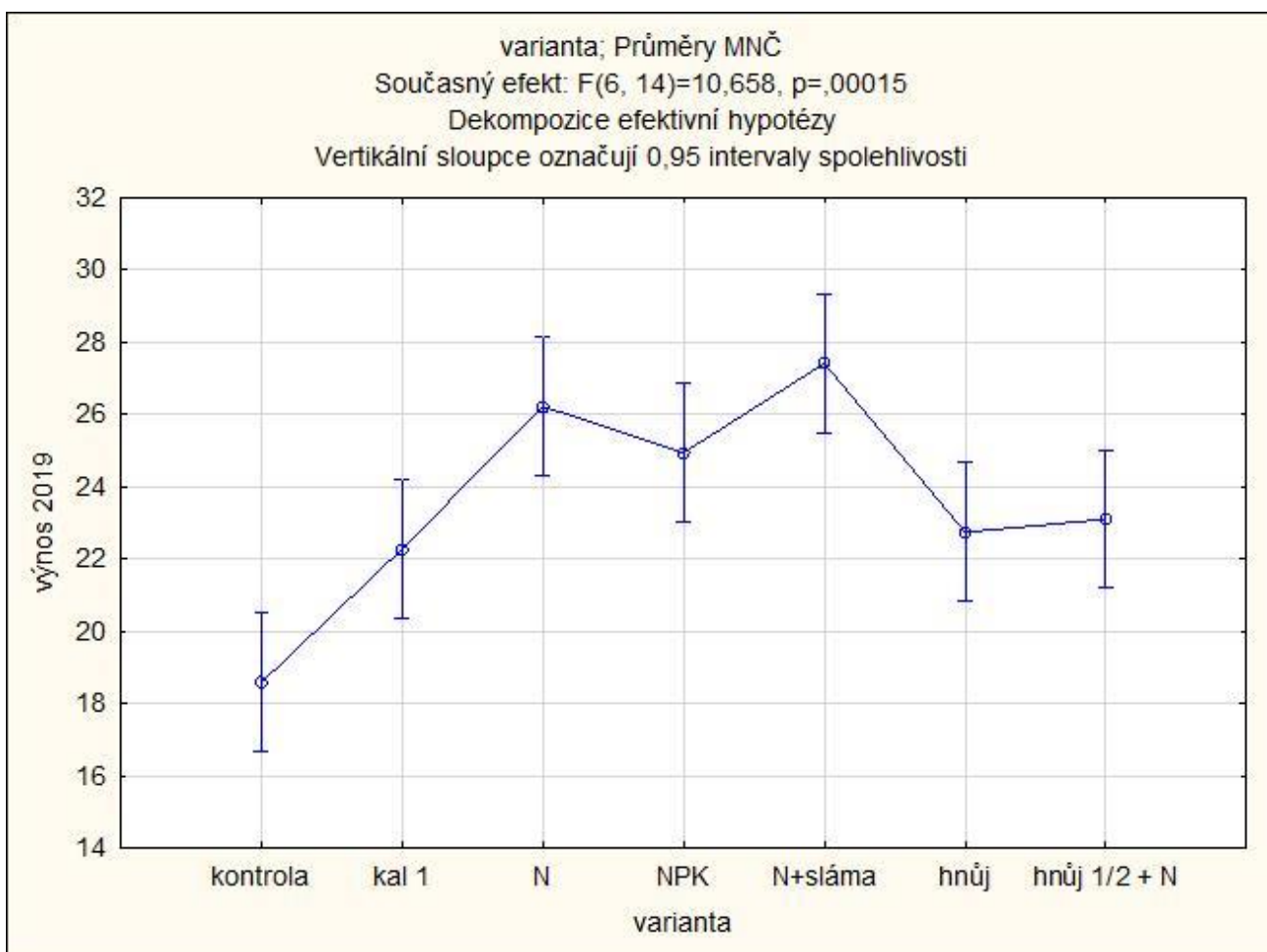
Tabulka 11: Výsledky analýzy – obsahy N v hlízách u jednotlivých variant hnojení (%)



