

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Využití podplodin pro snížení vodního deficitu rostlin
kukuřice**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Jakub Schamberger

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Tomášek, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Využití podplodin pro snížení vodního deficitu rostlin kukuřice“ jsem vypracoval 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 autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22. 7. 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jaroslavu Tomáškoví, Ph.D. za cenné rady, připomínky a pomoc s vyhledáváním odborné literatury, na základě které tato diplomová práce vznikla. Dále děkuji za jeho ochotu a čas, který mi věnoval.

Děkuji také zaměstnancům Zemědělského obchodního družstva Mrákov, kteří mi během celého studia poskytovali podklady pro seminární práce. Velké poděkování patří panu Václavu Kůstkovi, který mi během celého studia propojoval teorii s praxí.

V neposlední řadě také děkuji svojí rodině za podporu během celého studia.

Využití podplodin pro snížení vodního deficitu rostlin kukuřice

Souhrn

Kukuřice je v České republice po pšenici a řepce třetí nejpěstovanější plodinou. Tvoří základ krmné dávky skotu a také mnoha bioplynových stanic. V posledních letech je sledován vyšší nárůst erozně ohrožených půd a trend globálního oteplování, což může vést ke snížení produkce biomasy. Z toho vyplývá, že zemědělci by měli věnovat pozornost novým, zejména půdoochranným technologiím a hospodaření s vodou v půdě.

Tato práce se zabývá pěstováním kukuřice s podplodinami pro zmírnění vodního deficitu rostlin a pro zvýšení jejich (fotosyntetické) produktivity. V rámci diplomové práce byly založeny tři varianty pokusu: Podplodina 1 (Hrách setý), Podplodina 2 (Lupina bílá) a Klasická kontrolní varianta na plochách výzkumné stanice FAPPZ Červený Újezd.

Z porovnání různě založených pokusů a vědecké literatury bylo zjištěno, že vyšší vlhkost půdy po celou dobu vegetace byla na variantě pěstování kukuřice s podplodinou. Teplota půdy v hloubce 10 cm byla po celou dobu vegetace nižší na variantě s podplodinou.

Při ověřování výnosů jednotlivých variant pokusu bylo zjištěno, že rostliny založené s podplodinou mají nižší výnos biomasy i zrna. Výnos suché hmoty byl na variantě s podplodinou o 36 % nižší v porovnání s klasickou kontrolní variantou. Výnos zrna byl na variantě Podplodina 1 (Hrách setý) o 17 % nižší, u varianty Podplodina 2 (Lupina bílá) o 4 % nižší v porovnání s klasickou kontrolní variantou.

Dalším sledovaným parametrem bylo množství makroprvků v sušině rostliny. Zde nebyl prokázán vliv podplodiny na obsah makroprvků v sušině rostliny.

Z tohoto pokusu vyplývá, že pěstování kukuřice s podplodinami má příznivý vliv na vlhkost a teplotu půdy, ale naopak podplodina má negativní vliv na výnos suché hmoty a zrna kukuřice. Nižší výnos biomasy a zrna může být vyvažován pozitivním vlivem podplodiny na půdu. Podplodinou je dodávána do půdy organická hmota, která má poté pozitivní vliv na následující plodinu.

Veškeré výsledky byly zpracovány v programu Statistica 12.1.

Pokus byl pouze jednoletý. Tyto jednoleté pokusy bývají zatíženy variabilitou pokusného stanoviště a počasí, tudíž výsledky nemají dostatečnou vypovídací schopnost. Pokusy by bylo vhodné opakovat několik let po sobě v různých lokalitách.

Klíčová slova: intercropping, sucho, půda, produktivita, leguminózy

Using intercropping to reduce the water deficit of maize plants

Summary

Maize is the most grown crop in the Czech republic after wheat and rape seed. Maize is the basic of feed ratio for cows and also biogas station. Higher percentage of soil erosion and global climat warming is evident in recent years. Mentioned conditions can lead to lower production of maize biomass. Farmers should pay attention to soil protection technologies and soil water management.

Diploma thesis is focused on growing maize in intercropping. Technology could reduce plant drought stress and it could help strengthen photosynthesis. There were established three variants of the field experiment at the research institute Červený Újezd of Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources: Intercropping 1 (*Pisum sativum*), Intercropping 2 (*Lupinus albus*) and Conventional technology.

There has been found that intercropping technology had higher soil moisture than conventional technology throughout the growing season. Soil temperature in depth 10 cm was lower on intercropping technology than on conventional technology throughout the growing season. Lower biomass and corn yield using intercropping was found it in the experiment. Dry matter yield of intercropping technology was 36 % lower than conventional technology. Corn yield was 17 % lower on the variant Intercropping 1(*Pisum sativum*) and 4 % lower on the variant Intercropping 2 (*Lupinus albus*) compared conventional technology.

Amount of macroelements in plants and dry matter was monitored. Growing technology did not effect the amount of macroelements in the dry matter of the plants.

The research shows that growing maize in intercropping had positive influence on soil temperatue and soil moisture, but negative influence on biomass and corn yield. Lower yield of bioamass and corn could be balanced by positive influence of intercropping. Intercropping gives lots of organic matter into the soil. This organic matter will have positive influence on following crop.

Statistica 12. 1. were used to evaluate the research.

Sufficient information ability could not be conformed by one year experiments as this one. The experiments should be repeated for several years and in diferent locations.

Keywords: intercropping, drought, soil, productivity, leguminosis

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Vědecké hypotézy a cíle práce.....	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Intercropping.....	12
3.1.1 Typy intercroppingu	12
3.1.2 Výhody intercroppingu	12
3.1.3 Nevýhody intercroppingu	13
3.2 Intercropping ve světě.....	14
3.3 Intercropping leguminózy s kukuřicí.....	14
3.3.1 Kukuřice setá (<i>Zea mays</i>), botanická charakteristika	14
3.3.1.1 Historie pěstování kukuřice	15
3.3.1.2 Využití kukuřice	15
3.3.1.3 Pěstování kukuřice v České republice	16
3.3.1.4 Omezení při pěstování kukuřice	18
3.3.1.4.1 Půdochranné technologie využitelné při pěstování kukuřice:.....	18
3.3.1.5 Tvorba výnosu kukuřice	19
3.3.1.5.1 Volba hybridu	19
3.3.1.5.2 Požadavky kukuřice na prostředí	20
3.3.1.5.3 Organizace porostu.....	21
3.3.1.5.4 Výživa a hnojení kukuřice	21
3.3.1.5.5 Fotosyntetická aktivita	22
3.4 Reakce rostliny na sucho	23
3.5 Biologická fixace dusíku	26
3.5.1 Čeleď <i>Fabaceae</i>	26
3.5.1.1 Hrách setý (<i>Pisum sativum</i>).....	26
3.5.1.1.1 Původ hrachu	26
3.5.1.1.2 Složení semene hrachu	27
3.5.1.1.3 Pěstování hrachu setého v České republice.....	27
3.5.1.1.4 Využití hrachu.....	27
3.5.1.2 Lupina bílá (<i>Lupinus albus</i>).....	27

3.5.1.2.1	Původ a genetické zdroje lupiny	28
3.5.1.2.2	Pěstování lupiny v České republice.....	28
3.5.1.2.3	Tolerance k vodnímu stresu.....	28
3.5.1.2.4	Využití Lupiny bílé.....	29
3.5.1.2.5	Složení semene Lupiny bílé.....	29
3.5.2	Fixace molekulárního dusíku.....	29
3.5.2.1	Systém symbiózy.....	30
3.5.2.2	Vliv vnitřních a vnějších faktorů na úroveň fixace dusíku	31
3.5.2.2.1	Vliv minerálních živin na fixaci dusíku	31
3.6	Půdní vlhkost.....	32
3.6.1	Eroze půdy	34
3.6.1.1	Vodní eroze	34
3.6.1.1.1	Erodovatelnost půdy	36
3.6.1.1.2	Ochrana půdy před vodní erozí	36
4	Metodika	38
4.1	Charakteristika pokusného stanoviště.....	38
4.1.1	Agrotechnika pokusu	38
4.1.2	Hodnocení pokusu	39
5	Výsledky.....	40
5.1	Hodnocení průběhu počasí.....	40
5.1.1	Vyhodnocení počasí na pokusné lokalitě Červený Újezd 2013 – 2019 ...	40
5.1.2	Vyhodnocení počasí na pokusné lokalitě Červený Újezd duben – září 2019	42
5.2	Hodnocení pokusu během růstu	44
5.3	Hodnocení pokusu při sklizni.....	46
6	Diskuze	50
6.1	Průběh počasí na pokusné lokalitě Červený Újezd.....	50
6.2	Vliv podplodiny na vlhkost a teplotu půdy.....	50
6.3	Vliv podplodiny na rychlost fotosyntézy a transpirace	51
6.4	Vliv podplodiny na výnos biomasy	51
6.4.1	Vliv podplodiny na sklizňovou sušinu	52
6.5	Vliv podplodiny na výnos zrna	53
6.6	Vliv podplodiny na množství živin v rostlině.....	53

7 Závěr.....	54
8 Literatura.....	55
9 Samostatné přílohy	I
9.1 Příloha č. 1: Meteorologická data Výzkumné stanice FAPPZ Červený Újezd 2013/2014 – 2018/2019)	I
9.2 Příloha č. 2: Fotodokumentace průběhu vegetace	V

1 Úvod

Půda patří mezi nejdůležitější přírodní zdroje. Máme jí omezené množství a nelze ji nijak nahradit. Je to jedna z nejcennějších hodnot, kterou může člověk vlastnit. Jednou z hlavních funkcí půdy je výroba potravin. Potraviny se mohou na půdě vyrábět přímo (například pěstováním zeleniny, ovoce,...) nebo nepřímo pěstováním krmných plodin, které slouží ke krmení hospodářských zvířat, která nám poskytnou finální potravinu. Mnoho lidí si tuto skutečnost vůbec neuvědomuje, a tak dochází ke zbytečnému devastování půdy. Jako příklad lze uvést zastavování úrodných půd průmyslovými objekty a výstavbou silnic. Dalším příkladem devastace půdy může být větrná a vodní eroze, která je způsobena nešetrným hospodařením na zemědělských plochách.

Každým dnem v České republice ubývá 15 hektarů zemědělské půdy, ale zároveň se zvyšuje počet obyvatel. Tyto trendy jdou proti sobě. Pokud budeme chtít uživit celou populaci, bude třeba vyvíjet nové technologie pěstování a zefektivňovat výrobu.

Dalším limitujícím faktorem výroby potravin je sucho. V posledních letech se velmi podepsalo na výnosech zemědělských plodin, což se odráží na ceně objemných krmiv a ve své podstatě i na ceně potravin.

Tyto faktory lze eliminovat například pěstováním plodin pomocí půdoochranných technologií a při zabírání zemědělských půd zvážit nejprve možnost brownfield pozemků.

Tato diplomová práce se zabývá pěstováním kukuřice s využitím podplodiny ke zmírnění vodního stresu rostlin a ke zvýšení produkce biomasy.

Kukuřice je v České republice třetí nejpěstovanější plodinou po pšenici a řepce. Zabírá přibližně 300 000 ha. Kukuřice je velmi důležitou plodinou, neboť se z ní vyrábí siláž, která tvoří krmivovou základnu skotu. Kukuřice se pěstuje jako širokořádková plodina, a proto se nemůže dle „Kontrol podmíněnosti“ pěstovat na půdách silně erozně ohrožených. Na půdách mírně erozně ohrožených ji lze pěstovat pouze s využitím půdoochranné technologie.

Jako jedna z půdoochranných technologií by mohlo sloužit využití podplodiny. Pěstování kukuřice s podplodinami by mohlo vést k lepšímu zadržování vody v půdě a jejímu lepšímu využití rostlinami. Podplodiny z čeledi bobovitých mají vlastnost symbiotické fixace vzdušného dusíku. Tato skutečnost by mohla pomoci hlavní plodině. Kukuřice a následná plodina by mohly tento dusík využít, a tím by došlo ke zvýšení výnosu zelené hmoty.

Tato diplomová práce se zabývá pěstováním kukuřice s využitím podplodin čeledi bobovitých (hrách setý a lupina bílá) a hodnotí vliv podplodiny na snížení vodního stresu kukuřice a na výnosové parametry.

Tato práce by měla porovnat produktivitu porostu s využitím pěstování podplodiny s klasickou kontrolní variantou.

Výsledky by mohly posloužit zemědělské veřejnosti při rozhodování, kterou technologii zvolit při pěstování kukuřice. Dále by tyto výsledky mohly dát impuls pro vývoj secích strojů, které by dokázaly sít osivo podplodiny zároveň s přesným setím kukuřice.

2 Vědecké hypotézy a cíle práce

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit vlhkost půdy při pěstování podplodin v porostu kukuřice a vhodnou podplodinou zvýšit vlhkost půdy a omezit stres rostlin způsobený dlouhotrvajícím suchem.

Dalším cílem diplomové práce bylo porovnání produktivity porostu a intenzity fotosyntézy na pokusných variantách.

Pro tuto práci byly zvoleny následující hypotézy:

1. Pěstování kukuřice s využitím podplodiny zvýší schopnost půdy infiltrovat dešťové srážky, což se projeví větší vlhkostí půdy v době delšího období sucha, v porovnání s kontrolní variantou bez podplodiny.
2. Současné setí kukuřice s podplodinou zvýší fotosyntetickou produkci rostlin (výnosové parametry) ve srovnání s klasickou kontrolní variantou.

3 Literární rešerše

3.1 Intercropping

Intercropping je pěstitelská metoda, při které pěstujeme více než jednu plodinu na jednom místě a ve stejný čas. Cílem je dosáhnout ještě většího výnosu, než kterého by bylo dosaženo, kdyby prostor obývala pouze jedna plodina (Miaschi 2017).

Intercropping je cesta ke zvýšení diverzity zemědělského ekosystému. Rostliny jsou vysévány buď současně nebo alespoň v blízkém časovém intervalu (Mousavi & Eskandari 2011).

Tato technologie by mohla být jednou z cest k dosažení udržitelné intenzifikace. Ekologické pokroky zahrnují lepší pochopení závislostí interakcí, mechanismů způsobujících prevenci nemocí a škůdců, propojení mezi nadzemními a pozemními systémy. Toto porozumění může vést ke zlepšování systému pěstování plodin (Brooker et al. 2014).

3.1.1 Typy intercroppingu

- a) **Řádkový intercropping:** Pěstování dvou nebo více plodin současně, kde jedna nebo více plodin jsou v pravidelných řádcích.
- b) **Mixovaný intercropping:** Pěstování dvou nebo více plodin současně bez uspořádání do řádků. Tento systém je vhodný zejména pro pěstování trav s luskovinami pro pastviny.
- c) **Pásový intercropping:** Pěstování dvou nebo více plodin současně v dostatečně širokých pásech, umožňujících samostatné pěstování, ale zároveň tak úzkých, aby rostliny spolu ještě spolupracovaly.
- d) **Štafetový intercropping:** Pěstování dvou nebo více plodin během částí životních cyklů každé z nich. Následující plodina je zasetá poté, co první plodina dosáhne svého reprodukčního stadia, ale dříve než dosáhne sklizňové zralosti (Mousavi & Eskandari 2011).

Kombinace plodin pěstovaných v intercroppingu se liší v závislosti na zeměpisné poloze. Dále je určována především délkou vegetační doby a přizpůsobením plodiny k danému prostředí (Ofori & Stern 1987).

3.1.2 Výhody intercroppingu

- a) **Zvyšování produkce:** Důvodem vyššího výnosu v intercroppingu je, že hlavní živiny, voda a světlo jsou využity efektivněji než v monokulturním pěstování (Eskandari 2012). Rostliny pěstované formou intercroppingu dosahují vyššího využití záření. Luskoviny mohou dosahovat vyššího využití záření v systémech intercroppingu v důsledku jejich schopnosti využívat naplno i nízké hodnoty radiace (Kermah et al. 2017). Toto zvýšení efektivnosti je vhodné pro malé farmáře a také pro oblasti, kde je krátká vegetační doba (Altieri 1995).
- b) **Lepší využití přírodních zdrojů:** Pokud rostliny pěstované v intercroppingu prokazují rozdíl ve využívání přírodních zdrojů, tak tyto zdroje využijí společně daleko lépe oproti plodinám pěstovaných v monokultuře (Mousavi & Eskandari

2011). Běžné limitující faktory růstu rostlin jsou voda, světlo, teplota nebo jeden ze čtrnácti esenciálních prvků (Marschner 1995). Intercropping může zvýšit přístupnost živiny k rostlině nebo může pomoci k získání limitujícího zdroje. Kořenový management a rhizosféra mohou zvýšit efektivitu využití zdrojů plodinou (Li et al. 2014).

- c) **Redukce poškození škůdci, chorobami a zaplevelením:** V systému intercroppingu dochází k potlačení chorob v porovnání s monokulturou přibližně o 30 – 40 %. K potlačení patogenu může dojít mnoha faktory. Například snížením dostupnosti hostitelských rostlin, změnou v rozptylování deštěm a větrem nebo rozdílnými mikroklimatickými účinky (Boudreau 2013). Při pěstování plodin v monokultuře jsou plevelé narušovatele růstu a vývoje rostlin. Ztráty výnosů hlavní plodiny způsobené plevely mohou dosahovat až 34 % (Jabran et al. 2015).

V systému intercropping pomáhá ke snížení zaplevelení zvyšování listové plochy pěstovaných rostlin (Seran & Brintha 2010). Další možností potlačení plevelů v systému intercropping je využít jako podplodiny rostlinu s alelopatickými účinky, které vedou ke snížení tlaku plevelů (Jabran et al. 2015) Banik et al. (2006) uvádějí, že pěstování pšenice a cizrny formou intercroppingu snižuje množství plevelů v porostu v porovnání s pěstováním plodiny formou monokultury. Sharma a Banik (2013) uvádějí, že nejméně biomasy plevelů a zároveň nejméně druhů plevelů se vyskytovalo na variantě pěstované formou intercroppingu.

- d) **Zlepšení půdní úrodnosti:** Bakterie rodu *Rhizobium* jsou schopné díky symbióze fixovat vzdušný dusík do formy přístupné pro rostliny, poté je zbytek dusíku zanechán v půdě (Mousavi & Eskandari 2011). V systémech intercroppingu, kde je nedostatek dusíku, mohou bobovité rostliny zvýšit zemědělskou produkci (Seran & Brintha 2010). Při současném pěstování kukuřice a holubiho hrachu se sníží potřeba dusíkatých a fosforečných hnojiv v následujících letech (Sogbedji et al. 2006). Intercropping zvyšuje aktivitu fosfatázy v půdě v porovnání s monokulturou. Tato skutečnost naznačuje, že intercropping využije více organického fosforu v půdě (Wang et al. 2014).
- e) **Zdravá půda:** Intercropping může zlepšovat zdravotní stav půdy tím, že nedochází ke ztrátám a znečištění nevyužitým dusíkem (Bybee-Finley & Ryan 2018).
- f) **Stabilní a jednotný výnos:** Pro zemědělce, kteří mají omezené plochy pěstování, je stabilita výnosu velmi důležitá. Pokud pěstujeme několik plodin dohromady, chyba v produkci u jedné plodiny může být nahrazena plodinou druhou (Mousavi & Eskandari 2011).

3.1.3 Nevýhody intercroppingu

Intercropping může být nežádoucí, pokud chceme produkci jednoho standardizovaného produktu. Intercropping není považován za vhodný pro intenzivní zemědělské systémy (Feike et al. 2012).

Nevýhodou intercroppingu může být nestejněmorné dozrávání pěstovaných plodin. Při pěstování v našem pokusu (kukuřice + hrách a kukuřice + lupina) byly obě tyto plodiny sety současně. Došlo zde k tomu, že hrách a lupina zaschly dříve, než dozrála kukuřice. Pokud by

se daly tyto agrotechnické termíny sloučit, byla by zde možnost pěstovat dvě kvalitní plodiny v intercroppingu a následně vytvořit kvalitní objemné krmivo.

3.2 Intercropping ve světě

V Latinské Americe pěstují malí farmáři 70 – 90 % fazolí společně s kukuřicí, bramborami nebo jinými plodinami. Na 60 % z celkové plochy pěstování je využit intercropping (Brooker et al. 2014). V Africe 98 % vigny z celkové plochy je pěstováno v intercroppingu, v Kolumbii je 90 % fazolí pěstováno v intercroppingu. Celkové procento půdy v tropech obdělávané pomocí intercroppingu se liší od 17 % v Indii až po 94 % v Malawi (Vandermeer 1989). V Evropě přetrvává intercropping především v zemědělsko-lesnických systémech, jako v systémech zalesněných travních porostů nebo při pěstování obilovin a zeleniny pod ovocnými stromy, olivovníky či vinnou révou (Brooker et al. 2014).

3.3 Intercropping leguminózy s kukuřicí

Intercropping leguminózy a kukuřice je stará praktika tropického zemědělství. Intercropping hrachu a kukuřice je běžnou zemědělskou praxí v jižním Malawi, částech Mosambiku a Tanzánie (Bekunda et al. 2010). Systém pěstování kukuřice a leguminózy současně je schopný redukovat množství živin odebraných z půdy oproti kukuřici pěstované v monokultuře. Současné pěstování dusík vázající plodiny s jinou plodinou vykazuje vyšší produktivitu oproti pěstování plodin v monokultuře (Seran & Brintha 2010).

3.3.1 Kukuřice setá (*Zea mays*), botanická charakteristika

Kukuřice (*Zea mays*) je statná vysoká rostlina. Řadí se na třetí místo nejpěstovanějších obilnin světa po rýži a pšenici. Polovina její světové produkce připadá na USA. Z hlediska botanického třídění řadíme kukuřici do třídy jednoděložných (*Monocotyledonae*), řádu lipnicotvaré (*Poales*), čeledi lipnicovité (*Poaceae*) a podčeledi kukuřicovité (*Zeeoideae*) (Novák & Skalický 2012). Jedná se o rostlinu jednoletou, jednodomou s květy uspořádanými do oddělených květenství (laty a palice). Je cizosprašná (Zimolka et al. 2008). Stéblo je mohutné, dlouhé, vzpřímené, členěné na 10 až 20 článků. Listy jsou dvouřadé, pochva dlouhá, víceméně otevřená. Čepel 0,3-1,5 m dlouhá, 5-15 cm široká na líci slabě chlupatá s okrajem celokrajným a zvlněným. Samčí květy jsou uspořádány v terminální volnou latu složenou z hustých lichoklasů. Samičí květenství zvané palice vyrůstá z úžlabí listu a je těsně obaleno listeny (Valíček et al. 2002).

Podle barvy nebo tvaru zrna, nebo podle barvy pluch na vřetenech rozlišujeme různé variety: kukuřice obecná, tvrdá, kukuřice koňský zub, kukuřice polozubovitá, kukuřice pukancová – praskavá, kukuřice cukrová, kukuřice vosková, kukuřice škrobnatá, kukuřice pluchatá, kukuřice škrobocukrová a kukuřice pestrolistá (Zimolka et al. 2008).

Kukuřice je jednou z nejnákladnějších trav v produkci zrna, ale je neschopna přežít bez lidské pomoci, protože nemá možnost rozšiřování vlastních semen (Mangelsdorf 1986).

3.3.1.1 Historie pěstování kukuřice

Kukuřice byla v Americe dříve velmi důležitou plodinou, dokonce ještě více, než je tomu dnes. Má dokumentovanou svoji vlastní historii, protože ztvrdlé klasy jsou vhodné pro konzervaci v různých podmínkách (Mangelsdorf 1986). Kukuřice byla domestikována před 7000 – 10000 lety v jižním až jihozápadním Mexiku. Po domestikaci se rychle rozšířila celou Amerikou (Goodman 1988).

Původ kukuřice není známý, ale přisuzuje se divokým travám (*Zea Mexicana*) a travám rodu *Tripsacum*, které se nacházejí v oblasti jižního a jihozápadního Mexika (Sheaffer & Moncada 2012). Zbytky prehistorických kukuřic zahrnují 25 000 palic, které byly nalezeny v oblasti od Arizony až ke Guatemale. Kolumbus objevil kukuřici na Kubě a koupil ji pro Španělsko (Mangelsdorf 1986). Toto byla cesta, kterou se kukuřice velmi rychle rozšířila po Evropě a dále po celém světě (Tollenaar & Dwyer 1999).

