

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



**Hodnocení technologie variabilního zakládání porostů
polních plodin na výnosové parametry**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jaroslav Hruška

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jaroslav Hruška

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Hodnocení technologie variabilního zakládání porostů polních plodin na výnosové parametry

Název anglicky

Evaluation of variable technology for field crops establishment on yield parameters

Cíle práce

Hypotéza: respektování variability pozemku vede k efektivnějšímu způsobu zakládání porostů.

Na základě znalosti výnosového potenciálu pozemku a provedeného variabilního zakládání porostu vyhodnotit dopad technologie na výnosotvorné prvky a výnos plodiny.

Metodika

Zpracování literární rešerše na téma variabilní setí a výnosový potenciál.

Zpracování podkladů o variabilitě vybraných pozemků na základě provedení měření geofyzikálními přístroji.

Hodnocení výnosových potenciálů vybraných pozemků.

Vypracování podkladů pro variabilní setí plodin.

Sledování vývoje a hodnocení porostu v počátečních fázích růstu.

Sledování výnosotvorných prvků a výnosu plodin.

Ekonomické zhodnocení variabilního setí.

Statistické zpracování dat, diskuse výsledků a závěr.

Doporučený rozsah práce

50 až 60 stran včetně tabulek a grafů

Klíčová slova

Výnos; výnosový potenciál; variabilita půdy; výsevek

Doporučené zdroje informací

HEEGE, H J. *Precision in crop farming : site specific concepts and sensing methods: applications and results*. Dordrecht: Springer, 2013. ISBN 978-94-007-6759-1.

ZHANG, Q. *Precision agriculture technology for crop farming*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 9781482251081.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2020

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 11. 05. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Hodnocení technologie variabilního zakládání porostů polních plodin na výnosové parametry vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce s použitím pramenů, které jsou citovány v práci a uváděny v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 14.05.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. za konzultace, poskytnuté informace a přínosné rady spojené s problematikou tématu.

Dále bych rád poděkoval rodině za trpělivost a podporu během celého mého studia.

Hodnocení technologie variabilního zakládání porostů polních plodin na výnosové parametry

Abstrakt

Diplomová práce je rozčleněna na tři hlavní části. První částí je literární rešerše technologie variabilního zakládání porostů. Rešerše se teoreticky věnuje způsobům, jak co nejlépe přizpůsobit setí variabilitě půdních podmínek na zemědělských pozemcích s využití výnosového potenciálu. V první části je zahrnuto mapování heterogenity půdních vlastností pomocí přístrojů a senzorů. Druhá část diplomové práce je věnována polnímu pokusu, který je realizován na pokusném stanovišti v Újezdu u Chocně. V druhé části byl zájem o co nejširší zmapování variability půdních vlastností u daného pozemku a následná optimalizace výsevku pro dosažení co největšího výnosu kukuřičné siláže a jejích kvalitativních parametrů. Na pozemku byla vyzkoušena technologie variabilního založení porostu kukuřice a následné vyhodnocení výnosů z roku 2019 a 2020 na výnosové parametry. Výsevky se pohybovaly v rozmezí 65 000 až 98 000 rostlin/ha. Mezi hodnocenými parametry patří výnos čerstvé a suché hmoty, obsah sušiny, ADF a NDF. Třetí část práce se věnuje vyhodnocení výsledků z našeho měření a jejich interpretací. Na závěr je provedeno ekonomické zhodnocení pokusu.

Klíčová slova: kukuřice, výnosový potenciál, variabilní setí, měrná vodivost půdy, výnos, NDVI

Evaluation of variable technology for field crops establishment on yield parameters

Abstract

The thesis is divided into three main parts. The first part is a literary analysis of the technology of variable sowing. Theoretically, it deals with ways to best adapt sowing to the variability of soil conditions on agricultural land with the use of yield potential. The first part includes mapping the heterogeneity of soil properties using instruments and sensors. The second part is devoted to a field experiment, which was based on an experiment in Újezd near Choceň. In the second part, there was an effort to map the variability of soil properties for a given plot and the subsequent optimization of the sowing to achieve the highest possible yield of corn silage and its qualitative parameters. The technology of variable establishment of corn stand and subsequent evaluation of yields from 2019 and 2020 on yield parameters was tested on the plot. Seedings ranged from 65,000 to 98,000 plants / ha. Among the evaluated parameters were yield of fresh and dry mass, dry matter content, ADF and NDF. The third part is devoted to the evaluation of the results of our measurements and their interpretation. Finally, an economic evaluation of the experiment is performed.