Graf 14: Statistické vyhodnocení výnosu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (t/ha)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná výnos 2018 (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 4,4861, sv = 14,000							
	varianta	{1} (15,517)	{2} (23,333)	{3} (27,300)	{4} (25,317)	{5} (26,300)	{6} (28,700)	{7} (25,550)
1	kontrola		0,006833	0,000282	0,001006	0,000477	0,000197	0,000829
2	kal 1	0,006833		0,311203	0,902492	0,617774	0,086404	0,849324
3	N	0,000282	0,311203		0,902492	0,996557	0,979998	0,942851
4	NPK	0,001006	0,902492	0,902492		0,996867	0,479336	0,999999
5	N+sláma	0,000477	0,617774	0,996557	0,996867		0,799564	0,999317
6	hnůj	0,000197	0,086404	0,979998	0,479336	0,799564		0,555956
7	hnůj 1/2 + N	0,000829	0,849324	0,942851	0,999999	0,999317	0,555956	

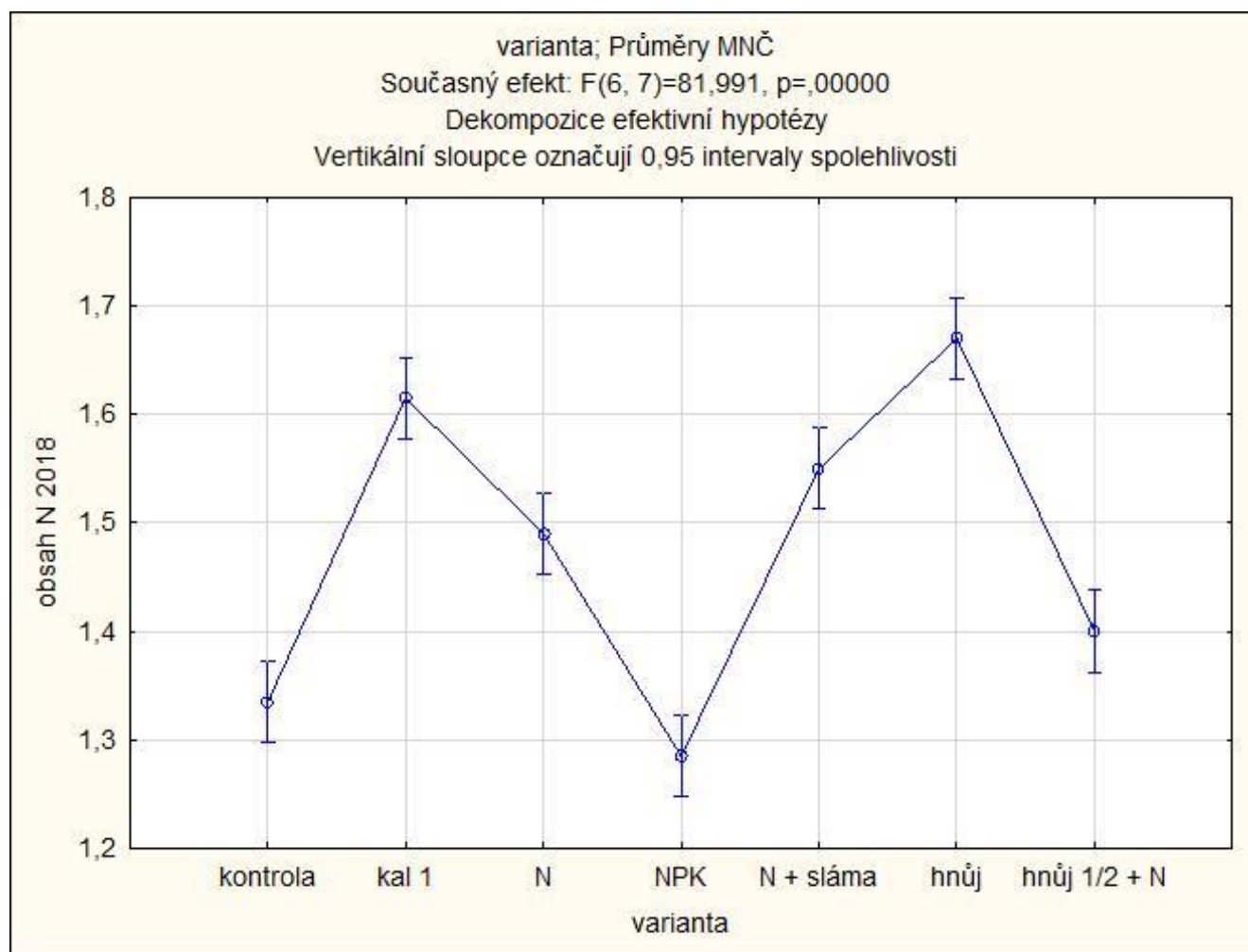
Tabulka 12: Vyhodnocení výnosu hlíz v roce 2018 Tukeyovým HSD testem