Výnos kukuřice rostl kontinuálně od třicátých let dvacátého století. Tento růst byl spojen se změnami v pěstování plodin a se začátkem pěstování hybridních odrůd (Duvick 2005). Dnes je osivo kukuřice vyráběno „na míru“ pro konkrétní potřeby. Byly vyvinuty hybridy, které mají schopnost produkovat mnohem vyšší výnosy, mají kratší vegetační dobu, více se hodí do severního podnebí, vydrží sucho... (Kenkel 2015).

Průměrně 40 – 50 % výnosového zisku vděčí managementu pěstování (např.: používání herbicidů, navýšení použití dusíkatých hnojiv). Další 50 – 60 % výnosu náleží genetice, především vylepšení hybridů. Výnosový potenciál na jednu rostlinu se již roky nezvýšil. Vyšší výnosnosti nového hybridu vděčíme především kvůli vyšší toleranci vůči stresu, ta zase poskytuje vyšší toleranci k hustotě rostlin. Pokud porovnáme starší hybridy s dnešními, produkují přibližně stejné množství zrna na jednu rostlinu, ale pěstujeme podstatně více rostlin na jednotku plochy (Duvick 2005).

3.3.1.2 Využití kukuřice

Kukuřice může být zpracovávána na různé potravinářské a průmyslové výrobky. Příkladem může být škrob, sladidla, olej, nápoje, lepidlo, alkohol a palivový ethanol. Ve Spojených státech se v posledních deseti letech výrazně zvýšilo pěstování kukuřice pro výrobu paliv. Přibližně 40 % produkce kukuřice se využije pro tento účel (Ranum et al. 2014).

V České republice je většina ploch kukuřice sklizena jako silážní. Tuto zelenou hmotu můžeme využít několika způsoby:

- a) **Na zelené krmení** – Pro toto využití je nejoptimálnější sklízet porost ve fázi zelené zralosti nebo na počátku mléčné zralosti při sušině 15 – 20 %. Výnos zelené hmoty se pohybuje mezi 25 – 60 t.ha⁻¹. Od tohoto způsobu využití bylo již upuštěno, protože se přešlo na jednostranné krmení skotu (Šantrůček et al. 2007).
- b) **Sklizeň na krmivo LKS** - (Lieschkolbenschrot), v české terminologii také silážovaná drť kukuřičných palic s listy (SDKPL). Tato technologie se objevila v Evropě v 70. letech minulého století zásluhou Dr. Klause Grimma z NSR, který se podílel na vývoji technologií nutných k získání produktů dělené sklizně kukuřice (Křížek 2002). Pro

tuto technologii jsou využívány řezačky se speciálním adaptérem. Produktem jsou drcené palice s listeny, které se konzervují (Beneš 2011).

- c) **Sklizeň na krmivo CCM** – (Corn cob mix) Touto technologií sklízíme drť palic s vřeteny, kterou dále konzervujeme. CCM lze uplatnit ve výživě prasnic a výkrmných prasat za podmínky, že obsah vlákniny v sušině krmiva nepřekročí 5 % (Křížek 2002). Pro ještě větší obsah sacharidů má význam konzervace vlhkého kukuřičného zrna. Sklizeň se provádí sklízecí mlátičkou, zrno je upraveno šrotováním a mačkáním, poté je uloženo ke konzervaci do vaků nebo do hermeticky dokonale utěsněných věží. Výhodou tohoto krmiva je, že obsahuje více energie a je lépe stravitelné (Beneš 2011).
- d) **Sklizeň na siláž** – Kukuřičná siláž je nejvýznamnější energetické objemné krmivo, neboť se zkrmuje celoročně. Je hlavním zdrojem škrobu, který se oproti jiným obilovinám vyznačuje nižší úrovní bachorové degradovatelnosti, a tím větší podíl přechází do střevního trávicího traktu (Zimolka et al. 2008). Procento sušiny silně ovlivňuje procesy při silážování. Pokud je sušina nižší než 25 %, dochází k velkému odtoku silážních šťáv a ke ztrátám živin. Na sušině také závisí délka řezanky. Platí zde zásada: čím vyšší sušina, tím kratší řezanka. Při sušině 27 % by měla být délka řezanky 20 – 25 mm a při sušině nad 32 % 4 - 7 mm (Šantrůček et al. 2007). Pokud siláž, stejně tak seno, vyrobíme kvalitně, můžeme snížit závislost na krmivových koncentrátech (Woolford & Pahlow, 1998).
- e) **Sklizeň na zrno** - Kukuřice na zrno se sklízí při plné fyziologické zralosti. To je, když obsah sušiny zrna dosáhne 65 – 68 %, zrno je tvrdé, lesklé a na bázi má načervenalou skvrnu, která signalizuje konec ukládání živin. V České republice probíhá sklizeň kukuřice na zrno nejčastěji během měsíce října. Za nevhodné je považováno nechávat sklizeň na období, kdy lze očekávat sněhové přeháňky a mráz. Vlivem povětrnostních podmínek je zrno napadáno plísněmi, které dále vytvářejí mykotoxiny, které negativně ovlivňují krmnou hodnotu (Zimolka et al. 2008).
- f) **Další využití kukuřice** - Kukuřice nachází další využití například v lékařství, kde mají upotřebení blizny a olej z klíčků (Valíček et al. 2002) dále ve výživě člověka, v níž je pro své složení živin velmi významná, a měla by proto být součástí každodenní stravy (Shah et al. 2016). Kukuřice je zdrojem antioxidantů a má další známé přínosy při trávení vlákniny a při udržování hladiny glukózy v krvi. Mikrobiální rezistence a hydrofobní potahování proteinu zein se mohou ukázat jako užitečné ve farmaceutickém průmyslu při produkci léků. Dále by mohl být endosperm kukuřice potenciálním hlavním zdrojem důležité HIV protilátky (Arias & Bhatia, 2015).

3.3.1.3 Pěstování kukuřice v České republice

V České republice je kukuřice pěstována především dvěma směry, a to na siláž a na zrno. Při pěstování na siláž je hlavní snahou pěstitel získat z hektaru maximum kvalitního

produktu s vysokým výnosem sušiny a výbornou výživovou hodnotou, a tím zhodnotit optimální dávku v krmných dávkách pro skot (Kůst 2009).

Kukuřičné zrno je komoditou, která je schopna nám poskytnout dobrý ekonomický výsledek. Zařazením zrnové kukuřice do osevního postupu si rozložíme pracovní špičku a také získáme další tržní plodinu (Vavřina 2016).

Tabulka 1: Vývoj ploch a sklizně zrnové kukuřice v ČR od roku 2009 do 2018. (vlastní zpracování) Zdroj ČSÚ

Kukuřice na zrno			
Rok	Osetá plocha (ha)	Celková sklizeň (t)	Výnos (t/ha)
2009	105 268	889 574	8,45
2010	103 276	692 589	6,71
2011	121 006	1 063 736	8,79
2012	119 333	928 147	7,78
2013	96 902	675 380	6,97
2014	98 749	832 235	8,43
2015	79 972	442 709	5,54
2016	86 407	845 765	9,79
2017	85 995	588 105	6,84
2018	81 851	489 154	5,98

Tabulka 2: Vývoj ploch a sklizně kukuřice na zeleno a siláž v ČR od roku 2009 do 2018. (vlastní zpracování) Zdroj ČSÚ

Kukuřice na zeleno a siláž			
Rok	Osetá plocha (ha)	Celková sklizeň (t)	výnos (t/ha)
2009	166 005	6 332 712	38,15
2010	178 608	6 901 650	33,04
2011	186 224	7 781 563	41,79
2012	205 109	8 328 239	40,6
2013	233 815	7 635 367	32,66
2014	237 235	9 577 873	40,37
2015	244 956	7 134 351	29,13
2016	234 396	9 545 239	40,72
2017	223 212	7 777 690	34,84
2018	224 105	6 686 996	29,84

Z tabulky 1 a 2 lze vysledovat vývoj ploch pěstované kukuřice v ČR. Kukuřice pěstovaná na zrno ukazuje propad v plochách mezi roky 2012 a 2015. Tento propad může být vysvětlen propadem ceny zrna ze 4700 Kč/t na 3700 Kč/t a také zvyšující se plochou pěstování silážní kukuřice. V tabulce 2 můžeme sledovat vývoj ploch silážní kukuřice. Zde je vidět velký skok v nárůstu plochy mezi lety 2011 a 2012. Tento nárůst můžeme přisoudit výstavbě mnoha bioplynových stanic a s tím spojené vyšší potřebě objemných krmiv. Dále

v těchto tabulkách můžeme pozorovat výnos zrna (tabulka 1) a výnos zelené hmoty (tabulka 2). V obou variantách směru pěstování můžeme vidět výkyv ve výnosu v roce 2015 a 2018. V těchto letech bylo extrémní sucho, které způsobilo, že výnos kukuřice sklizené na siláž byl pouze 29 t zelené hmoty.ha⁻¹. Přičemž nejlepší průměrný výnos byl v roce 2011 41,79 t zelené hmoty.ha⁻¹. U výnosu zrna lze vidět rovněž propad v letech 2015 a 2018, který lze přisuzovat také extrémnímu suchu. Naopak nejvyššího výnosu zrna bylo dosaženo v roce 2016, a to 9,79 t/ha.

3.3.1.4 Omezení při pěstování kukuřice

Dobrý zemědělský a environmentální stav půdy je standard Evropské unie, který zajišťuje hospodaření na zemědělské půdě v souladu s ochranou životního prostředí. Hospodaření v souladu s Dobrým zemědělským a environmentálním stavem půdy je podmínkou pro poskytnutí přímých podpor v plné výši (eAgri a 2019).

Dobrý zemědělský a environmentální stav půdy se rozděluje do sedmi bodů. Pro tuto diplomovou práci je stěžejní bod pět - Minimální úroveň obhospodařování půdy k omezování eroze. Standard upravuje podmínky pěstování erozně nebezpečných plodin na mírně a silně erozně ohrožených půdách vymezených v evidenci půdy podle uživatelských vztahů. Cílem standardu je ochrana půdy před vodní erozí a předcházení důsledkům eroze, například zaplavení nebo zanesení komunikací a dalších staveb splavenou půdou (eAgri b 2019).

Kukuřice nesmí být pěstována na silně erozně ohrožených půdách. Na mírně erozně ohrožených půdách lze plodiny s nízkou ochrannou funkcí (kukuřici, brambory, řepu, bob soju, slunečnici a čirok) pěstovat pouze s využitím půdoochranné technologie.

3.3.1.4.1 Půdoochranné technologie využitelné při pěstování kukuřice

1. Zakládání porostů do ochranné plodiny nebo rostlinných zbytků.
2. Zakládání porostů po vrstevnici – lze realizovat na dílech půdního bloku do velikosti 35 ha.
3. Strip tillage.
4. Obsetí ochrannými pásy.
5. Aplikace organické hmoty do půdy (eAgri c 2019).

V praxi se při pěstování kukuřice podle mého názoru nejvíce využívají technologie 2. 3. a 4. Budoucnost předpokládám v technologii strip tillage, protože tato technologie kombinuje intenzivní zpracování půdy v pásech s půdou nezpracovanou. Tato technologie byla zařazena mezi půdoochranné v roce 2015. Zatím není mezi zemědělci moc rozšířena, ale určitě najde uplatnění u zemědělců hospodařících v kopcovitéjším terénu.

Technologie č. 5 je vázaná na živočišnou výrobu. Vzhledem k tomu, že mnoho zemědělských podniků živočišnou výrobu nemá, tuto technologii praktikovat nemůže. Lze ji využít za předpokladu, že hnuj v minimální dávce 25 t/ha bude nakupovat. Tato praktika se ale z ekonomického hlediska nevyplatí.

3.3.1.5 Tvorba výnosu kukuřice

Kukuřici řadíme podle fotosyntetického cyklu mezi rostliny C 4, tj. mezi tropické trávy, což je základem její vysoké produktivity. Z jednoho zasazeného semena produkuje 600–1000 semen, zatímco pšenice pouze 50. Nevýhodou kukuřice je, že nedokáže odnožovat, a tudíž nemá schopnost kompenzovat redukci rostlin v porostu zvýšením počtu produktivních odnoží. Výhodou však je to, že je možné organizaci porostu přesně regulovat (Petr et al. 1980).

Celkový růst rostlin je výsledkem záření zachyceného pomocí listů, účinností zachyceného záření a trvání zachytávání záření. Toto trvání je ovlivňováno fází zralosti a okamžitým množstvím zelené plochy listů. Kumulativní zachytávání záření závisí na pokryvnosti listoví a času, po který dopadá sluneční záření (Birch et al. 1999). Výnos rostliny a porostu se během ontogeneze tvoří v procesu fotosyntézy, růstu a vývoje. Všechny ostatní fyziologické procesy, jako minerální výživa, vodní režim atd., mají na výnos takový vliv, do jaké míry ovlivňují zmíněné procesy. Cílem pěstování kukuřice na siláž je jak vysoký výnos sušiny na 1 ha, tak i určitý podíl palic (Petr et al. 1980).

Výnos zrna je závislý na hybridech, organizaci porostu (počet rostlin na plošnou jednotku), na hnojení, vodním režimu, ošetřování porostu a na stanovišti. Velmi významná je interakce těchto faktorů. Hlavními výnosotvornými prvky zrnové kukuřice jsou počet palic na jednu rostlinu, průměrný počet zrn na jednu rostlinu a průměrná hmotnost zrna na jednu rostlinu (Petr & Húska 1997).

Vyšší koncentrace oxidu uhličitého, vyšší průměrná teplota a delší vegetační doba mohou mít vliv na výnos plodin. Naopak sucho, tepelný stres, přivalové deště, vysoká koncentrace ozonu mohou výnos snižovat. Dostupnost vody k rostlině vede ke snížení citlivosti na teplotu. (Peichl et al. 2019).

3.3.1.5.1 Volba hybridu

Rostlinná hmota nových hybridů se zvýšila o 44 %, zatímco sklizňový index se zvýšil pouze o 9 % ve srovnání se staršími hybridy. Nové hybridy po odkvětu produkovaly více suché hmoty než starší. Celkově novější hybridy vykazují vyšší výnos zrna než hybridy starší, ne protože by měly vyšší rychlost fotosyntézy nebo že by jejich fotosyntéza probíhala lépe, ale proto, že mohou optimálně regulovat tempo fotosyntézy a procesy tvorby výnosu pro jeho maximalizaci (Ding et al. 2007).

Ranost hybridu je charakterizována číslem FAO. Jde o číslo hybridu vypočítávané na základě středního obsahu sušiny v palici v době zralosti kukuřice na siláž a ve srovnání s kontrolními hybridy. Odchylka o 1 % odpovídá 10 FAO jednotkám. V České republice se udává číslo FAO na siláž S a na zrno Z (Zimolka et al. 2008). U nás zkoušené a pěstované hybridy mají číslo FAO v rozmezí od 190 do 400. Čím je toto číslo nižší, tím je hybrid ranější (Třináctý et al. 2012). Pro bramborářskou výrobní oblast jsou doporučovány hybridy s číslem FAO 160 – 250, pro výrobní oblast řepařskou pak hybridy skupiny FAO 250 – 300. V kukuřičné oblasti lze pěstovat hybridy s číslem FAO až 400. Ranější hybridy nebývají tolik zasahovány letním přísuškem a snáze dosahují požadovaného stupně zralosti. Jsou však méně výnosné než hybridy pozdnější (Fukša & Kalista 2006).

Rozdělení hybridů na Flint a Dent:

Toto dělení vychází z poměru tvrdého (sklovitého) a měkkého endospermu. Tvrdý endosperm potřebuje delší dobu na změknutí. Má tedy menší degradovatelnost škrobu v batoru (Třináctý et al. 2012).

Podle fyziologických vlastností rozlišujeme hybridy:

- 1. Rychle dozrávající** – rostliny se vyznačují rychlým nárůstem sušiny a velmi častým zasycháním rostliny. Jsou vhodné pro pěstování především v chladnějších a vlhčích oblastech.
- 2. Rovnoměrně dozrávající** – přechodné formy, vyznačují se postupným dozráváním.
- 3. Stay green** – vyznačují se dlouho zelenými rostlinami, které jsou fotosynteticky aktivní až do sklizně. Jejich předností je kontinuální tvorba škrobu, vyšší výnos zrna, odolnost vůči houbovým chorobám a poskytují více času na sklizeň (Fuksa & Kalista 2006). Stay green hybridy jsou také odolnější vůči biotickým a abiotickým stresům, včetně tolerance k suchu (Belicuas et al. 2014). Nárůst výnosů kukuřice v posledních deseti letech byl spojen se šlechtěním pro snášenlivost vyšší hustoty rostlin v porostu. Při vyšší hustotě rostlin v porostu dochází ke konkurenci o vodu, živiny a světlo. Do těchto podmínek jsou vhodné stay green hybridy, protože pomaleji dozrávají a jsou schopny lépe využít dostupné zdroje. V pokusech s různou hustotou rostlin si stay green hybridy vedly velmi dobře, protože v místech s omezeným přístupem záření udržely listy zelené (Antonietta et al. 2014).

Podle anatomické stavby palice rozlišujeme hybridy:

- 1. S fixním počtem zrn v palici** – celkový počet zrn v palici je dán geneticky a nemění se ani vlivem prostředí, ani pěstitelskými zásahy. Výnos zrna je určen počtem palic. Nepříznivé podmínky mohou snížit hmotnost zrna.
- 2. S flexibilním počtem zrn v palici** – za optimálních podmínek je palice ozrněna celá od špičky. Za nepříznivých podmínek (nedostatek živin, vody, atd.) se palice zkracuje a nevytváří zrna (Fuksa & Kalista 2006).

3.3.1.5.2 Požadavky kukuřice na prostředí

Nejdůležitějšími faktory při pěstování kukuřice jsou podnebí a dostatek vody. V porovnání s ostatními plodinami je kukuřice na podmínky stanoviště nenáročná. Méně vhodná a nevhodná stanoviště pro pěstování kukuřice jsou zhutněné a zamokřené půdy, které brání rychlému zahřívání na jaře a půdy zhutněné či mělké, kde je znemožněn intenzivní růst kořenů a příjem vody a živin (KWS a 2019).

Kukuřici je možno vysévat v relativně širokém časovém rozpětí. Standartní hranice pro začátek setí je dána teplotou půdy 8 – 10 °C, která je zároveň optimální pro klíčení kukuřice. Tomu odpovídá termín od poloviny dubna do cca 15. května (Zimolka et al. 2008).

Hloubka setí je 4 – 6 cm. Ve velmi suchém a teplém jaru je lepší sít kukuřici hlouběji (8 – 10 cm), takzvaně na vodu. Ve vlhkém a studeném jaru se musí naopak dávat pozor, aby se semeno neutopilo a nezamazalo (Prokeš et al. 2009).

Setí kukuřice předčasně může mít za následek například pomalé klíčení, opožděné a nerovnoměrné vzcházení, snížení ochranné funkce mořidla, zpomalený růst kořene,

sníženou absorpci živin. Naopak pozdní setí kukuřice může mít vliv na rychlou klíčivost, rychlý růst malých rostlin, zvýšení rizika polehání, nedostatečně se využije délka vegetačního období, nedostatečně se uloží škrob, což sníží kvalitu kukuřičné siláže (KWS b 2019).

3.3.1.5.3 Organizace porostu

Optimální hustota porostu představuje významné opatření vedoucí k lepšímu využití výnosového potenciálu daného hybridu a ke stabilizaci výnosu (Prokeš et al. 2009).

Doporučená meziřádková vzdálenost je 70 až 75 cm. Zajišťuje dostatek světla pro fotosyntézu, prohřívání půdy a minimální ztráty při sklizni řádkovými adaptéry. Hustota porostu závisí na užitkovém směru a vlastnostech použitého hybridu. Doporučená hustota porostu klesá s prodlužující se vegetační dobou hybridů. V klimatických podmínkách ČR se hustota porostů pohybuje od 7 do 11 rostlin na m² (Zimolka et al. 2008).

3.3.1.5.4 Výživa a hnojení kukuřice

Kukuřice vyžaduje vyváženou výživu porostu. Počátek vegetace je charakterizován velmi pomalým růstem a nízkým odběrem živin. První měsíc kukuřice odčerpá z hektaru 3,3 – 5,6 kg dusíku, kdežto v období před mléčnou zralostí toto množství přijme za jeden den. Optimální výživa je jedním z faktorů, který může ovlivnit nárůst kořenového systému. Přímou vazbu k růstu kořenů mají především dusík a fosfor. V případě deficitu není dostatečně využit genetický potenciál hybridu (Prokeš et al. 2009).

Po hnojení kompostem z chlévského hnoje vykazuje v druhém roce půda vyšší pH, vyšší obsah organické hmoty a kationtové výměnné kapacity. Celková koncentrace fosforu, draslíku, sodíku a vápníku na kompostem hnojených půdách byla vyšší, než na půdách hnojených pouze minerálními hnojivy. Kompost nezpůsobuje znečištění těžkými kovy (Gil et al. 2007).

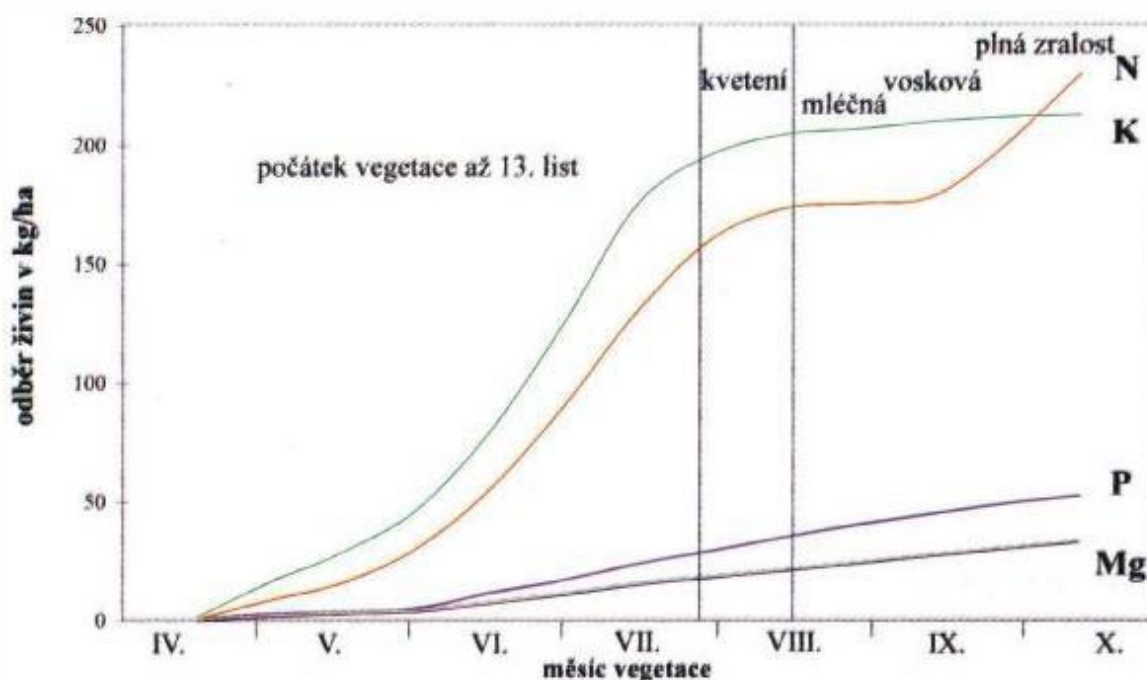
Výživa dusíkem: Při nedostatku dusíku jsou rostliny světle zelené, spodní listy začínají žloutnout a usychat. Důsledkem je zkrácená délka palic, snížený počet zrn v palici a malá HTZ. Při přehnojení dusíkem jsou rostliny temně zelené a do generativní fáze nastupují později, čímž se výrazně snižuje klíčivost zrn, která je významná především u množitelských porostů (Zimolka et al. 2008). Rozhodující část dusíku se aplikuje před setím, ale vysoký příjem rostlinami je až v období intenzivního růstu cca za 8 – 10 týdnů. Dynamiku odběru živin lze sledovat na grafu č. 1. Obava ze ztráty dusíku a snaha přesunout hnojení během vegetace je zcela oprávněná, ale běžné přihnojení dusíkatými hnojivy během vegetace vede většinou k poškození porostů a pozdní přihnojení také prodlužuje vegetaci, což má za následek nižší podíl sušiny při sklizni. Z ekologického a ekonomického hlediska je nejlepší hnojit ve dvou termínech: **Před setím** dávkou až 120 kg N/ ha v sušších podmínkách a v humidnějších okolo 70 kg N / ha. **Přihnojení během vegetace** se provádí především na půdách lehčích, v oblastech s vyššími srážkami a v období, kdy porosty dosahují výšky 20 – 40 cm (Vaněk et al. 2016).