Graf 15: Statistické vyhodnocení výnosu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2019 (t/ha)

Tukeyův HSD test; proměnná výnos 2019 (Tabulka6) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 2,3989, sv = 14,000								
Č. buňky	varianta	{1} (18,575)	{2} (22,275)	{3} (26,217)	{4} (24,933)	{5} (27,408)	{6} (22,733)	{7} (23,100)
1	kontrola		0,116793	0,000599	0,002815	0,000249	0,062631	0,037396
2	kal 1	0,116793		0,084399	0,401645	0,015676	0,999755	0,993387
3	N	0,000599	0,084399		0,942128	0,958621	0,154838	0,243174
4	NPK	0,002815	0,401645	0,942128		0,478937	0,603624	0,767790
5	N+sláma	0,000249	0,015676	0,958621	0,478937		0,030194	0,050779
6	hnůj	0,062631	0,999755	0,154838	0,603624	0,030194		0,999933
7	hnůj 1/2 + N	0,037396	0,993387	0,243174	0,767790	0,050779	0,999933	

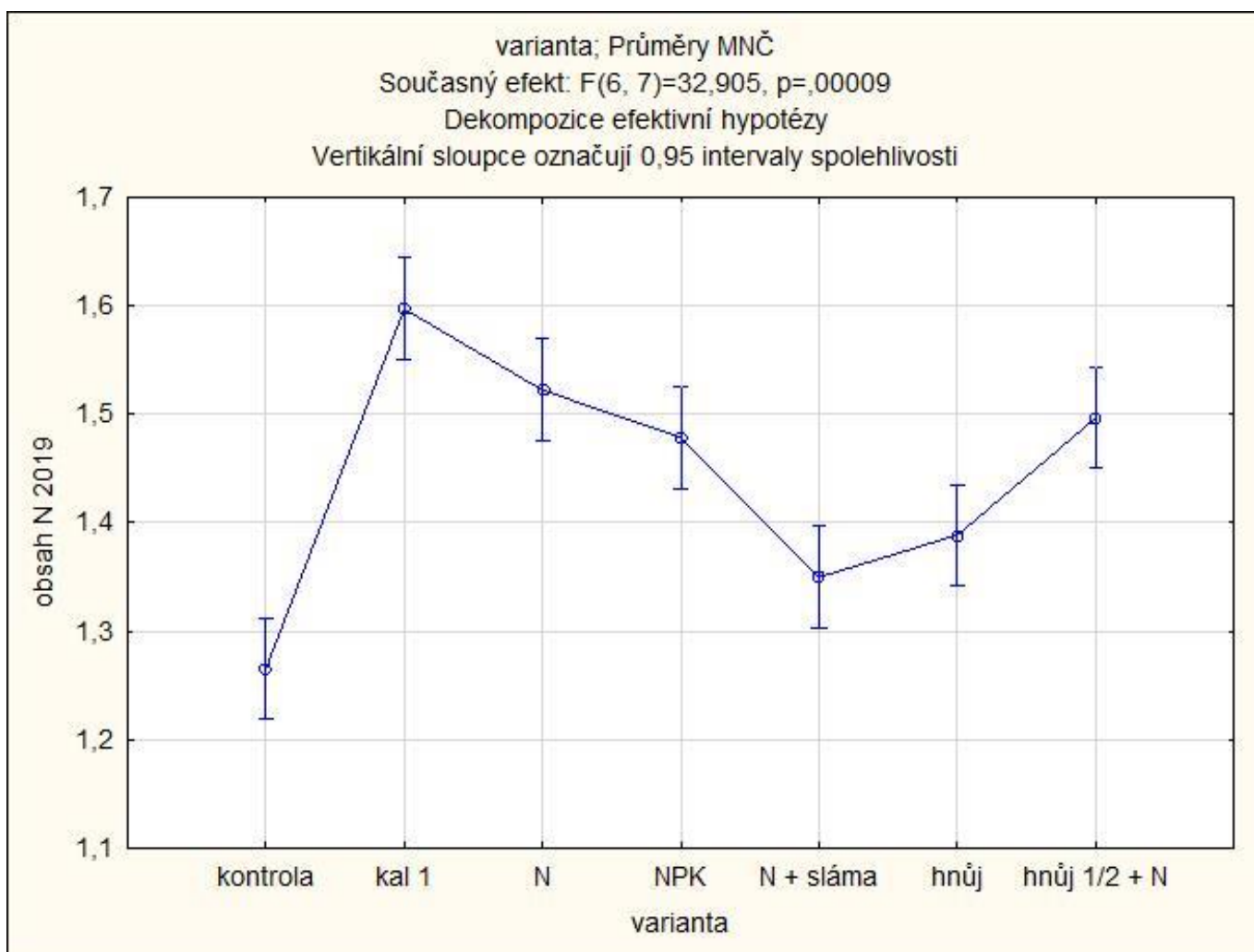
Tabulka 13: Vyhodnocení výnosu hlíz v roce 2019 Tukeyovým HSD testem



Graf 16: Statistické vyhodnocení obsahu N v hlízách u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (%)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná obsah N 2018 (Tabulka19) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00051, sv = 7,0000							
	varianta	{1} (1,3350)	{2} (1,6150)	{3} (1,4900)	{4} (1,2850)	{5} (1,5500)	{6} (1,6700)	{7} (1,4000)
1	kontrola		0,000277	0,002646	0,387180	0,000496	0,000250	0,180918
2	kal 1	0,000277		0,008950	0,000250	0,180918	0,303353	0,000496
3	N	0,002646	0,008950		0,000602	0,235063	0,001146	0,048200
4	NPK	0,387180	0,000250	0,000602		0,000299	0,000248	0,014076
5	N + sláma	0,000496	0,180918	0,235063	0,000299		0,011188	0,003189
6	hnůj	0,000250	0,303353	0,001146	0,000248	0,011188		0,000287
7	hnůj 1/2 + N	0,180918	0,000496	0,048200	0,014076	0,003189	0,000287	

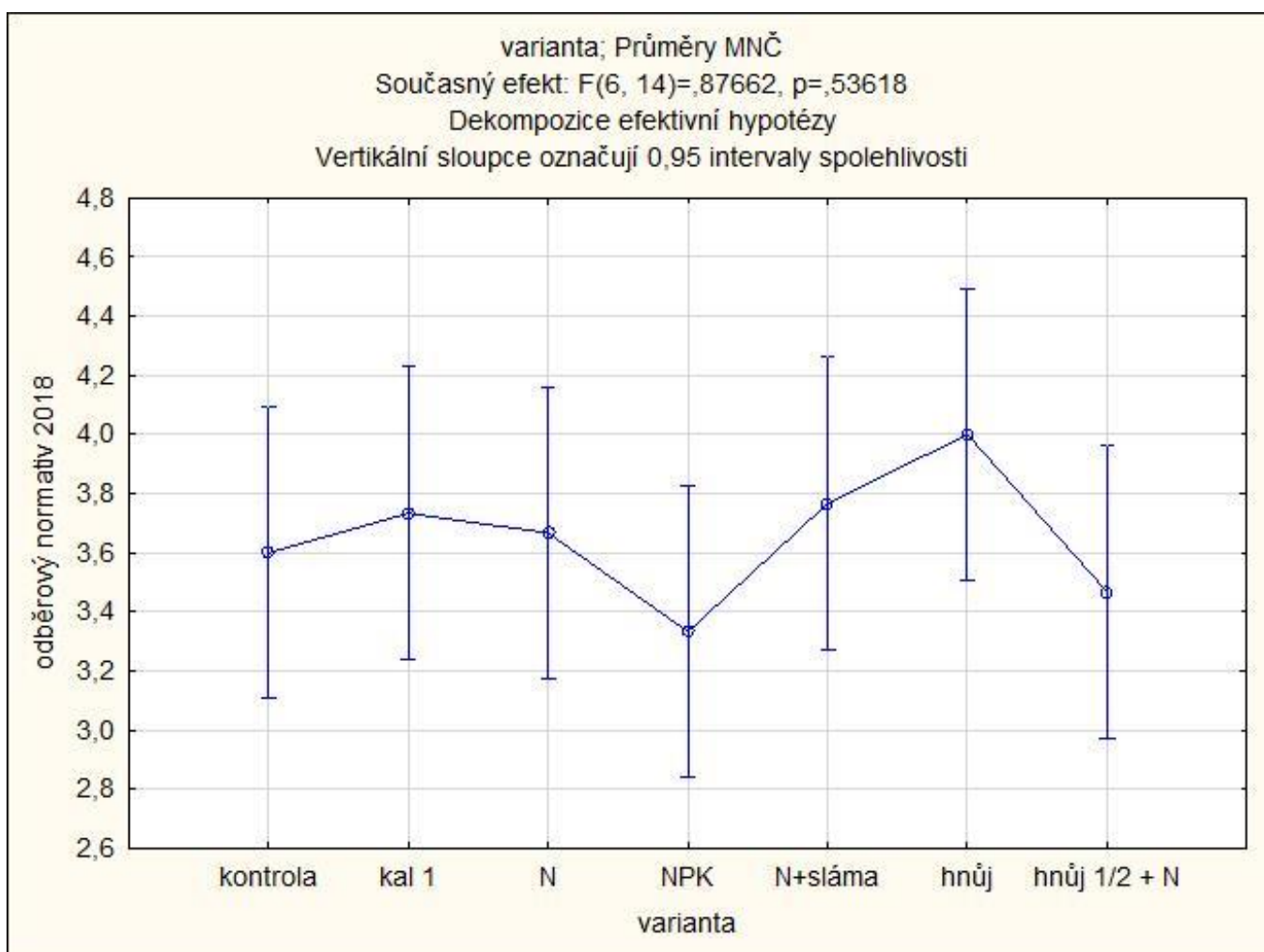
Tabulka 14: Vyhodnocení obsahu N v hlízách v roce 2018 Tukeyovým HSD testem