Růst a vývoj obilovin je více ovlivňován krycími plodinami než aplikovaným dusíkem. Obecně platí, že celková stabilita půdních agregátů byla vyšší tam, kde se pěstovaly krycí plodiny, než tam, kde krycí plodiny nebyly vůbec (Dapaah & Vyn 1998).

Výživa fosforem: Kukuřice je plodinou náročnou na fosfor zejména v počátku svého růstu. Proto je třeba zajistit jeho optimální množství v celém půdním profilu (Zimolka et al. 2008)

Při určování dávky fosforu se vychází z rozborů půd. Kritické období pro jeho příjem je v době než se vytvoří dostatek kořenů. Nejlépe je aplikovat fosforečné hnojivo současně se setím, takzvaně pod patu, kdy je hnojivo aplikováno asi 4 – 5 cm pod úroveň výsevu osiva a asi 4 – 5 cm do strany (Vaněk et al. 2016). Nejčastěji se nedostatek fosforu projevuje u mladých rostlin špinavě zeleným zabarvením pat stébel a listů, které velmi často přechází do červeného až fialového nádechu, který je způsoben vyšší tvorbou anthokyanů (Balík et al. 2001).

Výživa draslíkem: Draselnými hnojivy se hnojí zpravidla na podzim nebo před setím. Vhodná je aplikace před orbou, kdy dosáhneme lepšího rozmístění draslíku v půdním profilu (Zimolka et al. 2008). Vhodnými hnojivy jsou především draselné soli (Vaněk et al. 2016).



Graf 1: Dynamika odběru živin kukuřice (Zdroj: Mach 2017)

3.3.1.5.5 Fotosyntetická aktivita

Je velmi dobře známo, že fotosyntéza je základem tvorby výnosu (Ding et al. 2007). Při fotosyntéze je energie záření přeměňována na energii chemických vazeb. Každému molu přijatého oxidu uhličitého odpovídá zisk potenciální energie přibližně 477 kJ. Fotosyntéza zahrnuje fotochemické procesy, které probíhají za přítomnosti světla, enzymatické procesy nevyžadující světlo (temnostní fáze) a procesy difúze, které umožňují výměnu oxidu uhličitého a kyslíku mezi chloroplasty a vnějším vzduchem (Larcher 1988).

Kukuřici řadíme mezi rostliny C4. U těchto rostlin dochází k vazbě HCO_3^- na fosfoenolpyruvát enzymem fosfoenolpyruvátkarboxylázou za vzniku oxalacetátu, tedy čtyřuhlíkaté sloučeniny, a proto označení C4 rostliny. Bylo prokázáno, že rostliny typu C4 mají všechny enzymy Calvinova cyklu. Fixace oxidu uhličitého (CO_2) zde probíhá dvakrát. Atmosférický CO_2 je nejprve fixován v buňkách mezofylu, a to v cytoplazmě PEPkarboxylázou. Vzniklý oxalacetát se mění na malát a je transportován do buněk cévních svazků. Zde je dekarboxylací uvolněn CO_2 a znovu fixován, tentokrát Calvinovým cyklem. Metabolismus C4 rostlin je spjat se specifickou strukturou listu. Buňky pochev cévních svazků mají silné stěny s minimem interceluár. Přitom jsou četnými plazmodezmami propojeny s buňkami mezofylovými. Specifita metabolismu rostlin C4 spočívá v tom, že představuje funkční spojení přenosu CO_2 do buněk pochev cévních svazků s jeho hromaděním v místech karboxylace RuBPkarboxylázou (Procházka et al. 1998).

Oproti rostlinám C3 je fotosyntéza C4 rostlin efektivnější při vyšších teplotách. Proto se největší počet těchto rostlin vyskytuje v oblastech s teplejším klimatem (Taiz & Zeiger 2006).

3.3.1.5.5.1 Charakteristické vlastnosti C4 rostlin:

- Vyskytují se na sušších stanovištích s vysokou intenzitou slunečního záření a nízkou relativní vzdušnou vlhkostí.
- Z hlediska anatomické stavby listů obsahují mezofyl s parenchymatickými pochvami kolem cévních svazků.
- Vykazují dimorfismus chloroplastů – v buňkách mezofylu chloroplasty s grany a bez škrobových zrn, chlorofyl a:b = 3 : 1, v buňkách pochev cévních svazků chloroplasty bez gran a s velkými škrobovými zrny, chlorofyl a : b = 5 : 1.
- Enzymy fixující CO_2 jsou zde 2, to PEPkarboxyláza a Rubisco, které jsou lokálně oddělené.
- Primárním produktem CO_2 je oxalacetát.
- Minimální potřeba energie pro fixaci jedné molekuly CO_2 je 5ATP a 2NADPH (Procházka et al. 1998).
Kvůli vyššímu požadavku energie C4 rostliny fotosyntetizují při podmínkách nevhodných pro fotorespiraci (mnoho CO_2 a málo O_2), vyžadují větší množství světla na množství CO_2 než C3 rostliny (Taiz & Zeiger 2006).
- Fotosyntéza klesá při teplotě pod 10 °C, teplotní optimum je v rozmezí 25 – 40 °C
- Maximální rychlost růstu je 4 – 5 g sušiny na 1 dm² za den. C4 rostliny se vyznačují největším přírůstkem sušiny za daný časový interval (Procházka et al. 1998).

3.4 Reakce rostliny na sucho

Přestože se globální teplota na Zemi již zvýšila, přepokládá se, že v dalším století dále poroste. Očekává se, že roční maximální denní teploty se globálně zvýší do poloviny 21. století o 3°C a do konce 21. století o 5°C. To by mělo za následek častěji se opakující extrémní sucha v mnoha částech světa (Okunlola et al. 2017). Sucho výrazně ovlivňuje růst a vývoj rostlin. Dochází k výraznému snížení rychlosti růstu a rychlosti ukládání biomasy.

Hlavním důsledkem sucha v kulturních rostlinách je snížená míra buněčného dělení, menší velikost listu, menší prodloužení stonků a proliferace kořenů. Dále dochází k narušení stomatární oscilace a vodního režimu rostliny (Farooq et al. 2012). Rostoucí teploty, které překračují optimální hodnotu pro růst rostlin, jsou považovány za škodlivé pro rostlinnou výrobu, což vede k pochybnostem o udržitelnosti zemědělství a zajištění potravin. Zatímco klima hraje rozhodující roli pro růst a produkci rostlin, manažerské postupy, jako zavlažování, hnojení, změny v datu výsadby nebo v kultivarech, jsou také velmi důležité faktory ovlivňující produktivitu v zemědělských systémech (Hsiao 2019).

Ze všech abiotických faktorů ovlivňujících růst a produktivitu rostlin na kontinentech naší planety stojí na prvním místě nedostatek vody. Voda má oproti minerálním živinám velmi rychlý koloběh v ekosystémech a její zásoba v rostlinách i v půdě stačí pouze na velmi krátkou dobu. Doplnění vody srážkami bývá obvykle nepravidelné, náhodné, a může tedy docházet k větším periodám sucha (Procházka et al. 1998). Rostliny nasávají vodu z půdy jen tehdy, má-li vodní potenciál jejich jemných kořínků větší absolutní hodnotu tj. je nižší než vodní potenciál půdního roztoku. Rychlost příjmu vody je tím větší, čím větší je absorpční povrch kořenového systému a čím snáze mohou kořeny vodu z půdy odebírat (Larcher 1988).

Vodní stres, kterému je rostlina vystavena, se hodnotí velmi těžko. Při jeho hodnocení se vychází ze stavu vody v rostlině, např. vodního potenciálu buněk či jejich vodního sytostního deficitu. Údaje o vodě v prostředí (vlhkosti půdy a vzduchu, vodním potenciálu půdy) jsou pro určování vodního stresu málo spolehlivé.

K udržení maximální rychlosti růstu je zapotřebí udržet plně turgescenční stav buněk, což se v denních hodinách daří pouze zřídka. Příjem oxidu uhličitého pro fotosyntézu otevřenými průduchy je obvykle spojen s velkou ztrátou vody, kterou nelze okamžitě nahradit. Nejvíce postižené bývají zpravidla listy. U běžných mezofytních druhů rostlin indikují mírný vodní stres hodnoty vodního potenciálu do $-0,5$ MPa. Při hodnotách pod $-1,5$ MPa jde o stres velmi silný, při kterém klesá turgorový tlak v buňkách listu na nulu a listy začínají vadnout (Procházka et al. 1998).

Nemůže-li už rostlina snížit svůj vodní potenciál pod hodnotu vodního potenciálu půdy, trvale vadne, tj. nevrací se do původního stavu ani v noci, ani je-li chráněná před výparem. Kritická hodnota se nazývá bod trvalého vadnutí (Larcher 1988).

Nejcitlivější reakce na nedostatek vody bývá pravidelně zjišťována u dlouhivého růstu buněk postižených orgánů, neboť rychlost růstu je od jisté prahové hodnoty lineárně závislá na turgorovém tlaku.

Ke zpomalení růstu dochází už při velmi malé ztrátě vody, kdy turgor klesne pouze o $0,1$ až $0,2$ MPa (tomu odpovídá pokles vodního potenciálu přibližně na $-0,1$ až $-0,2$ MPa). K úplnému zastavení růstu dochází při poklesu turgoru na prahovou hodnotu pro růst, která leží obvykle mezi $0,3$ – $0,4$ MPa. K zastavení růstu dojde dříve než ke zjevnému vadnutí listu či k ovlivnění hlavních metabolických procesů. V důsledku toho se v rostlině hromadí asimiláty (Procházka et al. 1998).

Sucho také snižuje pokryvnost listoví, tím se snižuje plocha listů v důsledku předčasného stárnutí. Všechny tyto faktory přispívají ke snížení akumulace sušiny a zároveň snížení výnosu hlavního produktu (Farooq et al. 2012). Při dalším poklesu vodního potenciálu buněk na hodnotu přibližně $-0,2$ až $-0,8$ MPa dochází ke změnám v aktivitě enzymů. Aktivita některých klesá (například nitrátreduktázy), jiných naopak stoupá (alfa amyláza,

ribonukleázy). To má za následek změny v rychlosti mnoha procesů. Dochází například ke zrychlení hydrolýzy škrobu či ke zpomalení redukce nitrátů. Dále je snížena tvorba cytokininů a zpomaluje se buněčné dělení.

Přibližně ve stejných hodnotách vodního potenciálu dochází ke zvýšení koncentrace kyseliny abscisové (Hussain et al. 2008). Zvyšující se koncentrace kyseliny abscisové způsobuje zavírání průduchů rostlin. Při nedostatku vody patří kyselina abscisová k významným mediátorům exprese genů pro stresové proteiny (Bláha et al. 2003).

Uzavřením průduchů dochází ke snížení rychlosti výměny plynů, a tím i ke snížení rychlosti fotosyntézy a transpirace (Hussain et al. 2008).

Při ještě větším poklesu vodního potenciálu na hodnotu – 1,0 MPa dochází k tvorbě aminokyseliny prolinu. Hlavním významem této syntézy je zřejmě zvýšení osmotického tlaku v buňce. (Procházka et al. 1998). Prolin zde působí i jako chaperon, který má za úkol stabilizaci struktury proteinů, čímž je rostlina chráněna před poškozením způsobeným stresem (Szabados & Savoure 2010).

Jestliže se vodní potenciál stále snižuje na hodnoty až – 2,0 MPa, dochází k vážným metabolickým změnám. Rychlost fotosyntézy klesne na nulu a zpomalí se i transportní procesy v buňkách. Aktivita hydrolytických procesů se obvykle zvyšuje. To umožňuje rostlinám i při velkém vodním deficitu mobilizovat rezervy organických látek ve starších orgánech a přesunout je do mladších, zejména pak do generativních orgánů k dokončení reprodukčního procesu (Procházka et al. 1998). Vodní stres během vegetativní periody rostliny snižuje ekonomický výnos, zatímco vodní stres během reprodukční periody rostliny je mnohem devastující. Dochází k pylové sterilitě, která má za následek omezenou tvorbu zrn (Hussain et al. 2008).

Pokud se vodní deficit stále prodlužuje, bývá zničena struktura membrány, což má za následek destrukci selektivní propustnosti. Malondialdehyd je koncovým produktem peroxidace lipidů a je považován za indikátor sucha a jiných stresů (Cheng et al. 2018).

Pokud v této pokročilé fázi dojde k doplnění ztrát vody, všechny buněčné funkce se postupně vracejí do normálního stavu, tento proces však trvá několik dní. V případě ještě delšího trvání stresu může dojít k vážným změnám funkce membrán a poté až k odumření orgánu či celé rostliny (Procházka et al. 1998).

Kukuřice je přizpůsobena široké škále prostředí, je nicméně nejproduktivnější v optimálních podmínkách prostředí, ale je vysoce zranitelná vůči různým stresům. Mnoho studií dokazuje, že vodní stres rostlin kukuřice snižuje fotosyntetickou aktivitu. Uzavření průduchů snižuje ztráty vody z rostliny a zároveň snižuje množství přijímaného oxidu uhličitého, což redukuje rychlost fotosyntézy. Vodní stres způsobuje změny v rostlině i na molekulární úrovni. V poslední době je výzkum rostlin založený na výzkumu molekulárních změn, které způsobuje vodní stres. Tyto změny jsou porovnávány s genotypy rostlin citlivých k vodnímu stresu a s genotypy rostlin tolerantních k vodnímu stresu. Analýzy dokáží určit protein, který je přímo odpovědný za snášenlivost vůči suchu. (Kim et al. 2019).

3.5 Biologická fixace dusíku

3.5.1 Čeleď *Fabaceae*

Jde o dřeviny nebo byliny se střídavými, palistnatými, většinou složenými listy, často zakončenými úponkou nebo hrotem. Květy v hroznovitých květenstvích mají tyčinky volné nebo srostlé, dvoubratré nebo jednobratré, korunní lístky, které se označují jako pavéza, 2 křídla a člunek vzniklý srůstem dvou lístků. Významná je u nich symbióza s bakteriemi rodu *Rhizobium*. Rozšířeny jsou téměř po celém světě (Novák & Skalický 2012).

Studie prokázaly, že v částech světa, kde se konzumuje luštěnina jako základní potravinu, se vyskytuje nižší úmrtnost na rakovinu než v jiných částech světa. Bylo také popsáno, že fytochemické látky těchto rostlin inhibují karcinogenezi v různých stádiích. Použití těchto složek současně s tradiční chemoterapií může mít synergické účinky, které pomáhají v boji proti rakovině (Sharma et al. 2017).

3.5.1.1 Hrách setý (*Pisum sativum*)

Hrách setý je důležitou plodinou mezi luštěninami. Má celosvětový ekonomický význam jako zdroj bílkovin pro výživu lidí a zvířat. Hrách má dobře vyvinutou genetiku a používá se také jako modelová rostlina pro sledování fyziologie a biochemie (Schroeder 1993). Stonek je lodyha, poléhavý, dlouhý až 2 metry. Je dělen na články (internodia). Kořen je silný, kulový a větvený. Je dlouhý až 1 metr. List je sudozpeřený s úponky a palisty na bázi řapíků (odrůdy jsou i lichožpeřené, mnoholístkové a často bezlístkové = lístky přeměněné v úponky). Květenství je hrozen v úžlabí řapíků. Plodem je lusk, který má dvě chlopně. Semena přirůstají k hřbetní straně lusku poutkem (Pulkrábek & Capouchová 2019). Hrách byl pěstován po tisíciletí kvůli nízkým hladinám toxinů v semenech a relativně vysokému obsahu bílkovin - 25 % (Maxted & Ambrose 2001).

Hrách setý můžeme klasifikovat podle následujících kritérií:

- Polní hrách zajišťuje krmivo pro dobytek.
- Tržní hrách je sklizený na lusky jako zelenina pro lidskou spotřebu.
- Popínavý hrách je určen pro konzervování nebo zmrazování (Cousin 1997).

Hrách se ve světě pěstuje jako zelenina na lusky nebo jako plodina na semeno. Produkce v roce 2017 se pohybovala okolo 16 milionů tun hrachu na semeno a okolo 20 milionů tun lusků. Průměrný světový výnos zrna hrachu se pohybuje kolem 1,9 t/ha. (Faostat 2019).

V tabulce č. 3 lze sledovat vývoj ploch a hektarový výnos hrachu pěstovaného v České republice od roku 2009.

3.5.1.1.1 Původ hrachu

Hrách byl znám již v pravěku. Hrách pocházející z doby kamenné byl nalezen při vykopávkách v Aggeteleku v Maďarsku a v jezerech ve Švýcarsku. Ve Francii v jezeře Bourget exhumovali hrách z příbytku patřícího do doby bronzové. Hrách pravděpodobně pochází z Habeše a Afghánistánu. Z těchto oblastí se dostal do dalších částí Evropy a Asie. Botanici popsali divoké druhy, které se liší od kultivovaných pouze morfologickými znaky.

Tyto druhy jsou často vyšší, mají tenčí rozvětvené stonky, fialové nebo růžové květy a malé lusky produkující malé množství semen s barevným osemením (Cousin 1997).

3.5.1.1.2 Složení semene hrachu

Škrob je hlavní složkou semene hrachu. Vyskytuje se v několika formách. Hladkosemenné odrůdy mají kulatá škrobová zrna, vrásčité odrůdy mají škrobová zrna složená. Tato vlastnost je řízena jedním genem. Každá odrůda má jasně definovaný obsah škrobu, stejně tak i složení amylozy a amylopektinu. Další důležitou složkou semen je bílkovina, její množství se pohybuje v rozmezí od 26 do 33 % u vrásčitých odrůd a od 23 do 31 % u hladkosemenných odrůd. V semenech hrachu je také rozpustný cukr. Jeho množství je závislé na genotypu rostliny (Cousin 1997).

3.5.1.1.3 Pěstování hrachu setého v České republice

Tabulka 3: Plochy hrachu pěstovaného v ČR od roku 2009 (vlastní zpracování zdroj: ČSÚ)

Rok	Plocha (ha)	Hektarový výnos (t/ha)
2009	21 147	2,45
2010	24 391	1,98
2011	17 189	3,05
2012	15 068	2,04
2013	12 934	2,37
2014	14 449	2,96
2015	23 876	3,27
2016	26 601	2,58
2017	34 793	2,51
2018	29 087	2,43

3.5.1.1.4 Využití hrachu

V lidové medicíně je hrách využíván jako diuretické a protizánětlivé činidlo (Kovaleva & Kovalev 1985). Hrách představuje důležitý zdroj krmiva pro hospodářská zvířata a také zdroj potravy pro lidstvo (Cousin 1997).

3.5.1.2 Lupina bílá (*Lupinus albus*)

Lupina bílá je jednoletá luštěnina, která se pěstuje kolem Středozevního moře a podél Nilu. Využívá se pro lidskou spotřebu, zelené hnojení a jako pícnina (Huyghe 1997). Většina lupin dosahuje výšky 30 – 150 cm. Některé mohou dosahovat výšky až 3 m, a některé andské druhy se pěstují dokonce jako stromy. Listy jsou dlanitě složené, měkké a složené z 5 – 28 lístků. Plody jsou typické lusky s tvrdě potaženými semeny. Semena se v zemědělské praxi řadí mezi větší (Gresta et al. 2017). Hmotnost tisíce semen se pohybuje okolo 350 – 500 g (Skládanka & Vrzalová 2006). Vzhledem k obsahu bílkovin je lupina bílá vhodná jako strava

přežvýkavců. Optimální půdy pro její pěstování jsou neutrální nebo kyselé s dlouhou vegetační dobou vyskytující se v mírně teplé oblasti. V západní Evropě se sejí ozimé formy, ve střední Evropě se dává přednost jarním formám. (Huyghe 1997).

Lupina je velmi rozmanitý rod s mnoha druhy, avšak pouze čtyři jsou pěstovány: *Lupinus albus*, *Lupinus angustifolius*, *Lupinus luteus* a *Lupinus mutabilis* (Abraham et al. 2019). Mnoho ostatních druhů lupin – například *Lupinus cosentinii*, *Lupinus pilosus*, *Lupinus hispanicus* je nevyužitých, ale představují potenciální kultivované rostliny (Gresta et al. 2017).

3.5.1.2.1 Původ a genetické zdroje lupiny

Lupina bílá je druhem především starého světa. Nejvíce rozšířena byla okolo Středozevního moře a v údolí podél Nilu. V těchto oblastech je pěstována po tisíce let. Tyto staré populace tvoří genetické zdroje druhu. Všechny tyto druhy jsou hořké a s neurčitým růstovým habitem. Velikost oblasti pěstování, s tím spojené různé podmínky pro pěstování (klimatické, půdní) vedly k široké variabilitě morfologických znaků (velikost semen, složení semen, snášenlivost vůči stresu) (Huyghe 1997).

3.5.1.2.2 Pěstování lupiny v České republice

V tabulce č. 4 můžeme vidět vývoj ploch osetých lupinou. Výměra je značně kolísavá. Nejmenší výměra byla pěstovaná v roce 2013 pouze 1371 ha. Naopak největší v roce 2017 4536 ha. Tato extrémní výměra může být způsobena tím, že některé podniky, zaměřující se na produkci mléka, se přeorientovaly na jiné bílkovinné krmivo než sóju. Toto rozhodnutí bylo způsobeno tím, že mlékárny nechtěly vykupovat mléko od krav, které jsou krmeny GMO sójou. Proto se v mnoha podnicích nahradila dovážená sója vlastní vypěstovanou lupinou.

Tabulka 4: Plochy lupiny pěstované v ČR od roku 2009 (vlastní zpracování zdroj ČSÚ)

Rok	Plocha (ha)	Hektarový výnos (t/ha)
2009	1 927	1,13
2010	2 097	1,22
2011	1 547	2,15
2012	1 408	1,75
2013	1 371	1,57
2014	2 106	1,79
2015	2 550	1,41
2016	2 969	1,97
2017	4 536	1,52
2018	2 977	1,62

3.5.1.2.3 Tolerance k vodnímu stresu

Pokud je lupina postižena vodním stresem, tak byla sklízena od 16. do 27. června. Naopak lupina pěstovaná ve vhodných podmínkách byla sklízena v období 4. až 15. července.

Rostliny, které trpěly vodním stresem, vykazovaly výnos suchých zrn o 79 % nižší oproti rostlinám pěstovaným v příznivých podmínkách. Vodní stres dále snížil sklizňový index o 9 % a zároveň docházelo ke dřívějšímu kvetení o 1,5 dne (Annicchiarico 2018).

3.5.1.2.4 Využití Lupiny bílé

V poslední době zaujímají luštěniny klíčovou pozici v potravinářském a farmaceutickém průmyslu, a to nejen kvůli výživové hodnotě, ale především pro nepříznivé i příznivé účinky, kterými působí na lidské tělo. Z výživového hlediska je protein obsažený v semenu lupiny bílé z 90 % shodný s vaječným proteinem. Protein lupiny však může způsobovat alergické reakce, z toho důvodu je plodina zařazena na list potenciálních alergenů (Gresta et al. 2017).

Živočišná výroba v Evropské unii je vysoce závislá na dovážené sóje. Lupina by mohla být významným udržitelným zdrojem bílkovin pro krmení zvířat. Sektor živočišné výroby tvoří největší část trhu s rostlinnými bílkovinami v Evropské unii, která produkuje nedostatek rostlinných bílkovin, zvláště sóji. V roce 2017 bylo v zemích Evropské unie vyprodukováno pouze 5 % poptávky. Z toho vyplývá, že Evropská unie je největším importérem sóji. (Abraham et al. 2019).

3.5.1.2.5 Složení semene Lupiny bílé

Obsah bílkoviny v semenu lupiny se pohybuje od 33 % do 47 %. Záleží na genotypu a lokalitě pěstování. Bílkovina obsažená v lupině má velké množství lyzinu a malé množství aminokyselin obsahujících síru (Erbaş et al. 2005). Množství oleje se pohybuje od 6 % do 13 %. Tento olej má vysokou koncentraci polynenasycených mastných kyselin (Huyghe 1997). Aktivita inhibitoru trypsinu je u lupiny bílé velmi nízká - v rozmezí od 0,1 do 0,2 g/kg. Některé odrůdy lupiny nemohou být konzumovány přímo, protože obsahují chinolizidinové alkaloidy, především spartein a lupanin. Tyto alkaloidy dávají lupině specifickou hořkou chuť a způsobují dýchací potíže a poškození jater. Přítomnost alkaloidů v nízkých koncentracích je netoxická. Většina alkaloidů v lupině je rozpustná ve vodě. Například hladina lupaninu může být snížena při máčení v tekoucí vodě až na 0,04 %. Také je zde možnost pěstovat sladké odrůdy lupiny s nízkým obsahem alkaloidů. Obsah alkaloidů se u těchto odrůd pohybuje v rozmezí 0,008 – 0,012 % (Erbaş et al. 2005).