Graf 17: Statistické vyhodnocení obsahů N u jednotlivých variant hnojení v roce 2019 (%)

Tukeyův HSD test; proměnná obsah N 2019 (Tabulka23) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00078, sv = 7,0000								
Č. buňky	varianta	{1} (1,2655)	{2} (1,5969)	{3} (1,5220)	{4} (1,4786)	{5} (1,3496)	{6} (1,3885)	{7} (1,4966)
1	kontrola		0,000291	0,000583	0,001491	0,156525	0,030417	0,000964
2	kal 1	0,000291		0,231625	0,036844	0,000691	0,001688	0,078405
3	N	0,000583	0,231625		0,712676	0,004978	0,020136	0,959783
4	NPK	0,001491	0,036844	0,712676		0,024041	0,121509	0,992233
5	N + sláma	0,156525	0,000691	0,004978	0,024041		0,792601	0,012076
6	hnůj	0,030417	0,001688	0,020136	0,121509	0,792601		0,056303
7	hnůj 1/2 + N	0,000964	0,078405	0,959783	0,992233	0,012076	0,056303	

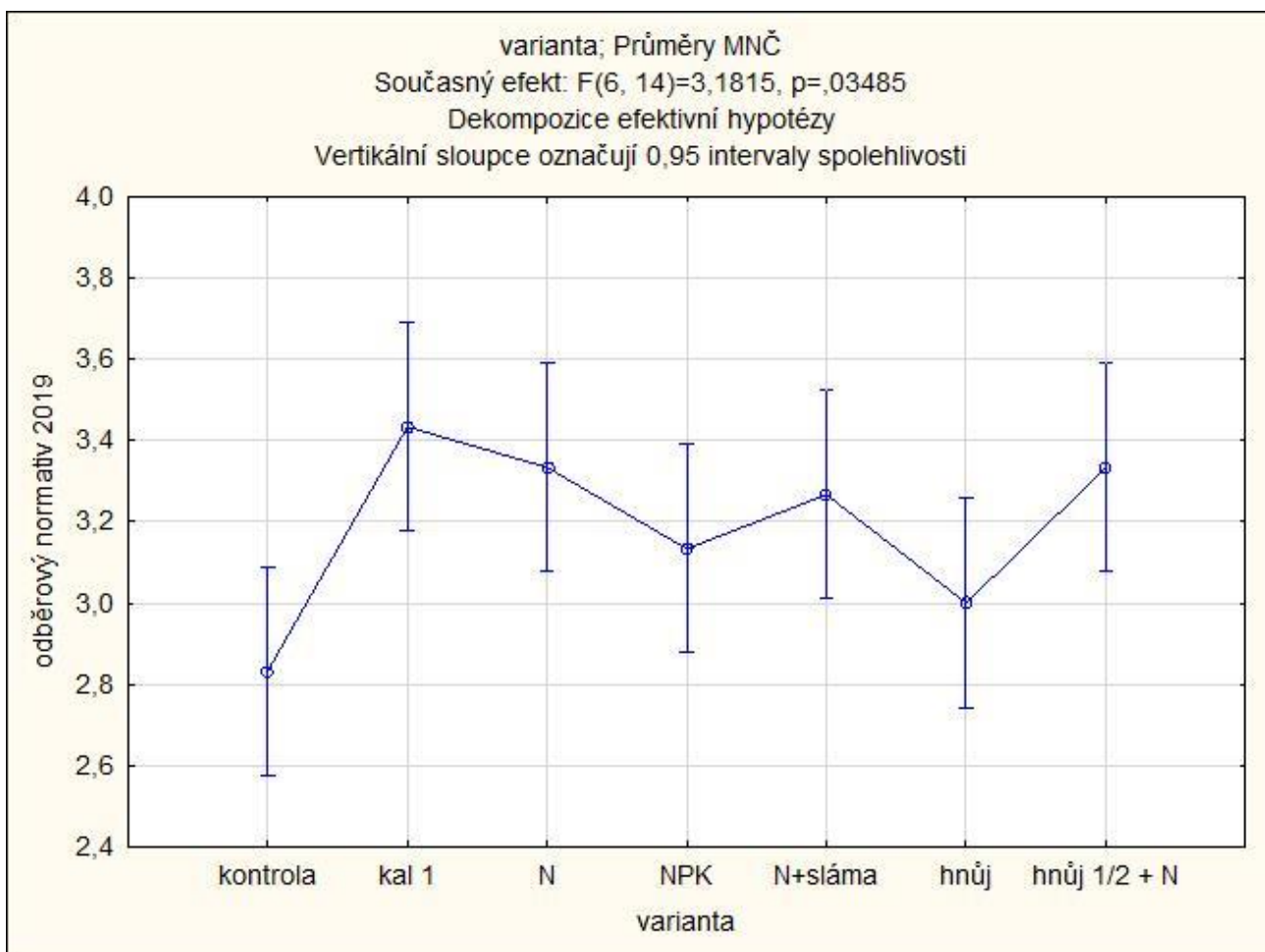
Tabulka 15: Vyhodnocení obsahu N v hlízách v roce 2019 Tukeyovým HSD testem



Graf 18: Statistické vyhodnocení odběrového normativu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (kg N/t)

Tukeyův HSD test; proměnná odběrový normativ 2018 (Tabulka10) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,15952, sv = 14,000								
Č. buňky	varianta	{1} (3,6000)	{2} (3,7333)	{3} (3,6667)	{4} (3,3333)	{5} (3,7667)	{6} (4,0000)	{7} (3,4667)
1	kontrola		0,999512	0,999991	0,978979	0,998264	0,872554	0,999512
2	kal 1	0,999512		0,999991	0,872554	1,000000	0,978979	0,978979
3	N	0,999991	0,999991		0,940255	0,999907	0,940255	0,995255
4	NPK	0,978979	0,872554	0,940255		0,828048	0,431629	0,999512
5	N+sláma	0,998264	1,000000	0,999907	0,828048		0,989297	0,962995
6	hnůj	0,872554	0,978979	0,940255	0,431629	0,989297		0,664370
7	hnůj 1/2 + N	0,999512	0,978979	0,995255	0,999512	0,962995	0,664370	

Tabulka 16: Vyhodnocení odběrového normativu hlíz v roce 2018 Tukeyovým testem



Graf 19: Statistické hodnocení odběrového normativu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (kg N/t)

Tukeyův HSD test; proměnná odběrový normativ 2019 (Tabulka15) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,04286, sv = 14,000								
Č. buňky	varianta	{1} (2,8333)	{2} (3,4333)	{3} (3,3333)	{4} (3,1333)	{5} (3,2667)	{6} (3,0000)	{7} (3,3333)
1	kontrola		0,039357	0,110644	0,583084	0,209301	0,949116	0,110644
2	kal 1	0,039357		0,996104	0,583084	0,949116	0,209301	0,996104
3	N	0,110644	0,996104		0,889393	0,999602	0,470721	1,000000
4	NPK	0,583084	0,583084	0,889393		0,982419	0,982419	0,889393
5	N+sláma	0,209301	0,949116	0,999602	0,982419		0,697520	0,999602
6	hnůj	0,949116	0,209301	0,470721	0,982419	0,697520		0,470721
7	hnůj 1/2 + N	0,110644	0,996104	1,000000	0,889393	0,999602	0,470721	