Program šlechtění lupiny v Německu je zaměřen na produktivitu (výnos semene, výnos čistého proteinu, počet lusků na rostlině, počet semen v lusku, hmotnost tisíce semen), na výnosovou stabilitu (toleranci vůči mrazu a suchu, odolnost polehání, rezistenci pukání lusků, toleranci k půdnímu pH, brzkému a stejnoměrnému dozrávání), na rezistenci vůči chorobám (*Colletotrichum*, půdním houbovým patogenům) a na kvalitu semena (kvalitu proteinu, antinutriční látky, alkaloidů, fytoestrogenů, kvalitu oleje) (Gresta et al. 2017).

3.5.2 Fixace molekulárního dusíku

Schopnost biologické fixace dusíku je omezena na organismy s prokaryotickou buňkou, a to na bakterie a modro-zelené řasy (*Cyanobacteria*). Zemědělsky významná fixace dusíku je

prováděna bakteriemi *Eubacteria*, mnohé z nich jsou heterotrofní, závislé na zásobě redukováného uhlíku (*Azospirillum*). Ostatní jsou autotrofní a schopné redukovat oxid uhličitý (*Anabaena*). (Marschner 1995). Bakterie patřící do rodu *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, a *Azorhizobium* žijí v půdě volně, ale také symbioticky v hlízkách na kořenech leguminóz, kde fixují vzdušný dusík (Gage 2004).

Na základě rychlosti růstu existují dvě skupiny Rhizobií, rychle rostoucí rod *Rhizobium* a pomalu rostoucí rod *Bradyrhizobium*.

Fixace biologického dusíku probíhá třemi strategiemi: symbiózou, asociací a volně žijícími organismy vázajícími dusík. Symbiotický systém má v průměru nejvyšší fixační schopnost, protože je z rostliny získávána nejen energie, ale také další možnosti. V tomto systému je více než 90 % fixovaného dusíku rychle translokováno z bakterie do rostliny.

V půdě volně žijící bakterie, které vážou vzdušný dusík, jsou většinou heterotrofní (např. *Azotobacter*). Jejich fixační kapacita je často omezoována substrátem kvůli nedostatečné dostupnosti organických zbytků. Podíl symbiotických, asociativních a volně žijících bakterií je následující: 70 % symbiotických a 30 % nesymbiotických. Enzymový komplex známý jako nitrogenáza je pro organismy vázající vzdušný dusík jedinečný. Byl nalezen v kořenových hlízkách leguminóz ale i u ostatních rostlin (Marschner 1995).

3.5.2.1 Systém symbiózy

Existují dva systémy symbiózy při fixaci vzdušného dusíku:

1. nodulující a nenodulující leguminózy
2. symbióza s cyanobakterií (modro – zelené řasy)

V systému č. 1 jsou fixujícími bakteriemi ty, které patří do rodu *Rhizobium* a *Bradyrhizobium* (u leguminóz) nebo aktinomycety rodu *Frankia* (u ostatních rostlin).

V systému č. 2 fixující bakterie spoléhají hlavně na svou fotosyntetickou schopnost získání uhlíku (energie) potřebného pro fixaci dusíku.

Pokud jsou leguminózy pěstovány na pozemku, kde nebyly dříve pěstovány druhy se stejným rodem symbiotických bakterií, je pro dosažení efektivní fixace dusíku nutné semena inokulovat odpovídajícím druhem bakterie (Marschner 1995). Togay et al. (2008) uvádějí, že inokulací osiva dojde k významnému ovlivnění sklizňového indexu. V závislosti na druhu rostliny může infekce mikrosymbiontem nastat při vývoji kořenových vlásků (například jetele), při spojování postranních kořenů přes strukturálně změněné buněčné stěny kortexu nebo při zakládání stonku (Marschner 1995).

Zahájení symbiózy mezi bakterií a rostlinou

Během růstu rostliny dochází v rhizosféře k vylučování flavanoidů a betainů. Hlízkové bakterie na tyto látky reagují. Flavanoidy a betainy spouští aktivaci genu Nod. Jejich produktem jsou poté faktory Nod. Geny Nod kódují přibližně 25 proteinů odpovědných za syntézu a export Nod faktorů. Nod faktor iniciuje mnohé vývojové změny viditelné na rostlině během nodulačního procesu (deformace kořenových vlásků, membrány...). Dále se u bakterií spouští exprese ostatních genů. Tyto geny jsou důležité, aby *rhizobia* konkurovala jiným organismům v přístupu k růstovým substrátům (Gage 2004).

Rostliny obsahují symbiotické hemoglobiny, které jsou považovány za důležité při symbiotické fixaci vzdušného dusíku. U leguminóz vzájemných vzdušný dusík se nachází v uzlinách na kořenech (Ott et al. 2005). Leghemoglobin je symbiotický hemoprotein, který se nachází v mikromolárních koncentracích infikovaných buněk kořenů luštěnin. Leghemoglobin je základní složkou pro fixaci vzdušného dusíku. Jeho hlavní funkcí je ochrana enzymu nitrogenázy před denaturací. K denaturaci může docházet, pokud je enzym vystaven vyšší koncentraci kyslíku. Leghemoglobiny jsou složeny z hemového a polypeptidového zbytku. Sekvence aminokyseliny pro globin je závislá na druhu luskoviny (Singh & Varma 2017).

Snížení kyselosti půdy zvyšuje obsah leghemoglobinu v uzlinách, dochází ke zvyšování hmotnosti uzlin a třikrát až čtyřikrát vyšší fixaci dusíku (Zavalin et al. 2019).

3.5.2.2 Vliv vnitřních a vnějších faktorů na úroveň fixace dusíku

Pokud jsou leguminózy několik dní v podmínkách slabého světla nesnižuje se pouze úroveň fixace dusíku, ale zvyšují se také proporce k přeměně červeného barviva fixujícího dusík na nefixující typy. Maximální fixace dusíku je dosahováno na začátku kvetení, poté následuje rychlý pokles. Odlistění leguminóz sekáním nebo pasením indukuje rychlý a drastický pokles aktivity nitrogenázy. U jetele bývá až 95 % ztraceno během několika hodin (Marschner 1995).

3.5.2.2.1 Vliv minerálních živin na fixaci dusíku

Minerální živiny mohou ovlivnit fixaci dusíku v leguminózách na mnoha úrovních symbiotické interakce. Během procesu infekce a nodulace, ovlivnění funkce hlízky, nebo ovlivnění růstu hostitelské rostliny (Marschner 1995). Inhibice tvorby hlízek je důležitým limitujícím faktorem fixace dusíku mnoha leguminóz, zvláště těch pěstovaných na kyselých půdách. Zvýšení pH vápněním je proto velmi efektivní pro zvýšení nodulace, například u fazolí (Buerkert et al. 1990).

Za špatnou nodulaci hlízek v kyselých minerálních půdách zodpovídá více faktorů: vysoká koncentrace protonů a monomerního hliníku a částečně i nízká koncentrace vápníku. Zásoba fosforu je potřebná pro tvorbu hlízek, tento požadavek může být vyšší než pro růst kořenů hostitelské rostliny. Minimální potřebná koncentrace fosforu pro tvorbu hlízek je okolo $0,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ v půdním roztoku. Molybden je součástí nitrogenázy. Všechny systémy fixující dusík mají specifické požadavky na množství molybdenu, ačkoliv při nízké zásobě je molybden přednostně transportován do hlízek. Při nedostatku molybdenu se následně projeví i nedostatek dusíku, protože leguminózy spoléhají na fixaci vzdušného dusíku. (Marschner 1995). Železo je důležitým prvkem pro několik klíčových enzymů nitrogenázového komplexu, stejně tak pro elektronový nosič ferredoxin a některé hydrogenázy. Zvláštní požadavek na vysoké množství železa v leguminózách je kvůli hemové složce hemoglobinu. Proto je u luštěnin potřebné větší množství železa pro tvorbu hlízek než pro hostitelskou rostlinu (Tang et al. 1990).

Pro syntézu leghemoglobinu je vyžadován kobalt a také pro růst leguminóz symbioticky vzájemných dusík. Je zde esenciálním minerálním prvkem. Nedostatek kobaltu ovlivňuje rozvoj

a funkci hlízek. U lupiny spoléhající se na fixaci vzdušného dusíku způsobuje nedostatek kobaltu snížený růst hostitelské rostliny, ale nesnižuje množství utvářených hlízek. (Marschner 1995).

3.5.2.2.1.1 Vliv minerálního dusíku na fixaci vzdušného dusíku

Minerální výživa, velmi často kombinovaná s minerálním dusíkem, má značný vliv na biologickou fixaci dusíku. U leguminóz může kombinace dusíku zvýšit nebo snížit fixaci vzdušného dusíku. Záleží na řadě faktorů a zejména na dodaném množství. Zvyšující se účinek dodaného dusíku je žádoucí do takzvané lag fáze mezi infekcí kořenů a začátkem fixace vzdušného dusíku. Deprese tvorby a aktivity hlízek kvůli vysokým dávkám dodaného minerálního dusíku závisí velmi na genotypu rostliny a formě dodaného dusíku. (Marschner 1995).

3.6 Půdní vlhkost

Vstup vody do půdy může nastat za nejrůznějších podmínek. Může probíhat rovnoměrně po celé ploše nebo prostřednictvím lokalizovaných rýh a štěrbin. Voda se také může pohybovat zdola nahoru jako stoupající podzemní hladina. Půda zásobovaná vodou shora pomocí srážek, táním sněhu nebo zavlažováním je postupně vsakována do hlubších vrstev půdního profilu. Avšak často se část přicházející vody nevsakuje, a místo toho má tendenci se hromadit na povrchu nebo odtékat. Vsáklá voda je v půdě rozdělena na množství, které se vrátí do atmosféry přímým výparem z půdy, na množství, které projde přes rostliny pomocí transpirace, a na zbytkové množství, které prosakuje stále do větších hloubek a eventuálně může doplňovat zásoby spodní vody (Hillel 1998).

Půdní vlhkost můžeme měřit pomocí přímých a nepřímých metod (Gardner 1986).

Přímé metody:

Vzorkování a sušení - je tradiční gravimetrická metoda. Vlhkost se vypočítává z hmotnosti odebraného vlhkého vzorku a z hmotnosti po jeho vysušení při 105 °C (u lehkých až středně těžkých minerálních půd s nízkým obsahem humusu). Při stanovení vlhkosti jílových minerálů se používají vyšší teploty, naopak u půd s vyšším obsahem humusu pak teploty nižší (Šarapatka 2014). Chyby, kterých se můžeme během této metody dopustit, je možné eliminovat větším počtem vzorků (Hillel 1998).

Nepřímé metody: Nepřímé metody spočívají v měření některých fyzikálních a fyzikálně-chemických veličin, které jsou závislé na vlhkosti.

1. Odporová metoda - s vlhkostí půdy stoupá vodivost (odpor klesá). Pro měření se používají kovové elektrody.
2. Neutronová metoda – principem této metody je interakce rychlých neutronů s jádry prvků o malých atomových hmotnostech. Nejúčinnějším moderátorem těchto prvků je vodík. Jeho obsah v minerální složce půdy je malý, proto je možné tuto metodu využít ke stanovení vlhkosti půdy (Šarapatka 2014). Tato metoda byla vyvinuta v 50. letech 20. století. Její hlavní výhody oproti gravimetrické metodě jsou menší pracnost, vyšší rychlost, nedestruktivnost, pravidelně se opakující měření ve stejných hloubkách. Tato

metoda je nezávislá na teplotě a tlaku. Nevýhodami jsou vysoké pořizovací náklady a zdravotní riziko vystavení se neutronovému a gama záření (Hillel 1998).

3. Gamaskopická metoda – tuto metodu lze využít ve výzkumu a jejím principem je adsorpce a rozptyl gama záření při průchodu půdní hmotou. Při konstantní objemové hmotnosti budou adsorpce a rozptyl závislé na vlhkosti půdy (Šarapatka 2014).
4. Vodní potenciál - je definován jako množství práce na jednotku půdní vody, která musí být vykonána vnějšími silami reverzibilně a izotermě, aby se množství vody přeneslo z referenční hladiny k danému bodu v systému půda-voda. Tato energie může být vztažena na jednotkovou hmotnost – jednotkou je pak $J \cdot kg^{-1}$, jednotkový objem (sací tlak), výslednou jednotkou je pak Pa. Celkový potenciál půdní vody můžeme vyjádřit jako součet následujících složek: potenciál půdní vody, gravitační potenciál půdní vody, pneumatický potenciál půdní vody, osmotický potenciál půdní vody, zátěžový potenciál půdní vody. Z důvodu zjednodušení se uvažuje, že se v půdě vyskytuje voda, nikoli roztok, tak pneumatický a zátěžový potenciál jsou rovny nule.

Při měření půdní vlhkosti lze využít i metody dálkového průzkumu Země. Existuje mnoho postupů, jak zjišťovat hodnoty vlhkosti půdy. Jedná se například o optická, pasivní a aktivní mikrovlnná satelitní měření (Šarapatka 2014).

Infiltrace je termín používaný pro vstup vody do půdy vsakováním. Rychlost tohoto procesu je úměrná množství vody v půdě obsažené. Určuje, kolik vody vstoupí do kořenové zóny a kolik vody oteče. Proto rychlost infiltrace neovlivňuje pouze hospodaření s vodou v rostlinách, ale také množství povrchového odtoku a jeho doprovodný proces - vodní erozi (Hillel 1998). Je-li voda na půdu rozstříkována postupně se zvyšující se rychlostí, dříve nebo později dojde k naplnění očekávaného limitu půdní absorpce a k jejímu odtoku. Rychlost infiltrace je definována jako množství vody proudícího do půdního profilu na jednotku plochy půdy (Hillel 1998). Organická hmota v půdě je důležitým atributem kvality půdy a ovlivňuje pronikání vody do půdy (Franzluebbers 2002).

Schopnost půdy infiltrovat vodu závisí na následujících faktorech:

1. Čas začátku zavlažování nebo deště - rychlost infiltrace je na začátku velmi rychlá, pak se snižuje a postupně se přiblíží k asymptoticky konstantní hladině charakteristické pro daný půdní profil.
2. Počáteční obsah vody - čím vlhčí je půda na začátku, tím nižší bude počáteční schopnost infiltrace a tím rychlejší bude dosažení konstantní hladiny.
3. Hydraulická vodivost – vyšší nasycení hydraulické vodivosti je spojováno s vyšší schopností infiltrace.
4. Povrchové podmínky – pokud je půdní povrch porézní s otevřenou strukturou, je počáteční infiltrace lepší než na jednotvárném povrchu. Stlačením povrchové vrstvy půdy se snižuje rychlost infiltrace.
5. Hloubka půdního profilu a vrstvení – přítomnost jemně strukturované vrstvy brání toku vody. Naopak vrstva s hrubou texturou může zpomalit infiltraci pouze částečně, kvůli neschopnosti vlhkosti projít širokými póry půdní vrstvy (Hillel 1998).

3.6.1 Eroze půdy

S projevy eroze půdy se člověk setkává v průběhu dlouhé historie. Někdy tento proces bývá urychlen vlivy klimatickými nebo antropogenními. Eroze může být normální, která je z hlediska lidské generace nepozorovatelná, ale v dlouhé historii přetváří reliéf krajiny. Pozorovatelná je však zrychlená eroze, ke které dochází antropickou činností. Tato zrychlená eroze vede k degradaci půdy a v konečném výsledku k devastaci krajiny (Šrapatka 2014). Erozi můžeme členit podle činitele, který ji vyvolal, na několik druhů:

1. Vodní eroze
2. Ledovcová eroze – tuto erozi způsobují ledovce pohybující se působením tíže do údolí. Ledovec strhává a unáší do nižších poloh velké množství horninových zvětralin, jež po usazení vytvářejí morény.
3. Sněhová eroze – vzniká pohybem sněhu ve formě lavin, jejichž erozní činnost probíhá při velkých tlacích a rychlostech sněhu. Sněhová eroze může být vyvolána i pomalým pohybem vrstvy sněhu po neumrzlém půdním povrchu při jarním tání.
4. Větrná eroze – tato eroze spočívá v rozrušování půdní hmoty kinetickou energií větru, v přemísťování uvolněných částic a jejich ukládání při poklesu energie proudu. Je typickým jevem v aridních a semiaridních oblastech.
5. Zemní eroze – touto erozí rozumíme činnost suťových proudů, jež jsou tvořeny suťovým materiálem prosyceným vodou. Znamé jsou suťové proudy na Kavkaze a v Alpách.
6. Antropogenní eroze – člověk má vliv na vznik a průběh erozních procesů svými zásahy do přírody. Je výrazným činitelem při vzniku zrychlené eroze (Holý 1994).

Pro tuto diplomovou práci je stěžejní především vodní eroze, které je věnována následující kapitola.

3.6.1.1 Vodní eroze

V České republice je vodní erozí ohroženo přibližně 50 % výměry zemědělského půdního fondu. Erozi půdy nelze zcela eliminovat, ale můžeme ji výrazně omezit (Šrapatka 2014). Vodní eroze je vyvolávána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody. Povrchový odtok vzniká z přívalových nebo dlouhotrvajících srážek, ze sněhových vod při jarním tání a také koncentrací vody v přirozené i umělé hydrografické síti (Holý 1994).

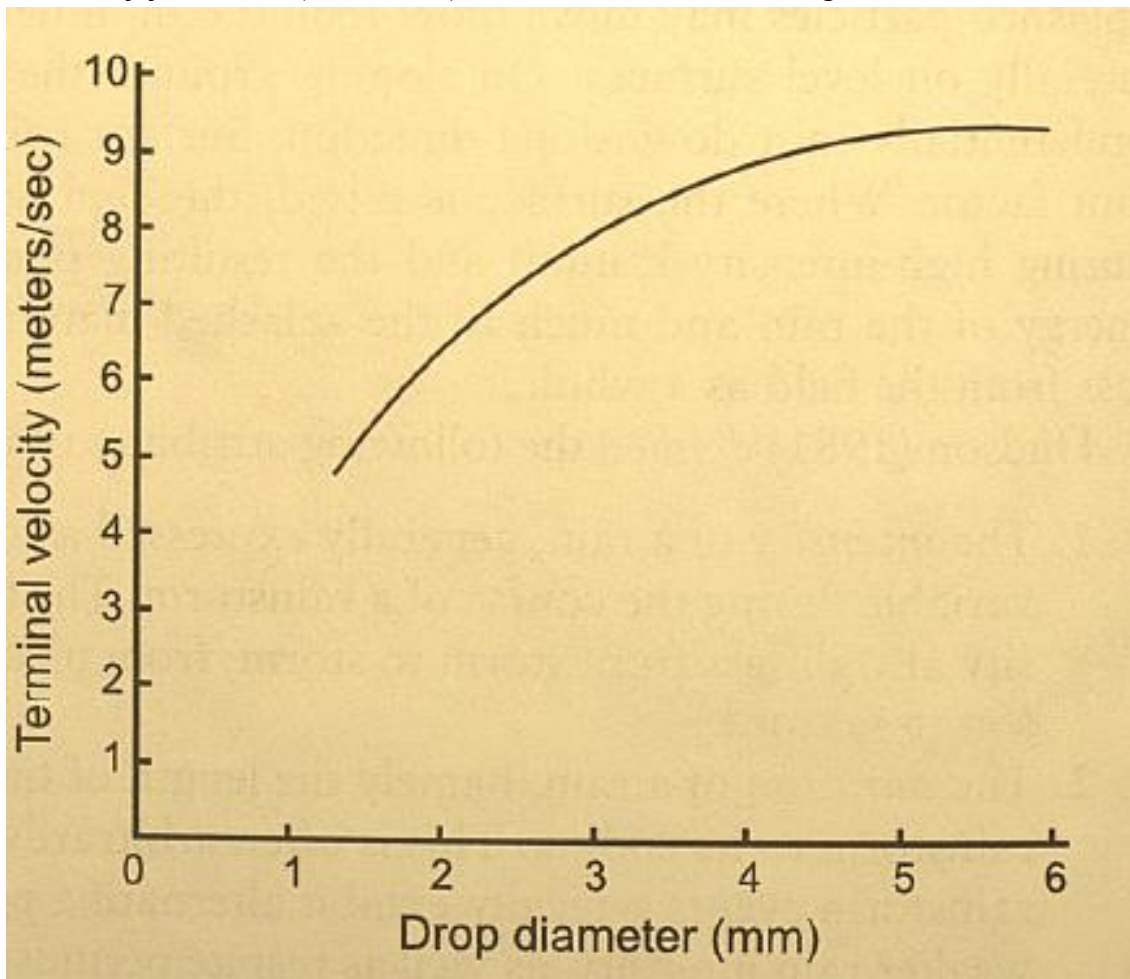
Pokud bouřka zasáhne holý povrch půdy, dochází k vystříknutí množství země do vzduchu. Bylo zjištěno, že množství půdy rozstříklé do vzduchu je padesátkrát až devadesátkrát vyšší než množství aktuálně odnášené. Silná bouřka může rozstříknout až 200 tun půdy na jeden hektar (Hillel 1998).

Vlastnosti deště vztahující se k vodní erozi:

1. Intenzita deště – vyjadřovaná v milimetrech za hodinu je velmi variabilní v průběhu bouře. Rozložení její intenzity v čase je různé bouřka od bouřky, lokalita od lokality a sezóna od sezóny.

2. Doba trvání deště – je období od začátku bouřky do jejího konce. Toto je často určováno nahodile, protože srážky typicky střídají periody silnějších a slabších intenzit a také periody mrholení.
3. Energie bouřky – je vyjádřena jako kinetická energie všech kapek padajících na jednotku plochy. Je to funkce distribuce velikosti dešťových kapek a jejich příslušných koncových rychlostí. Kapky větší než 5 mm mají tendence se rozpadat kvůli vzduchovým turbulencím. Pozitivní vztah byl nalezen mezi intenzitou deště a střední velikostí kapek, ale tento vztah neplatí pro rozdílné typy deště v rozdílných regionech.

Padající kapka je předmětem gravitačního zrychlení. Jak kapka získává rychlost, tak se zvyšuje také odpor vzduchu, dokud nenastane rovná zrychlovací síla. Konečná rychlost kapky závisí na její velikosti (Hillel 1998). Tuto závislost lze vidět na grafu č. 2.



Graf 2: Závislost rychlosti kapky na její velikosti. (Zdroj: Hillel 1998)

Erozní účinek srážek je dán jejich kinetickou energií. Bývá označován jako index erozivní. Je funkcí intenzity deště a jeho trvání a hmotnosti, průměru a rychlosti dopadu vodních kapek (Holý 1994).

Erozi půdy můžeme vypočítat podle rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí.

$$G = R * K * L * S * C * P$$

G = průměrná dlouhodobá ztráta půdy za rok v t.ha⁻¹

R = faktor erozní účinnosti deště

K = faktor erodovatelnosti půdy

L = faktor délky svahu

S = faktor sklonu svahu

C = faktor ochranného vlivu vegetace

P = faktor účinnosti protierozních opatření (Janeček et al. 2012).

Průměrné dlouhodobě přípustné ztráty půdy jsou stanoveny podle hloubky půd.

- Mělké půdy (do 30 cm) do 1 t/ha za rok
- Středně hluboké půdy (30 – 60 cm) do 4 t/ha za rok
- Hluboké půdy (nad 60 cm) do 10 t/ha za rok

Přípustná ztráta půdy z možné tvorby půdy v rámci pedogenetických procesů se podle vědeckých prací pohybuje v závislosti na konkrétních podmínkách od stovek kilogramů po několik tun na hektar za rok (Šarapatka 2014).

3.6.1.1.1 Erodatelnost půdy

Erodibilita půdy je půdní charakteristika, která vyjadřuje míru náchylnosti půdy k oddělení a transportu pomocí původců eroze. Reakce půdy na erozní procesy je složitá a je ovlivněna vlastnostmi půdy, jako je struktura půdy a její stabilita, obsah organické hmoty v půdě a obsah jílových částic. Některé z těchto vlastností mohou být časem změněny. Například obsah organické hmoty může být správným používáním půdy a správnou zemědělskou praxí navýšen. Erodibilita půdy se v čase mění (Lal & Elliot 2017). Erodibilita půdy závisí na mnoha faktorech. Nejdůležitějším z faktorů je textura a struktura půdy (Hillel 1998).

Písčité půdy mají nižší rychlost odtoku a jsou snadno oddělitelné. Naopak jsou hůře přepravitelné než bahnitě půdy. Jílovité půdy jsou těžce oddělitelné a vykazují nižší infiltraci. Tato skutečnost může vést k vyššímu odtoku a náchylnosti k erozi. Bahnitě půdy mají sklon k největší erodovatelnosti, protože jejich částice jsou snadno oddělitelné a transportovatelné (Lal & Elliot 2017).

3.6.1.1.2 Ochrana půdy před vodní erozí

Podle Šarapatky (2014) je možné rozdělit opatření proti vodní erozi do tří skupin, a to na organizační, agrotechnická a technická.

Zemědělec by měl na svých pozemcích dodržovat určitá pravidla, kterými by předcházel vodní erozi:

1. **Zlepšovat půdní strukturu** – dodávat dostatečné množství organické hmoty (hnůj, sláma, zelené hnojení), čímž se podpoří tvorba humusu a stabilizuje se půdní struktura (Šarapatka 2014). Půdní organická hmota je důvěrně spojena s půdními minerály a je

důležitá pro udržování stability půdních agregátů. Organická hmota v půdě zvyšuje vodní kapacitu půdy a také ovlivňuje tepelné vlastnosti půdy. Půdní organická hmota hraje významnou roli u pufrací kapacity půdy, má veliký vliv na kationtovou výměnnou kapacitu, zvyšuje rozpustnost půdních minerálů, komplexů a chelátů (Essington 2015).

2. **Osevní postup** – u svahů s větším sklonem pěstovat co nejméně okopaniny a širokořádkové plodiny. Kde je to vhodné zařazovat meziplodiny (Šarapatka 2014).

Pásové střídání plodin: Jednotlivé pásy plodin mají zabránit vodní erozi. Musí se střídát tak, aby srážková voda stékající z pásu s nedostatečnou protierozní odolností byla zachycena na ochranném pásu a vsákla se do půdy (Holý 1994).

3. **Využití protierozních technologií pěstování** – cílem této technologie je zastavit povrchový odtok pomocí vrstevnicových brázd, které slouží k zasakování vody. Do těchto technologií můžeme zařadit brázdování, jamkování, podrývání, obdělávání půdy po vrstevnici (Šarapatka 2014). Od roku 2015 je mezi půdoochranné technologie zařazena technologie strip tillage, která zpracovává půdu v pásech, do kterých se následně seje (Herout 2017).

4. **Křovinaté pásy** – jejich hlavním cílem je zkrátit délku svahu a tím snížit odnos půdy vodou.

Další možností jak zabránit vodní erozi je pěstování plodin v intercroppingu. Podplodina zde vytvoří pokryv půdy a tím sníží vodní erozi. Podplodina zde neslouží pouze jako ochrana proti vodní erozi, ale má také symbiotický vztah s hlavní plodinou.

4 Metodika

Jako pokusné stanoviště byly vybrány plochy Výzkumné stanice FAPPZ Červený Újezd České zemědělské univerzity. Byl zde založen pokus pěstování kukuřice s podplodinami pro zmírnění vodního stresu rostlin a pro zvýšení produktivity porostu. Byly založeny tři varianty pěstování kukuřice. Varianta č. 1: pěstování kukuřice s využitím podplodiny hrách setý (*Pisum sativum*). Varianta č. 2: pěstování kukuřice s využitím podplodiny lupina bílá (*Lupinus albus*). Varianta č. 3: pěstování kukuřice klasickou technologií (kontrola).

Na všech variantách byl sledován výnos zelené hmoty, výnos suché hmoty, výnos zrna a sušina. Na kontrolní variantě a na variantě č. 1 byla měřena fotosyntetická aktivita a sledována teplota a vlhkost půdy pomocí čidel, která zaznamenávala hodnoty každých 15 minut. Teplota půdy byla měřena v hloubce 10 cm a vlhkost byla měřena v hloubce 20 cm. Dále byl na variantě č. 1 sledován vliv podplodiny na množství živin obsažených v sušině rostliny.

4.1 Charakteristika pokusného stanoviště

Lokalita Červený Újezd v okrese Praha západ spadá do oblasti mírně teplé, mírně suché, převážně s mírnou zimou. Nadmořská výška je zde 398 m. n. m. Zdejší klimatické podmínky podmiňují vznik hnědozemí, hnědozemí ilimerizovaných, vyluhování vrchních částí a posun koloidních částic do spodiny.

Geologicky je toto území tvořeno opukami z období křídý překrytými sprašemi a sprašovými pokryvy z období pleistocénu. Opuky jsou vápnité se šterkovým rozpadem. Převažujícím půdním druhem jsou zde spraše a nevápnité sprašové pokryvy.

Pokusné plochy jsou situovány ve východní části katastru obce Červený Újezd.

Z hlediska chemických vlastností půdy je zde mírný obsah humusu, neutrální půdní reakce, střední sorpční kapacita, koloidní komplex je nasycen. Obsah fosforu a draslíku je střední až dobrý.

4.1.1 Agrotechnika pokusu

Pro pokus byl vybrán hybrid kukuřice Figaro (FAO 250/250). Kukuřice byla pěstována po pšenici ozimé.

Pokus byl založen na parcelkách o velikosti 30 m² (3 x 10 m), vždy byly na parcele 4 řádky o šířce 75 cm. Na jaře před setím proběhla standardní příprava půdy pro setí kukuřice. Hustota výsevu byla zvolena na 80 000 rostlin na 1 ha.

Na variantě kontrola byl dne 12. 5. 2019 aplikován preemergentní herbicid Lumax v dávce 0,00325 m³/ha. Dále zde bylo aplikováno dne 2. 5. 2019 hnojivo močovina v dávce 174 kg/ha (80 kg N/ha).

Na variantě podplodina 1 byl do meziřádku kukuřice zasetý hrách setý v množství 25,5 kg/ha (70 semen na plochu 7,5 m²). Hnojivo zde bylo aplikováno ve stejné dávce a ve stejný den jako na variantě kontrola.

Na variantě podplodina 2 byla zasetá do meziřádku kukuřice Lupina bílá v množství 40,85 kg/ha (70 semen na plochu 7,5 m²). Hnojivo zde bylo aplikováno ve stejný den a ve stejné dávce jako na variantě kontrola.

Na variantách podplodina 1 a 2 nebyl z důvodu vysetí podplodiny aplikován žádný herbicid. Podplodiny byly sety ručně tři dny po zasetí kukuřice do jednoho řádku v mezířadí kukuřice. Porost kukuřice byl založen dne 2. 5. 2019.

Ruční sklizeň na siláž proběhla dne 12. 9. 2019 a na zrno dne 7. 10. 2019.

4.1.2 Hodnocení pokusu

Během celé vegetace byl sledován růst a vývoj rostlin. Hodnotil se především vývoj rostlin a jejich zdravotní stav. Dále se dne 22. 8. 2019 měřila výška rostlin na všech třech variantách (podplodina 1, podplodina 2, bez podplodiny). Počet opakování na každé variantě byl 60.

Během vegetace byly měřeny fyziologické parametry pomocí přístroje LC Pro+ (infračervený listový analyzátor – ADC, BioScientific Ltd., UK). Tento přístroj měří základní fyziologické pochody v listu rostliny, aniž by musel být list od rostliny oddělen. Fyziologie rostliny je sledována na listu vsunutém do měřicí komůrky, ve které je řízena teplota a osvětlení. Principem práce tohoto přístroje je detekce změny koncentrace oxidu uhličitého a vodní páry v proudu vzduchu procházejícím kolem listu, který je hermeticky uzavřen v měřicí komůrce.

Z rozdílů koncentrace plynů a úrovně průtoku vzduchu uvnitř měřicí komůrky se počítají každých 20 vteřin míry asimilace a transpirace. Mísení vzduchu v měřicí komůrce zajišťuje malý ventilátor. Měření oxidu uhličitého bylo prováděno pomocí infračerveného analyzátoru plynů. Měření vody bylo prováděno dvěma kvalitními senzory vlhkosti. Měření probíhalo při konstantní teplotě 20 °C a ozáření 550 nm. Při každém měření, po ustálení podmínek uvnitř měřicí komůrky, byly měřené hodnoty po dobu 20 minut v intervalu 1 minuta automaticky zaznamenávány. Naměřená rychlost fotosyntézy (A) a rychlost transpirace (E) se udává v jednotkách $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}(\text{listu})\cdot\text{s}^{-1}$ resp. $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}(\text{listu})\cdot\text{s}^{-1}$.

Měření se uskutečnilo dne 20. 7. 2019. Počet opakování jedné varianty byl vždy minimálně 15. První dvě měření nebyla použita, protože sloužila jako kalibrační měření.

Ruční sklizeň na siláž byla provedena dne 12. 9. 2019. Pro sklizeň silážní kukuřice byl zvolen prostřední levý řádek. Pravý byl ponechán pro sklizeň na zrno. Celková sklizňová plocha jedné parcelky na silážní hmotu činila 7,5 m². Rostliny byly odřezávány ruční pilou cca 7 cm nad zemí. Zelená hmota byla zvážena a byly udělány vzorky řezanky, ze které se potom stanovovala sušina a množství živin v sušině rostliny. Po zjištění sušiny byl přepočítán výnos suché hmoty na jeden hektar.

Sušina byla zjišťována odebráním vzorků řezanky z každého opakování. Hmotnost vzorku byla přibližně 500 g. Vzorky byly sušeny při teplotě 105 °C po dobu 12 hodin. Po usušení byl vzorek znovu zvážena a ze zjištěné hodnoty se spočítala sušina celé rostliny. U každé varianty byly provedeny čtyři opakování.

Sklizeň zrnové kukuřice proběhla dne 7. 10. 2019 ručním odlámáním palic z prostředního pravého řádku. Celková sklizňová plocha kukuřice na zrno na jedné parcelce byla 1,5 m². Palice byly ihned vymláčeny na sklízecím stroji Wintersteiger. Hmotnost zrn byla zjištěna z každé varianty, dále byla zjištěna vlhkost zrna sušením při teplotě 45 °C po dobu 48 hodin a následně byl přepočítán výnos zrna na jeden hektar.

Výsledky byly hodnoceny v programu Statistica 12.1 pomocí Tukey Anova HSD testu.

5 Výsledky

Vyhodnocování výsledků probíhalo během celého vegetačního období kukuřice. Zaznamenával se průběh počasí – průměrná denní teplota a množství srážek, sledoval se růst a vývoj porostu, zdravotní stav porostu a výška rostlin. Dále byla sledována teplota a vlhkost půdy.

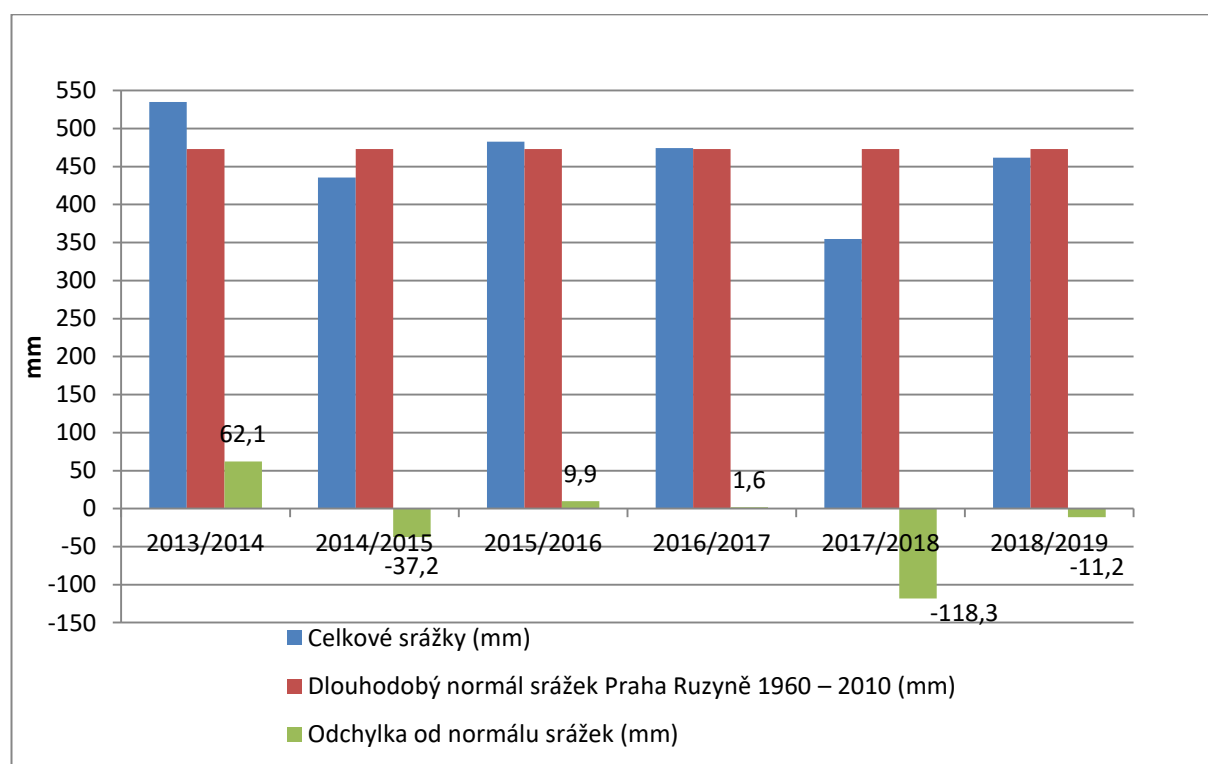
Sklizeň na siláž byla provedena dne 12. 9. 2019. Zde se hodnotil výnos zelené a suché hmoty, sklizňová sušina a množství živin v sušině rostliny.

Sklizeň na zrno proběhla dne 7. 10. 2019. Zde se hodnotil výnos zrna a jeho vlhkost.

Veškeré výsledky jsou níže zpracovány do přehledných grafů.

5.1 Hodnocení průběhu počasí

5.1.1 Vyhodnocení počasí na pokusné lokalitě Červený Újezd 2013 – 2019

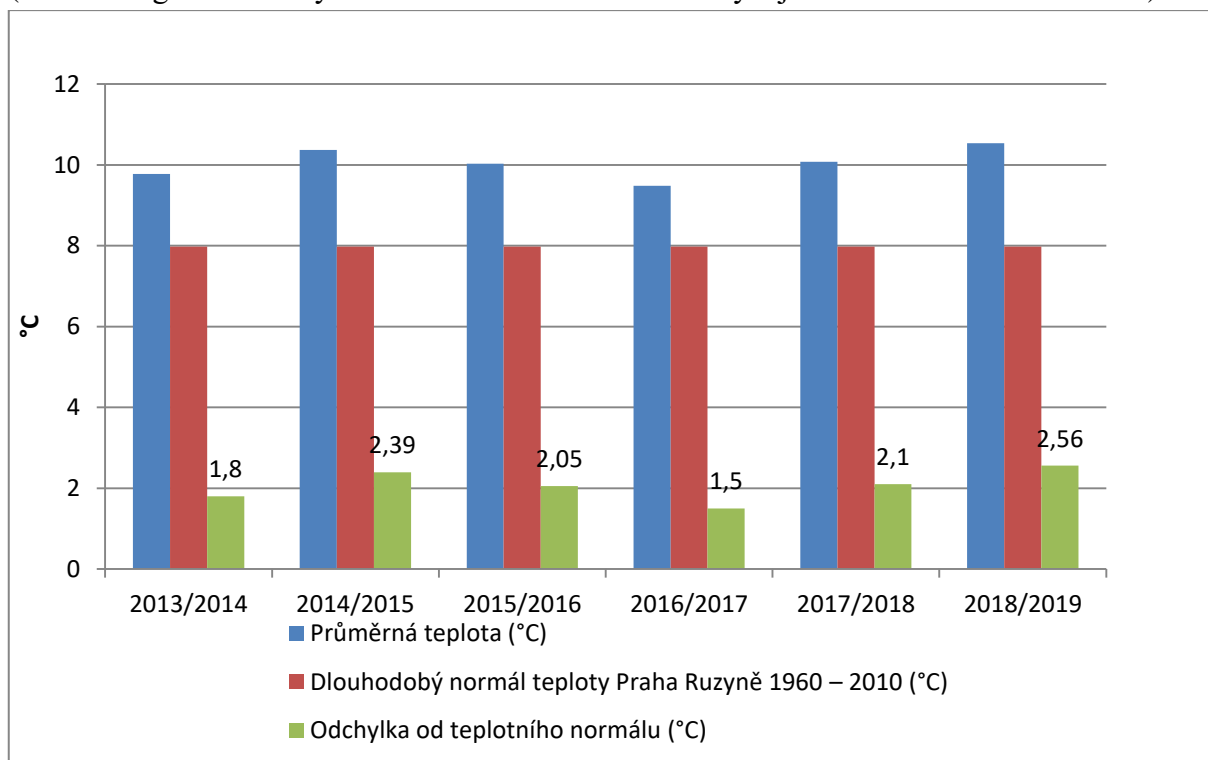


Graf 3: Úhrn srážek v letech 2013 - 2019, Červený Újezd (vlastní zpracování) Zdroj: Výzkumná stanice FAPPZ ČÚ.

Graf č. 3 znázorňuje množství srážek v lokalitě Červený Újezd v hospodářských letech 2013/2014 – 2018/2019. Podle Kožnarové a Klabzuby (2002) na základě výpočtu procent dlouhodobého normálu dojdeme k výsledku, že roky 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 a 2018/2019 jsou srážkově normální. Rok 2013/2014 je hodnocen jako nadnormální. Za tento rok zde napršelo 113,14 % dlouhodobého normálu srážek. Rok 2017/2018 je naopak hodnocen jako silně podnormální. V tomto roce napršelo pouze 73,1 % dlouhodobého normálu srážek. Velké sucho panovalo také v hospodářském roce 2014/2015, přesto tento rok je zde vyhodnocen jako srážkově normální. Sucho bylo zapříčiněno rozložením srážek. Nejvíce srážek přišlo v tomto hospodářském roce již na podzim 2014, a to v září a říjnu.

Množství srážek v září přesáhlo dlouhodobý normál o 43,7 mm a v říjnu o 27,6 mm. V jarním období již byly srážky od dubna až do srpna v záporných hodnotách v porovnání s dlouhodobým normálem.

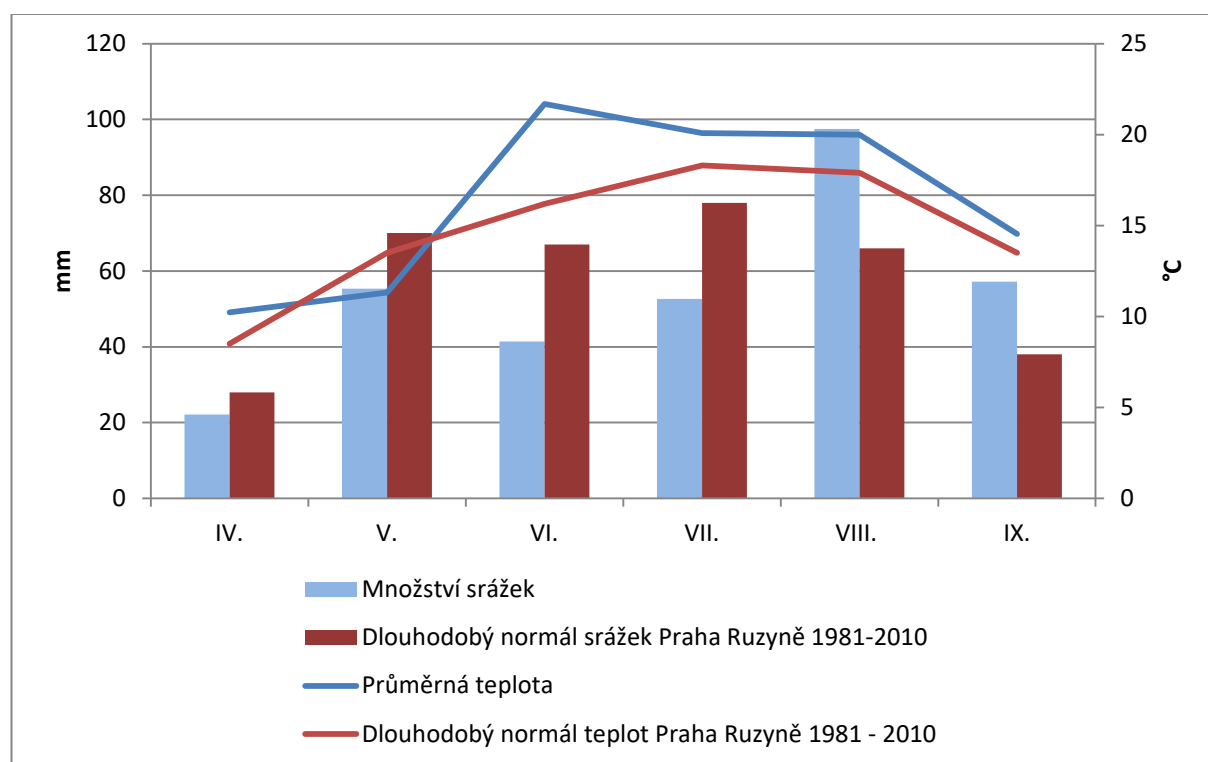
Celkový průběh teplot a množství srážek v pokusné lokalitě Výzkumné stanice Červený Újezd v jednotlivých měsících a hospodářských letech jsou zobrazeny v příloze č. 1. (Meteorologická data Výzkumné stanice FAPPZ Červený Újezd 2013/2014 – 2018/2019).



Graf 4: Průměrná roční teplota v letech 2013 – 2019, Červený Újezd (vlastní zpracování) Zdroj: Výzkumná stanice FAPPZ ČÚ.

Graf č. 4 znázorňuje dlouhodobý průběh teplot v lokalitě Červený Újezd v hospodářských letech 2013/2014 – 2018/2019. Podle Kožnarové a Klabzuby (2002) dojdeme k výsledku, že všechny hospodářské roky jsou hodnoceny jako mimořádně nadnormální, mimo hospodářského roku 2016/2017, který je hodnocen jako silně nadnormální. Tohoto výsledku bylo dosaženo na základě doporučení Světové meteorologické organizace, kde je mimořádně teplý rok definovaný: Pokud je odchylka od dlouhodobého teplotního normálu vyšší než 1,5°C. Silně nadnormální rok je zde definovaný: Pokud se odchylka dlouhodobého teplotního normálu se pohybuje v intervalu od 1,3°C až 1,5°C. Z tohoto grafu lze vypočítat trend postupného oteplování.