Tabulka 17: Vyhodnocení odběrového normativu hlíz v roce 2019 Tukeyovým HSD testem

10 Samostatné přílohy

10.1 Seznam tabulek

Tabulka 1: Kritéria hodnocení obsahu jednotlivých živin v orné půdě (Mehlich III).....	20
Tabulka 2: Doporučené celkové dávky dusíku pro brambory v kg č.ž./ha (Čepl et Vokál., 1997).....	24
Tabulka 3: Dávky jednotlivých živin aplikovaných v hnojivech	35
Tabulka 4: Průměrné dávky sušiny, sušina a obsah živin v organických hnojivech.....	35
Tabulka 5: Provedené agrotechnické operace v agronomickém roce 2017/2018	35
Tabulka 6: Provedené agrotechnické operace v agronomickém roce 2018/2019	36
Tabulka 7: Agrochemické vlastnosti ornice	37
Tabulka 8: Výnosy jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (t/ha)	I
Tabulka 9: Výnosy jednotlivých variant hnojení v roce 2019 (t/ha)	I
Tabulka 10: Výsledky analýzy – obsahy N v hlízách u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (%)	I
Tabulka 11: Výsledky analýzy – obsahy N v hlízách u jednotlivých variant hnojení (%).....	II
Tabulka 12: Vyhodnocení výnosu hlíz v roce 2018 Tukeyovým HSD testem	III
Tabulka 13: Vyhodnocení výnosu hlíz v roce 2019 Tukeyovým HSD testem	IV
Tabulka 14: Vyhodnocení obsahu N v hlízách v roce 2018 Tukeyovým HSD testem	V
Tabulka 15: Vyhodnocení obsahu N v hlízách v roce 2019 Tukeyovým HSD testem	VI
Tabulka 16: Vyhodnocení odběrového normativu hlíz v roce 2018 Tukeyovým testem.....	VII
Tabulka 17: Vyhodnocení odběrového normativu hlíz v roce 2019 Tukeyovým HSD testem	VIII

10.2 Seznam grafů

Graf 1: Závislost koncentrací dusíku v sušině na jeho celkovém příjmu (Vos 1997).....	15
Graf 2: Porovnání průměrných úhrnů srážek v letech 2018 a 2019 s dlouhodobým normálem (vegetační období)	38
Graf 3: Porovnání průměrných teplot v roce 2018 a 2019 s dlouhodobým normálem (°C)	38
Graf 4: Průměrné výnosy hlíz v roce 2018 (v t/ha)	41
Graf 5: Průměrné výnosy hlíz v roce 2019 (v t/ha)	42
Graf 6: Průměrné obsahy N v hlízách v roce 2018 (%).....	43
Graf 7: Průměrné obsahy N v hlízách v roce 2019.....	44
Graf 8: Průměrné odběrové normativy N hlízami v roce 2018 (kg N/t).....	45
Graf 9: Průměrné odběrové normativy N hlízami v roce 2019 (kg N/t).....	46
Graf 10: Agronomická efektivita využití dusíku (%) v letech 2018 a 2019.....	48
Graf 11: Výnosy hlíz (t/ha) v letech 2018 a 2019 a průměrné výnosy za oba roky	49
Graf 12: Obsahy N v hlízách (%) v letech 2018 a 2019 a průměrný obsah N za oba roky	51
Graf 13: Odběrové normativy hlíz (kg N/t) v letech 2018 a 2019 a průměrný odběrový normativ za oba roky	53
Graf 14: Statistické vyhodnocení výnosu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (t/ha)	II
Graf 15: Statistické vyhodnocení výnosu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2019 (t/ha)	III

Graf 16: Statistické vyhodnocení obsahu N v hlízách u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (%)	IV
Graf 17: Statistické vyhodnocení obsahů N u jednotlivých variant hnojení v roce 2019 (%) ..	V
Graf 18: Statistické vyhodnocení odběrového normativu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (kg N/t).....	VI
Graf 19: Statistické hodnocení odběrového normativu hlíz u jednotlivých variant hnojení v roce 2018 (kg N/t).....	VII