5.1.2 Vyhodnocení počasí na pokusné lokalitě Červený Újezd duben – září 2019

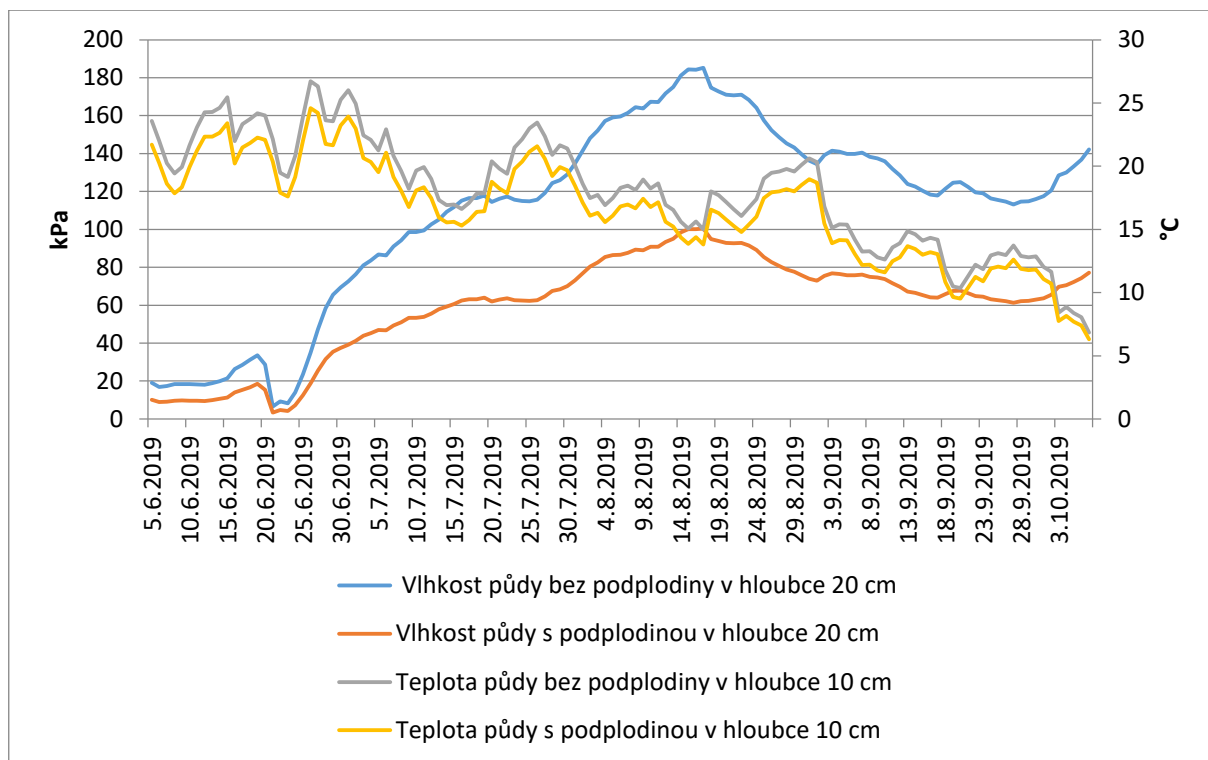


Graf 5: Průběh počasí duben - září 2019 Červený Újezd. (vlastní zpracování) Zdroj: Výzkumná stanice FAPPZ ČÚ.

Z grafu č. 5 lze vidět průběh teplot a množství srážek v lokalitě Červený Újezd v období vegetační doby kukuřice, od dubna do září 2019. Podle Kožnarové a Klabzuby (2002) lze klimatologická období popisovat následující stupnicí: mimořádně podnormální, silně podnormální, podnormální, normální, nadnormální, silně nadnormální, mimořádně nadnormální. Ze zjištěných výsledků můžeme říci, že toto období je hodnoceno teplotně jako silně nadnormální a srážkově jako normální. Z hlediska teplot, na základě výpočtu odchylek teplot od dlouhodobého normálu, hodnotíme jednotlivé měsíce takto:

duben – nadnormální, květen – podnormální, červen – mimořádně nadnormální, červenec – silně nadnormální, srpen – silně nadnormální, září – normální.

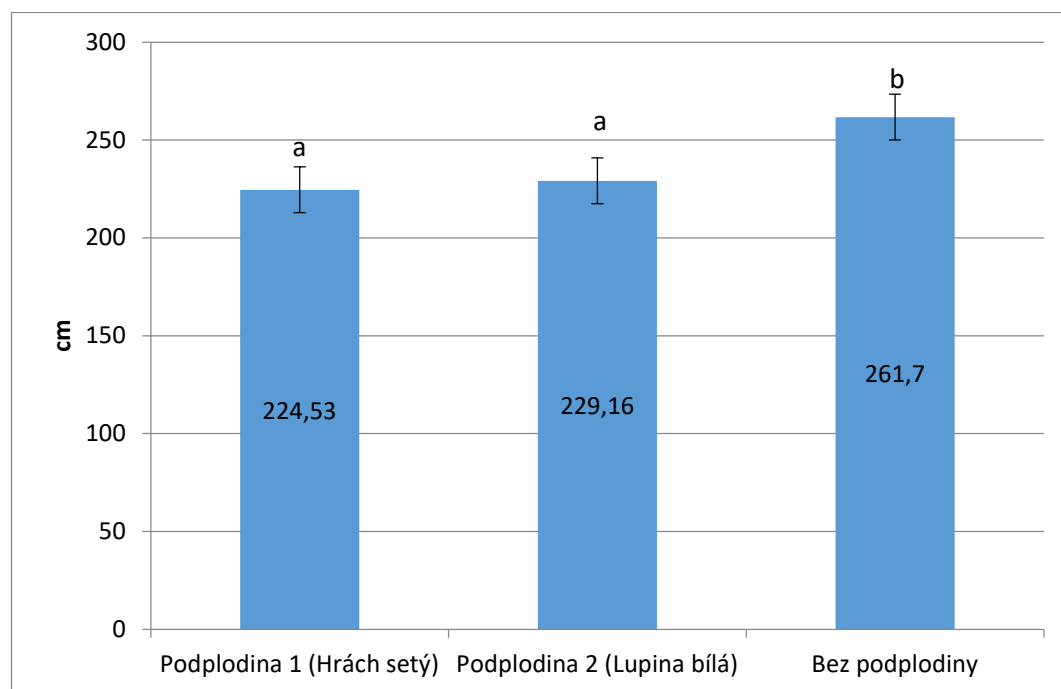
Z hlediska množství srážek, na základě výpočtu procent srážek dlouhodobého normálu, hodnotíme jednotlivé měsíce takto: duben – normální, květen – normální, červen – podnormální, červenec – normální, srpen – nadnormální, září – normální.



Graf 6: Vliv podplodiny na vlhkost a teplotu půdy. (vlastní zpracování)

Vlhkost půdy v hloubce 20 cm byla vyšší na variantě s podplodinou. Důvodem vyšší vlhkosti byl rostlinný mulč na povrchu půdy, který snižoval výpar vody z půdy. Nižší teplota půdy v hloubce 10 cm byla naměřena na variantě s podplodinou. Nižší teplota zde byla naměřena vlivem rostlinného pokryvu povrchu půdy. Na grafu č. 6 je znázorněn průběh vlhkosti a teploty půdy. Jsou zde patrné výkyvy, které souvisí s příchodem srážek a změnou teploty vzduchu v danou dobu (příloha č. 1). Na grafu lze pro lepší pochopení vztahu úhrnu srážek a teplot sledovat, že při vysokých teplotách dochází k rychlejšímu vysušování půdy na variantě bez podplodiny ve srovnání s variantou s podplodinou. Měření vlhkosti probíhalo na základě měření sacích tlaků, kde platí: čím vyšší sací tlak, tím nižší vlhkost půdy. Měření teploty půdy probíhalo pomocí datalogerů Minikin, které zaznamenávaly °C v 15ti minutových časových intervalech.

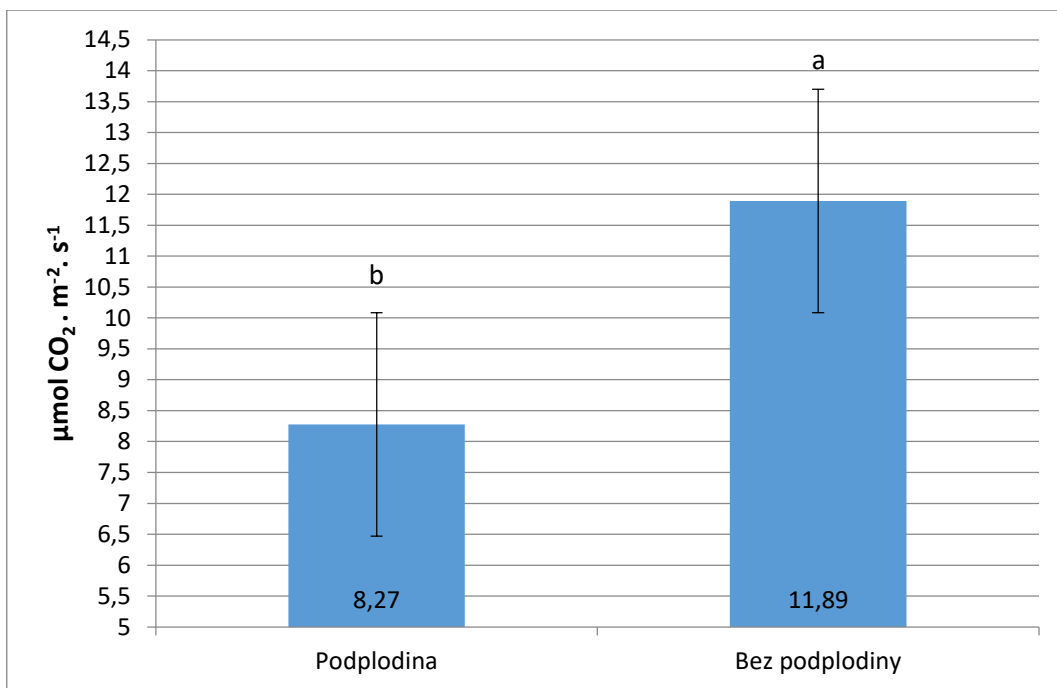
5.2 Hodnocení pokusu během růstu



Graf 7: Vliv podplodiny na průměrnou výšku rostlin 22. 8. 2019. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = 186,42, sv = 174,00

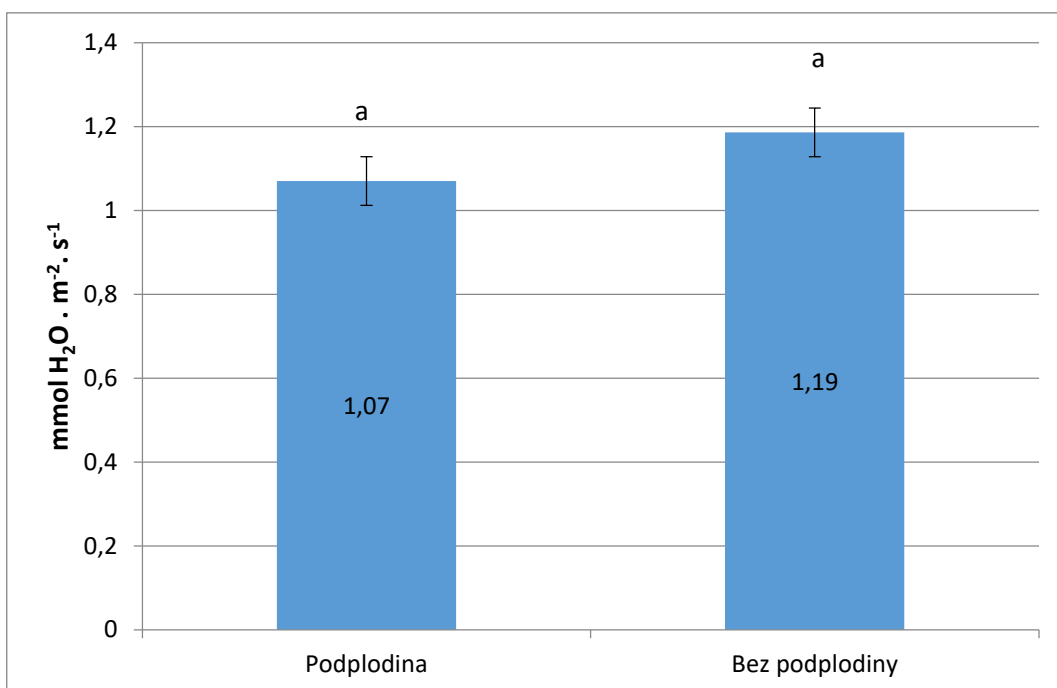
Z grafu č. 7 je patrné, že rostliny kukuřice pěstované s podplodinou 1 a 2 pravděpodobně ukončily svůj růst dříve. Jejich výška je přibližně o 35 cm nižší než na kontrolní variantě bez podplodiny. Kukuřice pěstovaná s podplodinou byla omezoována pleveli. Rostliny měly velkou konkurenci o vodu, živiny a světlo. Proto rostliny na těchto dvou variantách rostly pomaleji.

Mezi variantami podplodina 1 a podplodina 2 při měření výšky rostlin nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Statisticky významný rozdíl ve výšce rostlin byl prokázán pouze mezi variantou podplodina 1 a variantou bez podplodiny dále mezi variantou podplodina 2 a bez podplodiny.



Graf 8: Vliv podplodiny na rychlost fotosyntézy. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = 7,8851, sv = 170,00

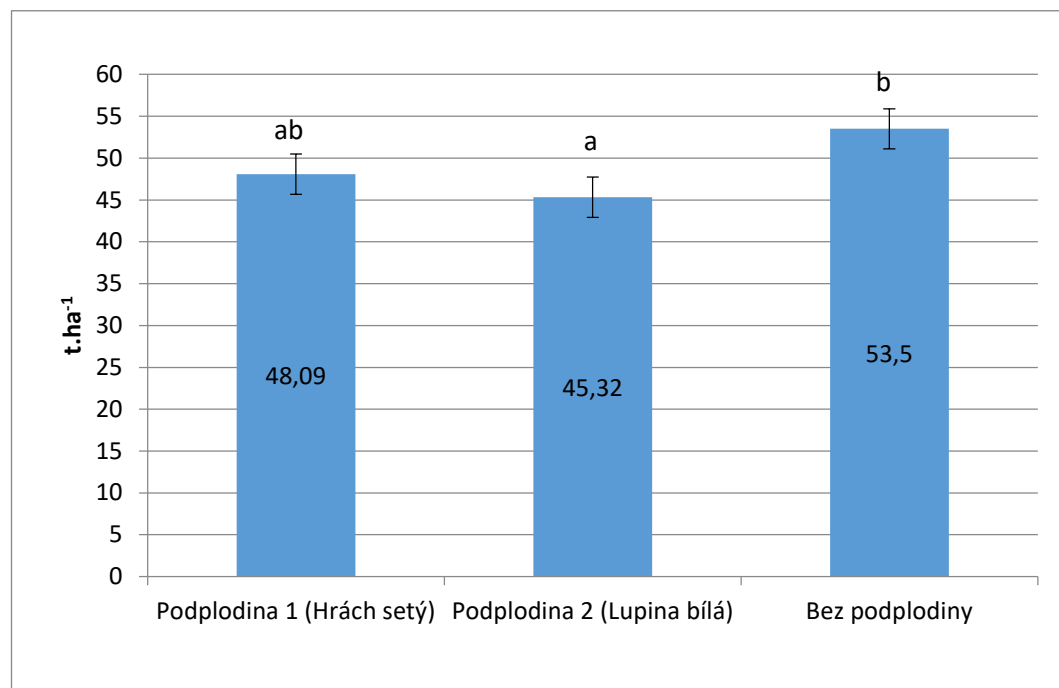
Vyšší rychlosti fotosyntézy bylo dosaženo na variantě bez podplodiny (graf č. 8). Průměrná naměřená hodnota zde byla 11,89 µmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹. Mezi variantou bez podplodiny a s podplodinou byl prokázán statisticky významný rozdíl v rychlosti fotosyntézy. Fotosyntéza je jedním ze základních fyziologických procesů, který se podílí na tvorbě výnosu rostliny. Její rychlost mohla mít vliv na růst biomasy, což se mohlo odrazit v celkovém výnosu kukuřice.



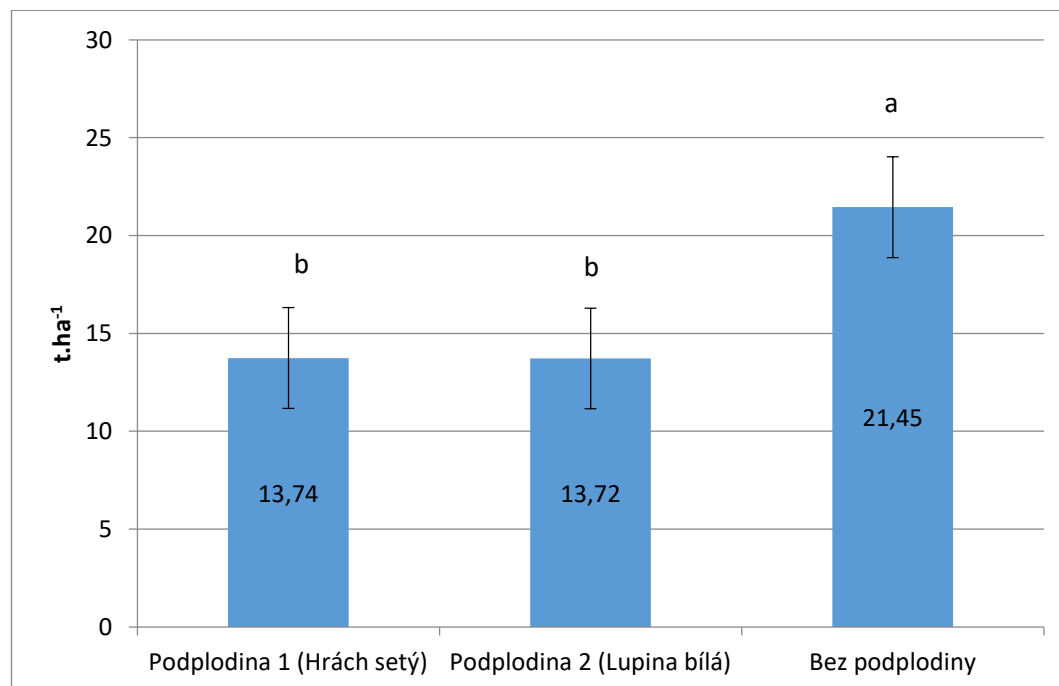
Graf 9: Vliv podplodiny na rychlost transpirace. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = ,09343, sv = 170,00

Vliv podplodiny byl patrný při měření rychlosti transpirace. Vyšší rychlosti transpirace bylo dosaženo na variantě bez podplodiny (graf č. 9). U rostlin bez podplodiny byla naměřená průměrná hodnota $1,19 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Transpirace je taktéž jako fotosyntéza jedním ze základních fyziologických pochodů rostlin, které se podílejí na jejím růstu.

5.3 Hodnocení pokusu při sklizni

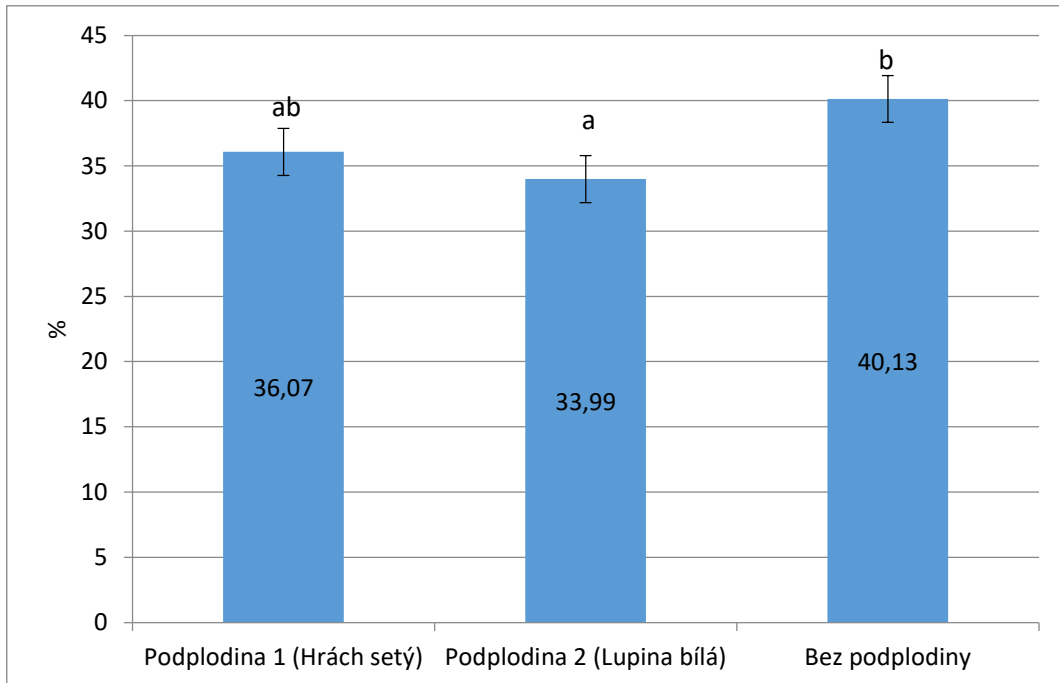


Graf 10: Vliv podplodiny na výnos biomasy. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = 9,7358, sv = 15,000



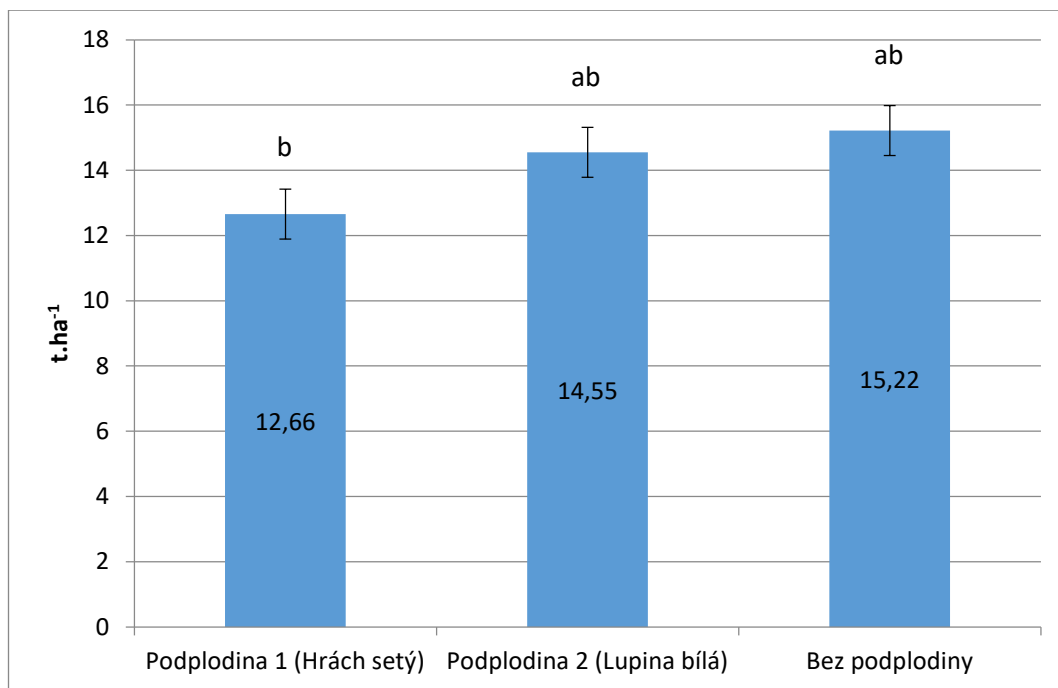
Graf 11: Vliv podplodiny na výnos suché hmoty. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = 0,1692, sv = 15,000

Na variantě bez podplodiny bylo jednoznačně dosaženo nejvyššího výnosu jak biomasy, tak suché hmoty (grafy 10 a 11). Rozdíl ve výnosu suché hmoty mezi variantou s podplodinou a bez podplodiny činí přibližně $7,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Statisticky významný rozdíl ve výnosu suché hmoty je pouze mezi variantami bez podplodiny a s podplodinou. Mezi variantami s různými podplodinami se statisticky významný rozdíl neprojevuje.

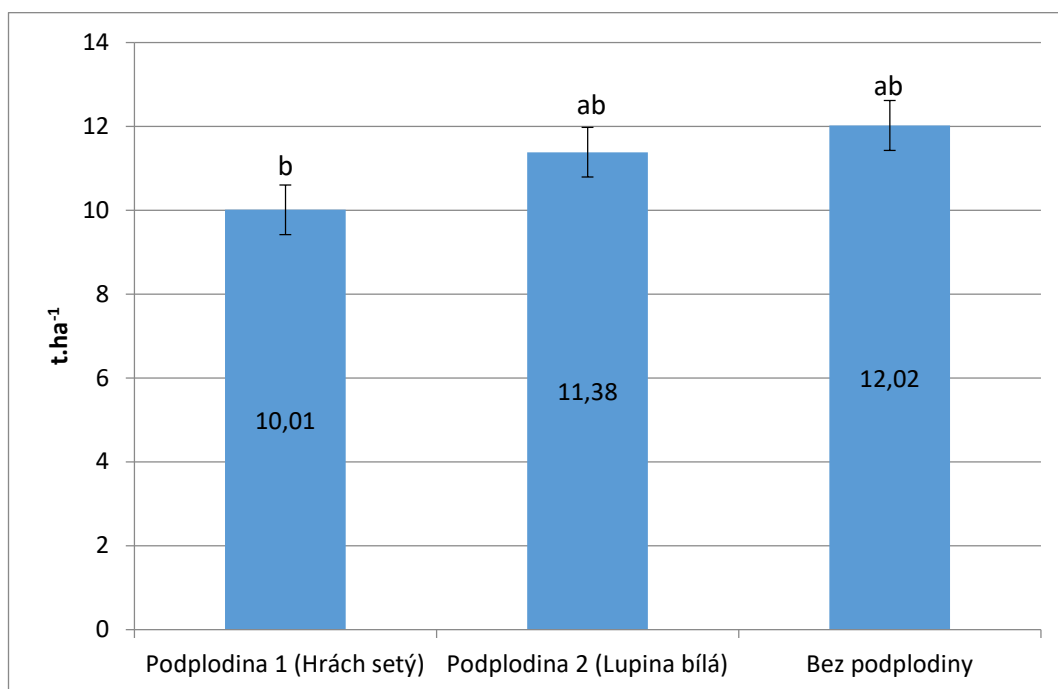


Graf 12: Vliv podplodiny na sklizňovou sušinu. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = 5,4764, sv = 15,000

V grafu č. 12 lze sledovat vliv podplodiny na obsah sklizňové sušiny. Nejvyšší obsah sušiny při sklizni byl naměřen na variantě bez podplodiny. Z těchto výsledků lze usuzovat, že nejdříve dozrávala varianta bez podplodiny, poté varianta podplodina 1 (Hrách setý) a nejpозději varianta podplodina 2 (Lupina bílá).

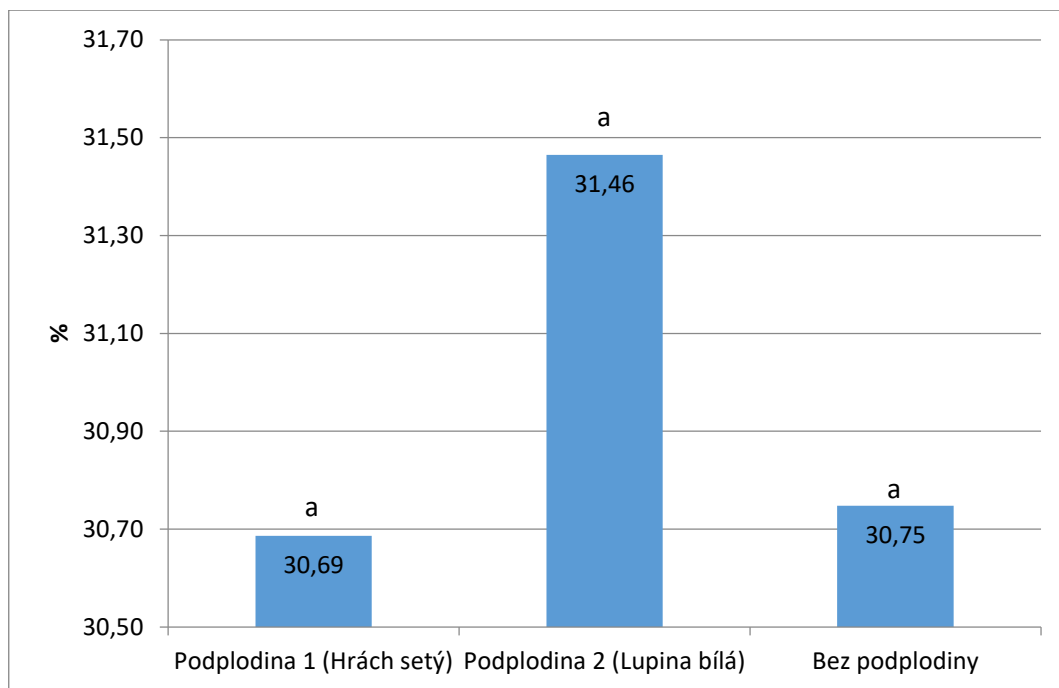


Graf 13: Vliv podplodiny na výnos zrna. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = 1,4514, sv = 12,000



Graf 14: Vliv podplodiny na výnos zrna při 14% vlhkosti. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. PČ = 0,91001, sv = 12,000

Nejvyššího výnosu zrna bylo dosaženo na variantě bez podplodiny. Přepočítaný výnos na 14% vlhkost zde byl 12,02 t.ha⁻¹. Druhý nejvyšší výnos 11,38 t.ha⁻¹ byl dosažen na variantě podplodina 2 (Lupina bílá) a nejnižší 10,01 t.ha⁻¹ na variantě podplodina 1 (Hrách setý). Statisticky významný rozdíl ve výnosu zrna je pouze mezi variantami podplodina 1 a podplodina 2, dále mezi variantou podplodina 1 a bez podplodiny. (grafy č. 13 a 14)



Graf 15: Vliv podplodiny na vlhkost zrna při sklizni. Tukeyův HSD test; alfa = 0,05; Chyba: meziskup. $PC = 2,2016$, $sv = 12,000$

Vlhkost zrna při sklizni byla nejnižší na variantě podplodina 1 (graf č. 15). Tato skutečnost souvisí s tím, že rostlinám kukuřice konkurovaly plevele, které jim odebraly vodu, živiny a přístup ke světlu. I přesto, že vlhkost půdy byla na této variantě vyšší než na variantě bez podplodiny, plevele odebraly velké množství vody, což se projevilo na výsledné vlhkosti zrna. Naopak nejvyšší vlhkost zrna byla naměřena na variantě podplodina 2. Na této variantě se plevele vyskytovaly v menší míře než na variantě podplodina 1, také podplodina zde nevzešla dobře a byla poškozena škůdci (zajíci). Tudíž zde nebyla tak velká konkurence o vodu, živiny a světlo, proto zde byla naměřená nejvyšší vlhkost zrna.

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Podplodina	1,278	0,155	0,913	0,253	0,133
Kontrola	1,280	0,165	0,853	0,245	0,135

Tabulka 5: Vliv podplodiny na obsah živin v sušině.

Z tabulky č. 5 můžeme zjistit, že pěstování kukuřice s podplodinou nemá průkazný vliv na množství makroprvků v řezance kukuřice. Na obou variantách je vždy přibližně stejné množství určité živiny v sušině rostliny. Větší rozdíl mezi variantami je patrný u draslíku, kde je vyšší obsah u kukuřice s podplodinou. Vaněk et al.(2012) uvádějí, že draslík je lépe přijímán při vyšší vlhkosti půdy. K této skutečnosti mohlo dojít u varianty kukuřice s podplodinou, neboť zde byla pomocí půdního čidla naměřena vyšší půdní vlhkost během vegetace (graf č. 6).

6 Diskuze

6.1 Průběh počasí na pokusné lokalitě Červený Újezd

Na výše uvedených grafech 3, 4, 5 byl sledován dlouhodobý vývoj počasí od roku 2013 do 2019. Jsou zde vidět srážkové výkyvy, ke kterým docházelo v jednotlivých letech. V hospodářských letech 2013/2014, 2015/2016, 2016/2017 byl úhrn srážek vyšší oproti dlouhodobému normálu. Nejvíce napršelo v hospodářském roce 2013/2014, o 62,1 mm srážek více ve srovnání s dlouhodobým normálem. V roce 2015/2016 byl celkový úhrn srážek vyšší o 9,9 mm oproti dlouhodobému normálu a v roce 2016/2017 byl celkový úhrn srážek vyšší oproti normálu o 1,6 mm. Srážkový deficit byl zaznamenán v hospodářských letech 2014/2015 2017/2018 a 2018/2019, kdy napršelo v hospodářském roce 2014/2015 o 37,2 mm srážek méně, 2017/2018 o 118,3 mm srážek méně a v roce 2018/2019 o 11,2 mm srážek méně oproti dlouhodobému normálu.

Stejně tak u teploty dochází k dlouhodobému trendu oteplování, neboť ve sledovaném období hospodářských let 2013/2014 až 2018/2019 byla každý rok průměrná roční teplota vyšší v porovnání s dlouhodobým normálem. Trend takového průběhu počasí potvrzuje i BBC (2020), kde uvádějí, že do konce tohoto století by mohla stoupnout průměrná teplota o 3 – 5 °C. Tato klimatická změna je způsobena zvyšováním koncentrace skleníkových plynů, které zachycují více energie, a tím dochází k oteplování.

Každé z posledních tří desetiletí bylo teplejší než kterékoliv předchozí desetiletí od roku 1850. Období od roku 1983 do 2012 bylo na severní polokouli pravděpodobně nejteplejší třicetileté období za posledních 800 let. (IPCC 2014).

Při celkovém hodnocení průběhu počasí během vegetační doby kukuřice v roce 2019 dojdeme k tomu, že teplotně bylo toto období v porovnání s posledními třiceti lety silně nadnormální a srážkově normální.

Naproti tomu existují studie (Palter 2015), které uvádí možnost, že proudění v severním Atlantiku, jehož součástí je Golfský proud, se zpomalí a dojde k ochlazení klimatu v Evropě.

Oznámení solárních vědců uvádí, že slunce může vstoupit do roku 2030 do výrazně nižší aktivity a způsobit malou dobu ledovou (IFL Science 2020). Celkově lze říci, že probíhá klimatická změna, které se budeme muset pomoci nových pěstitelských technologií přizpůsobit.

6.2 Vliv podplodiny na vlhkost a teplotu půdy

Dle měření byla po celou dobu vegetace vyšší vlhkost půdy v hloubce 20 cm na variantě s podplodinou. Tento výsledek je v souladu s Ndiso et al. (2017), kteří vyzorovali, že nejnižší vlhkost půdy je na variantě monokulturně pěstované kukuřice v porovnání s variantami pěstování formou intercroppingu. Vyšší teplota půdy v hloubce 10 cm byla po celou dobu vegetace měřena na variantě bez podplodiny. Tyto hodnoty zde byly naměřeny proto, že na povrchu půdy nebyl žádný rostlinný pokryv, který by jej ochlazoval. Ke stejnému výsledku došli i Ghanbari et al. (2010), kteří pěstovali kukuřici v intercroppingu s vignou (*Vigna*).

6.3 Vliv podplodiny na rychlost fotosyntézy a transpirace

Vyšší rychlost fotosyntézy byla naměřena na variantě bez podplodiny ($11,89 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Na variantě s podplodinou byla naměřena rychlost fotosyntézy o $3,61 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ nižší. Tato skutečnost souvisí s tím, že rostliny kukuřice na této variantě byly vystaveny stresu. Byl zde vysoký tlak plevelů, které konkurovaly rostlinám o vodu a živiny. Podle měření byla na variantě s podplodinou zjištěna vyšší vlhkost půdy. Vzhledem k tomu, že se zde plevele vyskytovaly v překročeném prahu škodlivosti, odebraly vodu rostlinám kukuřice, které měly vodní deficit a následně nižší rychlost fotosyntézy. Tento výsledek je v souladu s Liu et al. (2012), kteří uvádějí, že pod stresem sucha dochází ke snížení rychlosti fotosyntézy rostliny. Ghannoum (2009) uvádí také stejné výsledky. Pokud je rostlina ve vodním stresu dochází ke snížení rychlosti fotosyntézy. Li et al. (2019) uvádějí, že na pokusné variantě v pásovém intercroppingu, kde pěstovali kukuřici a podzemnici olejnou, docházelo k vyšší rychlosti fotosyntézy o přibližně 23 % ve srovnání s kukuřicí pěstovanou monokulturně. Tyto výsledky vykazují opačný jev v porovnání s našimi výsledky, kde je rychlost fotosyntézy na variantě s podplodinou o přibližně 30 % nižší. Tato skutečnost byla nejspíše způsobena rozdílnou variantou intercroppingu, kde v našem případě bylo využito řádkového intercroppingu, a výše uvedení autoři využili pásovou variantu intercroppingu.

Rychlost transpirace byla naměřena vyšší na variantě bez podplodiny ($1,19 \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Na variantě s podplodinou, jak je již výše uvedeno, docházelo k vodnímu stresu rostliny, tudíž byla snížena i transpirace rostliny. Tuto skutečnost, že dochází ke snížení transpirace rostliny, pokud je ve vodním stresu, dokládá ve své práci i Jabeen et al. (2008).

S rychlostí fotosyntézy a transpirace souvisí také výška rostlin, která byla na variantě bez podplodiny přibližně o 35 cm vyšší. Zde můžeme sledovat souvislost fyziologických pochodů rostliny s následnou výškou rostliny a výnosem biomasy. Je zde patrné, že pokud rostlina trpí nějakým stresem, je omezována plevele, nedokáže využít svůj potenciál a jejím cílem je pouze zachování druhu, tedy vstoupit co nejrychleji do generativního stádia růstu a vytvořit semena na úkor výnosu biomasy.

6.4 Vliv podplodiny na výnos biomasy

Největší vliv na výnos kukuřice mají meteorologické podmínky v době nejintenzivnějšího růstu (období 55 – 90 dní od vzejití). V době květu se nárůst biomasy pozastaví a dochází k tvorbě kvalitativní složky výnosu (Šuk et al. 1998). Z výše uvedeného grafu č. 5 o průběhu počasí na pokusné lokalitě můžeme usoudit, že období největšího růstu bylo pro kukuřici přijatelné (především v první polovině), v druhé polovině tohoto období již byla přesáhnuta optimální teplota, ale srážky se vždy po několika dnech dostavily. Toto počasí kukuřici velmi prospělo a kombinace tepla a vlhka pomohla kukuřici vytvořit základ vysokého výnosu.

Ngwira et al. (2012) uvádí, že intercropping kukuřice a luskoviny snižuje výnos kukuřice zejména v suchých letech. Pro toto zjištění by bylo vhodné náš pokus opakovat ve více letech, aby se projevil vliv ročníku.

Ndiso et al. (2017) uvádějí výnos biomasy kukuřice vyšší na variantě monokulturního pěstování. Výsledek tohoto vědeckého článku je v souladu s výsledky této diplomové práce.

Hlavním problémem v našich pokusech bylo zaplevelení. Lehoczky a Reisinger (2003) uvádějí, že plevele v kukuřici mají rozhodující roli v boji o živiny. V počátečních fázích růstu odeberou plevele až pětkrát více živin z půdy než porost kukuřice. Hmotnost biomasy kukuřice pěstované na nezapleveleném pozemku byla o 66 % vyšší než na pozemku, kde kukuřici konkurovalo mnoho druhů plevelů. Výnos kukuřice pěstované s herbicidní ochranou uvádějí 8,5 – 11 t.ha⁻¹, kdežto pokud plevele kukuřici konkurují již ve stádiu mladých rostlin, výnos dosahuje pouze 3 – 5 t.ha⁻¹. Zde můžeme sledovat podobnost, protože v našem pokusu na variantě podplodina 1 a podplodina 2 nebyla kukuřice z důvodu podplodiny herbicidně ošetřována. Byla zde také v den setí kukuřice zasetá podplodina, kterou v tomto případě můžeme považovat za plevelnou rostlinu, která konkuruje kukuřici o živiny a o vodu. V našem případě došlo ke snížení výnosu biomasy cca o 7,7 t suché hmoty.ha⁻¹ a u výnosu zrna došlo na variantě podplodina 1 ke snížení o 2,01 t.ha⁻¹ a na variantě podplodina 2 o 0,64 t.ha⁻¹ ve srovnání s kontrolní variantou bez podplodiny. Podplodinu by bylo vhodné sít s vyšším výsevkem do užších řádků. Rostliny by tak vytvořily souvislejší povrch a nedošlo by k tak silnému zaplevelení.

Podle Kamara et al. (2017) je produktivita systémů pěstování kukuřice zlepšována pomocí intercroppingu se sójou. Veškeré varianty intercroppingu v lokalitách a letech vykazují ekonomické výhody v porovnání s pěstováním plodiny klasickým způsobem. Dle jejich výsledků je výnos suché hmoty kukuřice na variantě pěstování v intercroppingu se sójou nižší oproti variantě kontrolní, kde je pěstována pouze kukuřice. Zde můžeme sledovat trend shodný s výsledky této diplomové práce, kde výnos kukuřice je taktéž nižší na variantě s podplodinou. Kamara et al. (2017) dosahují dobrého ekonomického výsledku, protože sklízí a zpracovávají i podplodinu. Z tohoto důvodu dosahují vyššího výnosu biomasy z jednoho hektaru a také vyšší LER. V našem pokusu nebyla podplodina sklizena, neboť z důvodu rozdílné vegetační doby zaschla dříve a tvořila pouze rostlinný mulč v meziřadí rostlin kukuřice. Pokud by se uskutečnilo to, aby rostliny kukuřice a s ní pěstované podplodiny dozrávaly přibližně stejně, mohlo by se docílit výborného ekonomického výsledku z jednoho hektaru půdy.

6.4.1 Vliv podplodiny na sklizňovou sušinu

Kukuřice na variantě bez podplodiny dosahovala nejvyšší sušiny (40,13 %). Varianty s podplodinou dosahovaly hodnot 36,07 % a 33,99 %. Z toho lze usuzovat, že varianta bez podplodiny začala dozrávat dříve. Poštulka (2010) uvádí, že nejlepší sušina pro tvorbu siláže je v rozmezí 32 – 34 %. V tomto období je dosaženo maximálního podílu fyziologicky zralých a zdravých zrn bez napadení fusáriemi. Při tomto rozmezí sušiny bývá uloženo v rostlině více než 30 % škrobu v kilogramu sušiny. Kukuřice, u které se pohybuje sušina nad 40 % již nepředstavuje materiál vhodný k silážování. Takto vysoký obsah sušiny redukuje fermentační proces. V našem případě by byla nejkvalitnější siláž z hlediska sušiny vytvořena z varianty podplodina 2. Pokud bychom chtěli mít kvalitní siláž i z varianty bez podplodiny měli bychom tomu přizpůsobit termín sklizně, který by musel být dřívější cca o 3 dny. Záleží na vnějších podmínkách, zejména na počasí.

6.5 Vliv podplodiny na výnos zrna

Nejvyššího výnosu zrna bylo dosaženo na variantě bez podplodiny ($12,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 14% vlhkost). Naopak nejnižšího výnosu zrna bylo dosaženo na variantě podplodina 1 (Hrách setý). Stejného výsledku dosáhli i Raza et al. (2019), kteří pěstovali ve štafetovém intercroppingu kukuřici a sóju. Ndiso et al. (2017) a Takim (2012) uvádějí ve svých pracích také nižší výnos kukuřičného zrna při pěstování kukuřice v řádkovém intercroppingu.

Vyšší výnos kukuřičného zrna na variantě pásového intercroppingu uvádí Li et al. (2019). Tohoto výsledku bylo dosaženo z důvodu volby pásového intercroppingu.

6.6 Vliv podplodiny na množství živin v rostlině

Raza et al. (2019) uvádějí, že v jejich pokusech pěstování kukuřice formou intercroppingu se sójou docházelo k vyšší akumulaci dusíku a draslíku v rostlině na variantě monokulturně pěstované kukuřice. U fosforu uvádějí vyšší příjem na variantě intercroppingu se sójou. Výsledky našeho měření u dusíku a fosforu vykazují stejný trend jako u výše uvedených autorů. Pouze u draslíku nám vyšly opačné hodnoty. V našem případě je na variantě s podplodinou obsaženo vyšší množství draslíku v rostlině. Vaněk et al. (2012) říkají, že množství draslíku v půdním roztoku je závislé na půdním druhu a obsahu výměnného draslíku v půdě. Vyšší příjem draslíku rostlinami se projevuje při vyšších teplotách a vyšší vlhkosti půdy. U odběru draslíku z půdy se často vyskytují ročníkové výkyvy v důsledku rozdílných povětrnostních poměrů jednotlivých let. V našem pokusu k této skutečnosti mohlo dojít, a proto by bylo vhodné provést víceleté měření.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnocení vlhkosti půdy při pěstování podplodin v porostu kukuřice, dalším cílem bylo porovnání produktivity porostu a intenzity fotosyntézy na pokusných variantách. Za tímto účelem byl založen ve výzkumné stanici FAPPZ Červený Újezd maloparcelkový pokus ve 3 variantách (2 podplodiny a 1 kontrola) a čtyřech opakováních. Na jednotlivých variantách byla kukuřice pěstována v intercroppingu s podplodinami hrách setý (varianta 1), lupina bílá (varianta 2) a kontrolní varianta.

Z našich výsledků plyne, že vlhkost půdy v hloubce 20 cm je vyšší na variantě, kde se pěstovala kukuřice současně s podplodinou, v porovnání s kontrolní variantou bez podplodiny. Teplota půdy na variantě s podplodinou byla po celou dobu vegetace nižší. Podplodina má tedy významný vliv na vlastnosti půdy a množství vody v půdě. Zde **přijímáme hypotézu č. 1**, že pěstování kukuřice s využitím podplodiny zvýší schopnost půdy infiltrovat dešťové srážky, což se projeví větší vlhkostí půdy v době delšího období sucha, v porovnání s kontrolní variantou bez podplodiny.

Z dalšího měření fotosyntézy a výnosových parametrů jsme došli k výsledkům, že rychlost fotosyntézy a transpirace rostlin kukuřice byla vyšší na variantě bez podplodiny. Z hodnocení výsledků při sklizni bylo zjištěno, že výnos biomasy i výnos zrna byl vyšší na kontrolní variantě (bez podplodiny) v porovnání s variantou s podplodinou. Tohoto výsledku bylo dosaženo proto, že porosty s využitím podplodiny nebyly herbicidně ošetřovány a došlo zde k velkému tlaku plevelů, který omezil růst rostlin kukuřice. (viz foto, příloha č. 2)

Nejvyšší sušina zelené hmoty byla naměřena na variantě bez podplodiny.

Výše uvedené měření **vyvrací hypotézu č. 2**, že současné setí kukuřice s podplodinou zvýší fotosyntetickou produkci rostlin (výnosové parametry) ve srovnání s klasickou kontrolní variantou.

Dále bylo sledováno množství živin v sušině rostliny. Mezi variantou s podplodinou a bez podplodiny nebyl zaznamenán významný vliv na množství živin v rostlině.

Pokus v této diplomové práci byl pouze jednoletý. Jednoletá pozorování jsou v polních podmínkách velmi ovlivněna vlivy ročníku a stanoviště. Jejich vypovídací schopnost může být nižší. Proto by bylo vhodné pokus opakovat ve více letech a na více stanovištích. Výsledky ze sklizně byly vyhodnoceny v programu Statistica 12.1 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Součástí této diplomové práce bylo také vyhodnocení průběhu počasí za posledních 6 let. Bylo zjištěno, že dochází k postupnému oteplování s nerovnoměrným rozložením srážek během roku.

Tento trend bude nejspíše pokračovat a bude na pěstitelích, aby se tomu přizpůsobili a hospodařili na půdě tak, aby nedocházelo k její degradaci a dokázala poskytovat dostatečný, trvale udržitelný výnos, který je základem pro výrobu potravin. Jednou z technologií, kterou by zemědělci mohli v budoucnu využívat, je technologie pěstování v intercroppingu. Z našich výsledků vychází, že tato technologie nebude v dnešní době ekonomicky efektivní, ale jsou zde další benefity (zabránění erozi, doplnění organické hmoty do půdy), které jsou velmi důležité. Záleží tedy pouze na pěstiteli, kterou cestou se vydá, zda bude pouze maximalizovat svůj zisk, nebo bude dělat i věci prospěšné pro přírodu.

8 Literatura

Abraham EM, Ganopoulos I, Madesis P, Mavromatis A, Mylona P, Nianiou-Obeidat I, Parissi Z, Polidoros A, Tani E, Vlachostergios D. 2019. The Use of Lupin as a Source of Protein in Animal Feeding: Genomic Tools and Breeding Approaches. *International Journal of Molecular Sciences* **20**: 1 – 27.

Altieri MA. 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Intermediate Technology Publications, London.

Annicchiarico P, Romani M, Pecetti L. 2018. White lupin (*Lupinus albus*) variation for adaptation to severe drought stress. *Plant Breeding* **137**: 782 – 789.

Antonietta M, Fanello DD, Acciaresi HA, Guiamet JJ. 2014. Senescence and yield responses to plant density in stay green and earlier-senescing maize hybrids from Argentina. *Field crops research*. **155**: 111 – 119.

Arias S, Bhatia SK. 2015. *Medical Applications for Biomaterials in Bolivia*. Springer International Publishing, Switzerland.

Balík J, Černý J, Tlustoš P. 2001. Principy hnojení kukuřice. *Úroda* **11**:

Banik P, Midya A, Sarkar BK, Ghose SS. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy* **24**: 325 – 332.

BBC. 2020. What is climate change? A really simple guide. Available from <https://www.bbc.com/news/science-environment-24021772> (accessed March 2020).

Bekunda M, Sanginga N, Woomer PL. 2010. Restoring Soil Fertility in Sub-Sahara Africa. Pages 183 – 236 in Sparks DL, editor. *Advances in Agronomy*. Elsevier, Amsterdam.

Belícuas PR, Aguiar AM, Bento DAV, Câmara TMM, De Souza Junior CL. 2014. Inheritance of the stay-green trait in tropical maize. *Euphytica* **198** (2):

Beneš P. 2011. Sklizeň kukuřice v nových dimenzích. *Zemědělec* **19. 8. 2011**.

Birch CJ, Hammer GL, Rickert KG. 1999. Dry matter accumulation and distribution in five cultivars of maize (*Zea mays*): relationships and procedures for use in crop modelling. *Australian Journal of Agricultural Research* **50**: 513 – 527.

Bláha L, Bocková R, Hnilička F, Hniličková H, Holubec V, Möllerová J, Štolcová J, Zieglerová J. 2003. Rostlina a stres. VÚRV Praha, Praha.

Boudreau MA. 2013. Diseases in Intercropping Systems. *Annual Review of Phytopathology* **51**: 499 – 519.

Brooker RW, Bennett AE, Cong WF, Daniell TJ, George TS, Hallett PD, Hawes C, Iannetta PPM, Jones HG, Karley AJ, Li L, McKenzie BM, Pakeman RJ, Paterson E, Scheob C, Shen J, Squire G, Watson CA, Zhang C, Zhang F, Zhang J, White PJ. 2014. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New phytologist* **206**: 107 – 117.

Buerkert A, Cassman KG, de la Piedra R, Munns DN. 1990. Soil Acidity and Liming Effects on Stand, Nodulation, and Yield of Common Bean. *Agronomy Journal* **82**: 749 – 754.

Bybee-Finley KA, Matthew RR. 2018. Advancing Intercropping Research and Practices in Industrialized Agricultural Landscapes. *Agriculture* **8**:80 – 104.

Cousin R. 1997. Peas (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Research* **53**: 111 – 130.

Český statistický úřad. 2019. Zemědělství. Available from https://www.czso.cz/csu/czso/zemedelstvi_zem (accessed listopad 2019).

Dapaah HK, Vyn TJ. 1998. Nitrogen fertilization and cover crop effects on soil structural stability and corn performance. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **29**: 2557 – 2569.

Ding L, Wang KJ, Jiang GM, Liu MZ, Gao LM. 2007. Photosynthetic rate and yield formation in different maize hybrids. *Biologia Plantarum* **51**: 165 – 168.

Duvick DN. 2005. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *USA Maydica* **50**: 193 – 202.

eAGRI a. 2019. Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy DZES (GAEC). Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha. Available from <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/dobry-zemedelsky-a-environmentalni-stav/?fullArticle=1> (accessed listopad 2019).

eAGRI b. 2019. Shrnutí informací k podmínkám standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy DZES. Agrární komora České republiky, Praha. Available from <http://www.akcr.cz/txt/shrnuti-informaci-k-podminkam-standardu-dobrego-zemedelskeho-a-environmentalniho-stavu-pudy-dzes> (accessed listopad 2019).

eAGRI c. Kontrola podmíněnosti. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha. Available from <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/> (accessed listopad 2019).

Erbas M, Certel M, Uslu MK. 2005. Some chemical properties of white lupin seeds (*Lupinus albus* L.). *Food Chemistry* **89**: 341 – 345.

Eskandari H. 2012. Intercropping of Maize (*Zea mays*) with Cowpea (*Vigna Sinensis*) and Mungbean (*Vigna radiata*): Effect of Complementarity of Intercrop Components on Resource Consumption, Dry matter Production and Legumes Forage Quality. *Journal of Basic and Applied Scientific Research* **2**: 355 – 360.

Essington ME. 2015. *Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach*, Second Edition. CRC Press, Boca Raton.

Faostat. 2019. Faostat Data. Food and Agriculture Organization, Rome. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed prosinec 2019).

Farooq M, Hussain M, Wahid A, Siddique KHM. 2012. Drought Stress in Plants: An Overview. Pages 1 – 33 in Aroca R, editors. *Plant Responses to Drought Stress*. Springer Verlag, Berlin.

Feike T, Doluschitz R, Chen Q, Graeff-Hönninger S, Claupein W. 2012. How to Overcome the Slow Death of Intercropping in the North China Plain. *Sustainability* **4**: 2550 – 2565.

Franzluebbers AJ. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* **66**: 197 – 205.

Fuksa P, Kalista J. 2006. Výběr hybridů kukuřice v roce 2006. *Agromanuál* **3**:

Gage DJ. 2004. Infection and Invasion of Roots by Symbiotic, Nitrogen-Fixing Rhizobia during Nodulation of Temperate Legumes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **68**: 280 – 300.

Gardner WH. 1986. Water Content. Pages 493 – 544 in Klute A, editor. *Methods of Soil Analysis: Part 1 — Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Madison.

Ghanbari A, Dahmardeh M, Fakheri BA, Ramroudi M. 2010. Effect of maize (*Zea mays* L.) - Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping on light distribution, soil temperature and soil moisture in arid environment. *Journal of Food Agriculture and Environment* **8(1)**:

- Ghannoum O. 2009. C4 photosynthesis and water stress. *Annals of Botany* **103**: 635–644.
- Gil MV, Carballo MT, Calvo LF. 2007. Fertilization of maize with compost from cattle manure supplemented with additional mineral nutrients. *Waste Management* **28 (8)**: 1432 – 1440.
- Goodman MM. 1988. The history and evolution of Maize. *Critical Reviews in Plant Sciences* **7**: 197 – 220.
- Gresta F, Wink M, Prins U, Abberton M, Capraro J, Scarafoni A, Hill G. 2017. Lupins in European Cropping System. Pages 88 – 108 in Murphy-Bokern D, Stoddard FL, Watson CA, editors. *Legumes in Cropping Systems*. CABI, Wallingford.
- Herout M. 2017. Metoda strip-till aneb jak pěstovat kukuřici šetrně. *Agromanuál* **6**:
- Hillel D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego.
- Holý M. 1994. *Eroze a životní prostředí*. České vysoké učení technické, Praha.
- Hsiao J, Swanna ALS, Kim SH. 2019. Maize yield under a changing climate: The hidden role of vapor pressure deficit. *Agricultural and Forest Meteorology* **279**:
- Hussain M, Malik MA, Farooq M, Ashraf MY, Cheema MA. 2008. Improving Drought Tolerance by Exogenous Application of Glycinebetaine and Salicylic Acid in Sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science* **194**: 193 – 199.
- Huyghe C. 1997. White lupin (*Lupinus albus* L.) *Field Crops Research* **53**:147 – 160.
- Cheng L, Han M, Yang LM, Yang L, Sun Z, Zhang T. 2018. Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of *Scutellaria baicalensis* Georgi under drought stress. *Industrial Crops and Products* **122**: 473 – 482.
- IFL Science. 2020. Thanks To Reduced Solar Activity, We Could Be Heading For A Mini Ice Age In 2030. Available from <https://www.iflscience.com/environment/we-could-be-heading-mini-ice-age-2030/> (accessed March 2020)
- IPCC 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva.

- Jabeen F, Shahbaz M, Ashraf M. 2008. Discriminating some prospective cultivars of Maize (*Zea Mays* L.) for drought tolerance using gas Exchange characteristics and proline contents as physiological markers. *Pakistan Journal of Botany* **40(6)**: 2329-2343.
- Jabran K, Mahajan G, Sardana V, Chauhan BS. 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection* **72**: 57 – 65.
- Janeček M, Dostál T, Kozlovsky Dufková J, Dumbrovský M, Hůla J, Kadlec V, Konečná J, Kovář P, Krása J, Kubátová E, Kobzová D, Kudrnáčová M, Novotný I, Podhrázská J, Pražan J, Procházková E, Středová H, Toman F, Vopravil J, Vlasák J. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. *Metodika. Česká zemědělská univerzita – Fakulta životního prostředí, Praha*.
- Kamara AY, Tofa AI, Ademulegun T, Solomon R, Shehu H, Kamai N, Omoigui L. 2017. Maize-Soybean intercropping for sustainable intensification of cereal-legume cropping system in Northern Nigeria. *Experimental Agriculture*, **November 2017**: 1 – 15.
- Kenkel S. 2015. The History of Hybrid Corn. Hybrid Corn Collector, Iowa. Available from <http://www.hybridcorncollector.com/hybrid-corn-history.html> (accessed únor 2020).
- Kermah M, Franke AC, Adjei-Nsiah S, Ahiabor BD, Abaidoo RC, Giller KE. 2017. Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. *Field Crops Research* **213**: 38-50.
- Kim SG, Lee JS, Bae HH, Kim JT, Son BY, Kim SL, Baek SB, Shin S, Jeon WT. 2019. Physiological and proteomic analyses of Korean F1 maize (*Zea mays* L.) hybrids under water-deficit stress during flowering. *Applied Biological Chemistry* **12**:
- Kovaleva AM, Kovalev VN. 1985. Nitrogen-containing compounds of *Pisum sativum*. *Chemistry of natural compounds* **21**: 398.
- Kožnarová V, Klabzuba J. 2002. Doporučení WMO pro popis meteorologických, resp. Klimatologických podmínek definovaného období. *Rostlinná výroba* **48**: 190 – 192.
- Křížek J. 2002. Způsoby sklizně kukuřice. *Úroda* **2**:
- Kůst F. 2009. Výroba kukuřice na siláž a na zrna. *Zemědělec* **6. 11. 2009**.
- KWS a. 2019. Požadavky na stanoviště pro kukuřici. Available from <https://www.kws.com/cz/cs/poradenstvi/zakladani-porostu/pozadavky-na-stanoviste/kukurice/> (accessed říjen 2019).

KWS b. 2019. Termín setí kukuřice. Available from <https://www.kws.com/cz/cs/poradenstvi/zakladani-porostu/termin-seti/kukurice/> (accessed říjen 2019).

Lal R, Elliot W. 2017. Erodibility and Erosivity. Pages 181 – 211 in Lal R editor. Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society (U. S.), New York.

Larcher W. 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha.

Lehoczky É, Reisinger P. 2003. Study on the weed – crop competition for nutrients in maize. Comm. Appl. Biol. Sci. **68**: 373 – 380.

Li L, Tilman D, Lambers H, Zhang FS. 2014. Plant diversity andoveryielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. The New Phytologist **203**: 63 – 69.

Li Y, Shi D, Li G, Zhao B, Zhang J, Liu P, Ren B, Dong S. 2019. Maize/peanut intercropping increases photosynthetic characteristics, ¹³C-photosynthate distribution, and grain yield of summer maize. Journal of Integrative Agriculture **18** (10): 2219–2229.

Liu M, Qi H, Zhang ZP, Song ZW, Kou TJ, Zhang WJ, Yu JL. 2012. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence to drought stress in two maize cultivars. African Journal of Agricultural Research **7**(34): 4751-4760.

Mach S. 2017. Zvýšení efektivity zemědělské bioplynové stanice „Měčín“ v okrese Klatovy. [Diplomová práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

Mangelsdorf PC. 1986. The Origin of Corn. Scientific American **255**(2): 80 – 86.

Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, Amsterdam.

Maxted N, Ambrose M. 2001. Peas (*Pisum L.*). Pages 181 – 190 in Maxted N, Bennett SJ, editors. Plants Genetic Resources of Legumes in the Mediterranean. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Miaschi J. 2017. What is Intercropping? World Atlas. Available from: <https://www.worldatlas.com/articles/what-is-intercropping.html> (accessed January 2020).

Mousavi SR, Eskandari H. 2011. A General Overview on Intercropping and Its Advantages in Sustainable Agriculture. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences **1**: 482 – 486.

- Ndiso JB, Chemining'wa GN, Olubayo FM, Saha HM. 2017. Effect of cropping system on soil moisture content, canopy temperature, growth and yield performance of maize and cowpea. *International Journal of Agricultural Sciences* **7** (3): 1271-1281.
- Ngwira A, Aune JB, Mkwinda S. 2012. On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research* **132**:149-157.
- Novák J, Skalický M. 2012. *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika*. Powerprint, Praha.
- Ofori F, Stern WR. 1987. Cereal–Legume Intercropping Systems. *Advances in Agronomy* **41**: 41-90.
- Okunlola GO, Olatunjib OA, Akinwale RO, Tariqb A, Adelusie AA. 2017. Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae* **224**: 198 – 205.
- Ott T, van Dongen JT, Günther C, Krusell L, Desbrosses G, Vigeolas H, Bock V, Czechowski T, Geigenberger P, Udvard MK. 2005. Symbiotic Leghemoglobins Are Crucial for Nitrogen Fixation in Legume Root Nodules but Not for General Plant Growth and Development. *Current Biology* **15**: 531 – 535.
- Palter JB. 2015. The Role of the Gulf Stream in European Climate. *Annual Review of Marine Science* **7**: 113 – 137.
- Peichl M, Thober S, Samaniego L, Hansjürgens B, Marx A. 2019. Climate impacts on long-term silage maize yield in Germany. *Scientific Reports* **9**:
- Petr J, Černý V, Hruška L. 1980. *Tvorba výnosu hlavních polních plodin*. SZN, Praha.
- Petr J, Húska J. 1997. *Speciální produkce rostlinná*. Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, Praha.
- Poštulka R. 2010. Význam obsahu sušiny při silážování. *Úroda* **8**:
- Procházka S, Macháčková I, Krekule J, Šebánek J, Gloser J, Havel L, Nátr L, Prášil I, Sladký Z, Šantůček J, Tesařová M, Vyskot B. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha.
- Prokeš K. 2009. *Kukuřice v praxi: sborník ze semináře s mezinárodní účastí*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno.

Pulkrábek J, Capouchová I. 2019. Zemědělské komodity, Hrách. 2019. Available from <http://www.zemedelskekomodity.cz/index.php/roslinna-vyroba-menu/luskoviny/hrach> (accessed listopad 2019).

Ranum P, Pěna-Rosas JP, Garcia-Casal MN. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1312**: 105 – 112.

Raza MA, Khalid MHB, Zhang X, Feng LY, Khan I, Hassan MJ, Ahmed M, Ansar M, Chen YK, Fan YF, Yang F, Yang W. 2019. Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. *Scientific Reports* **9 (4947)**: 1 – 14.

Seran TH, Brintha I. 2010. Review on Maize Based Intercropping. *Journal of Agronomy* **9**: 135 – 145.

Shah R, Prasad K, Kumar P. 2016. Maize—A potential source of human nutrition and health. A review. *Cogent Food & Agriculture* **2**: 1 – 9.

Sharma A, Kaur R, Katnoria JK, Kaur R, Nagpal AK. 2017. Family Fabaceae: A Boon for Cancer Therapy. Pages 157 – 175 in Malik S, editor. *Biotechnology and Production of Anti-Cancer Compounds*. Springer, Cham.

Sharma RC, Banik P. 2013. Baby Corn-Legumes Intercropping System: II Weed Dynamics and Community Structure. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* **67**: 11-18.

Sheaffer CC, Moncada KM. 2012. *Introduction to agronomy: food, crops, and environment*. Delmar Cengage Learning, Clifton Park.

Schroeder HE, Schotz AH, Wardley-Richardson T, Spencer D., Higgins TJV. 1993. Transformation and Regeneration of Two Cultivars of Pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Physiology* **101**: 751 – 757.

Singh S, Varma A. 2017. Structure, Function, and Estimation of Leghemoglobin. Pages 309 – 330 in Hansen AP, Choudhary DK, Agrawal PK, Varma A, editors. *Rhizobium Biology and Biotechnology*. Springer, Berlin.

Skládanka J, Vrzalová J. 2006. Lupina včelí bob *Lupinus L.* Mendelova univerzita v Brně, Brno. Available from https://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=lupina.html (accessed listopad 2019).

- Sogbedji JM, van Es HM, Agbeko KL. 2006. Cover Cropping and Nutrient Management Strategies for Maize Production in Western Africa. *Agronomy Journal* **98**: 883 – 889.
- Szabados L, Savouré A. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* **15**: 89 – 97.
- Šantrůček J, Fuksa P, Hakl J, Kocourková D, Mrkvička J, Svobodová M, Veselá M. 2007. *Encyklopedie pěstování plodin. Česká zemědělská univerzita, Praha.*
- Šarapatka B. 2014. *Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.*
- Šuk J, Balík J, Jakobe P, Jambor V, Kohout V, Loučka R, Táborský V, Vrzal J. 1998. *Kukuřice. VP Agro spol. s. r. o., Kněževy.*
- Taiz L, Zeiger E. 2006. *Plant physiology. Sinauer Associates, Sunderland.*
- Takim FO. 2012. Advantages of Maize-Cowpea Intercropping over Sole Cropping through Competition Indices. *Journal of Agriculture and Biodiversity Research* **4**: 53 – 59.
- Tang C, Robson AD, Dilworth MJ. 1990. A Split-Root Experiment Shows that Iron is Required for Nodule Initiation in *Lupinus angustifolius* L. *The New Phytologist* **115**: 61 – 67.
- Togay N, Togay Y, Cimrin KM, Turan M. 2008. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Full Length Research Paper* **7**: 776 – 782.
- Tollenaar M, Dwyer LM. 1999. Physiology of Maize. Pages 169 – 204 in Smith DL, Hamel C, editors. *Crop Yield. Springer, Berlin.*
- Třináctý J, Matoušková H, Vychodilová D. 2012. Výběr hybridů kukuřice podle FAO. *Náš chov* 4. 1. 2012.
- Valíček P, Hlava B, Hušák S, Kokoška L, Matějka V, Michl J, Pavel L, Polesný Z, Wroblewská E, Zelený V. 2002. *Užitkové rostliny tropů a subtropů. Academia, Praha.*
- Vandermeer JH. 1989. *The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge.*
- Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha.*

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.

Vavřina M. 2016. Zrnová kukuřice – zajímavá tržní plodina. Úroda **10**:

Wang ZG, Jin X, Bao XG, Li XF, Zhao JH, Sun JH, Christie P, Li L. 2014. Intercropping Enhances Productivity and Maintains the Most Soil Fertility Properties Relative to Sole Cropping. Plos One **9**: 1 – 24.

Woolford MK, Pahlow G. 1998. The silage fermentation. Pages 73 - 102 in Wood BJB, editors. Microbiology of Fermented Foods. Springer, Boston.

Zavalin AA, Sokolov OA, Shmyreva NY, Lukin SV. 2019. Legume reaction to soil acidity. Amazonia Investiga **8**: 162 – 170.

Zimolka J, Balounová M, Cerkal R, Červinka J, Doležal P, Dvořák J, Fajman M, Hrstková P, Jánský J, Křen J, Palík S, Poláčková J, Polišínská I, Povolný M, Procházková B, Prokop M, Richter R, Ryant P, Říha K, Smutný V, Tichý F, Vaculová K, Winkler J, Zeman L. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press s. r. o., Praha.

9 Samostatné přílohy

9.1 Příloha č. 1: Meteorologická data Výzkumné stanice FAPPZ Červený Újezd 2013/2014 – 2018/2019)

Normál Praha Ruzyně 1960 – 2010

Rok	měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	Průměr (°C)	
2013/2014	Teplota °C	průměrná teplota	12,63	10,12	4,29	1,48	0,47	3,04	7,55	11,21	12,89	16,69	20,13	16,81	9,78
		normál	13,4	8,4	3	-0,5	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	7,98
		odchylka od normálu	-0,77	1,72	1,29	1,98	2,77	3,84	4,65	3,61	-0,01	0,49	2,53	-0,49	1,80
															Suma (mm)
	Srážky mm	množství srážek	39,7	47,6	27,5	6,1	19,7	1,7	35,3	28,3	91,5	25	155,5	57	534,9
		normál	33	26,5	29,9	22,3	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	472,8
		odchylka od normálu	6,7	21,1	-2,4	-16,2	-1,9	-19,7	9	-6,6	24,3	-38,5	96,8	-10,5	62,1

		měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	Průměr (°C)
		2014/2015	Teplota °C	průměrná teplota	16,12	10,72	5,77	2,28	1,78	0,7	5,48	8,96	13,65	16,19	20,82
normál	13,4			8,4	3	-0,5	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	7,98
odchylka od normálu	2,72			2,32	2,77	2,78	4,08	1,5	2,58	1,36	0,75	-0,01	3,22	4,63	2,39
Suma (mm)															
2015/2016	Srážky mm	množství srážek	76,7	54,1	24,1	31,6	19,1	1,6	32,6	30	44,7	37	29,4	54,7	435,6
		normál	33	26,5	29,9	22,3	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	472,8
		odchylka od normálu	43,7	27,6	-5,8	9,3	-2,5	-19,8	6,3	-4,9	-22,5	-26,5	-29,3	-12,8	-37,2
	Suma (mm)														

		měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	Průměr (°C)
		2015/2016	Teplota °C	průměrná teplota	14,58	8,18	6,68	4,75	-0,42	3,29	4,42	8,74	14,18	17,93	19,57
normál	13,4			8,4	3	-0,5	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	7,98
odchylka od normálu	1,18			-0,22	3,68	5,25	1,88	4,09	1,52	1,14	1,28	1,73	1,97	1,18	2,06
Suma (mm)															
2015/2016	Srážky mm	množství srážek	11,5	53,2	52,3	11,3	28,4	41,7	21,9	19,6	90,8	58,8	58,6	34,6	482,7
		normál	33	26,5	29,9	22,3	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	472,8
		odchylka od normálu	-21,5	26,7	22,4	-11	6,8	20,3	-4,4	-15,3	23,6	-4,7	-0,1	-32,9	9,9

2016/2017	Teplota °C	měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	Průměr (°C)
		průměrná teplota	17,64	8,45	2,68	0,67	-5,13	1,9	7,19	7,75	14,7	18,69	19,79	19,46	9,48
		normál	13,4	8,4	3	-0,5	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	7,98
		odchylka od normálu	4,24	0,05	-0,32	1,17	-2,83	2,7	4,29	0,15	1,8	2,49	2,19	2,16	1,51
	Suma (mm)														
	Srážky mm	množství srážek	23,7	56,9	23	16,5	13,8	13,9	33,4	51,3	16,5	85,8	84,1	55,5	474,4
		normál	33	26,5	29,9	22,3	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	472,8
		odchylka od normálu	-9,3	30,4	-6,9	-5,8	-7,8	-7,5	7,1	16,4	-50,7	22,3	25,4	-12	1,6
		Suma (mm)													

2017/2018	Teplota °C	měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	Průměr (°C)
		průměrná teplota	12,78	10,64	4,44	1,31	2,78	-3,81	1,76	13,56	16,72	18,33	20,64	21,76	10,08
		normál	13,4	8,4	3	-0,5	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	7,98
		odchylka od normálu	-0,62	2,24	1,44	1,81	5,08	-3,01	-1,14	5,96	3,82	2,13	3,04	4,46	2,10
	Suma (mm)														
	Srážky mm	množství srážek	25	61,6	29,1	22	27,6	6,3	35,8	14	24,4	74,7	12,1	21,9	354,5
		normál	33	26,5	29,9	22,3	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	472,8
		odchylka od normálu	-8	35,1	-0,8	-0,3	6	-15,1	9,5	-20,9	-42,8	11,2	-46,6	-45,6	-118,3
		Suma (mm)													

2018/2019	Teplota °C	měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	Průměr (°C)
		průměrná teplota	16,03	10,61	4,26	2,58	-0,47	3,08	7,04	10,22	11,31	21,68	20,09	20	10,54
		normál	13,4	8,4	3	-0,5	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	7,98
		odchylka od normálu	2,63	2,21	1,26	3,08	1,83	3,88	4,14	2,62	-1,59	5,48	2,49	2,7	2,56
															Suma (mm)
	Srážky mm	množství srážek	38,7	24,2	12,7	41,8	24,8	17,4	33,1	22,1	55,3	41,4	52,6	97,5	461,6
		normál	33	26,5	29,9	22,3	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	472,8
		odchylka od normálu	5,7	-2,3	-17,2	19,5	3,2	-4	6,8	-12,8	-11,9	-22,1	-6,1	30	-11,2

9.2 Příloha č. 2: Fotodokumentace průběhu vegetace



Obrázek 1: Tlak plevelů dne 19. 6. 2019 Varianta Podplodina 2 (Lupina bílá)
(foto autor)



Obrázek 2: Varianta Podplodina 1 (Hrách setý) 19. 6. 2019 (foto autor)



Obrázek 3: Porost s podplodinami dne 22. 8. 2019 (foto autor)



Obrázek 4: Detail podplodiny Hrách setý dne 22. 8. 2019 (foto autor)