Keywords: corn, yield potential, variable seeding rate, conductivity of soil, yield, NDVI

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce.....	3
3 Literární rešerše.....	4
3.1 Variabilní setí v systému precizního zemědělství.....	4
3.1.1 Variabilní nastavení výsevu.....	5
3.1.2 Hloubka uložení semen	8
3.2 Výnosový potenciál	10
3.3 Výnosové mapy	12
3.4 Mapování heterogenity půdních vlastností	13
3.4.1 Vzorkování půdy	13
3.4.2 Nepřímé metody zjišťování variability půdních podmínek.....	14
3.4.2.1 On-the-go senzory	14
3.4.3 Měření půdní vodivosti.....	16
3.4.3.1 Elektrická vodivost půdy (EC).....	16
3.4.3.2 Zdánlivá elektrická vodivost půdy (ECa).....	17
3.4.4 Gama-spektrometrie	17
3.4.5 NDVI index	20
4 Vlastní práce v roce 2019	21
4.1 Obecné informace o podniku.....	21
4.1.1 Lokalita pozemku	22
4.2 Klimatické vlivy v roce 2019.....	22
4.3 Hodnocení porostu dle NDVI indexu	24
4.4 Výnos v roce 2019	26
4.5 Zhodnocení pokusu v roce 2019	27
5 Vlastní práce v roce 2020	27
5.1 Elektrická vodivost půdy	27
5.2 Gama-spektrometrie.....	29
5.3 Vytvoření mapy výnosového potenciálu	30
5.4 Založení porostu.....	31
5.5 Hodnocení porostu dle NDVI indexu	32
5.6 Klimatické vlivy pokusu	34
5.7 Výnos v roce 2020	36
6 Výsledky a diskuse	37
6.1 Srovnání výnosu 2019 a 2020.....	37
6.2 Výnos dle výnosového potenciálu	39

6.3	Výnos čerstvé hmoty.....	40
6.4	Diskuse.....	43
7	Ekonomické zhodnocení pokusu	44
8	Závěr	46
9	Seznam použitých zdrojů	48

Seznam obrázků

Obrázek 1 Rozdělení do zón (Hörbe a kol., 2013, vlastní zpracování).....	6
Obrázek 2 Částečná ekonomická návratnost a náklady na osivo. (Hörbe a kol., 2013, vlastní zpracování)	7
Obrázek 3 Vliv hustoty porostu na velikost palic daného hybridu. (Brant a kol., 2020)	8
Obrázek 4 Kontrolní sekce na secím stroji (Badua, a kol., 2021, vlastní úprava).....	9
Obrázek 5 Odezva hloubky setí na rychlost secí soupravy a přitlaku (Badua a kol., 2021, vlastní zpracování).....	10
Obrázek 6 Mapa výnosového potenciálu. (www.rostlinolekari.cz)	11
Obrázek 7 Výnosová mapa (www.agrotec.cz)	12
Obrázek 8 Vliv hustoty vzorkování (Zdroj: http://docplayer.cz/5780326-Variabilita-pudnich-vlastnosti-a-aplikace-zasobniho-hnojeni-v-preciznim-zemedelstvi-vojtech-lukas-a-kolektiv.html)	14
Obrázek 9 Zdánlivá elektrická vodivost půdy na daném pozemku. (Terrón a kol., 2011)	16
Obrázek 10 Vazba mezi zdrojem energie a absorpcí atmosféry (Brant a kol., 2020).....	18
Obrázek 11 Komerčně využívané gamaspektrometry (zdroj: http://www.gfinstruments.cz/index.php?menu=gi&cont=surveyor_V_ov).....	19
Obrázek 12 Jednoduché rozdělení podle NDVI indexu (https://eos.com)	20
Obrázek 13 Vybraný pozemek k měření (LPIS, ČÚZK, vlastní zpracování)	22
Obrázek 14 Mapa deficitu zásoby vody v půdním profilu (zdroj: www.intersucho.cz)	23
Obrázek 15 Mapa relativního nasycení půdního profilu (zdroj: www.intersucho.cz)	23
Obrázek 16 NDVI mapa z 15. 7. 2019 (Cropsat, vlastní zpracování).....	24
Obrázek 17 NDVI mapa z 9. 8. 2019 (Cropsat, vlastní zpracování).....	25
Obrázek 18 NDVI mapa z 29. 8. 2019 (Cropsat, vlastní zpracování).....	25
Obrázek 19 Výnosová mapa z roku 2019 (vlastní zpracování).....	26
Obrázek 20 Mapa půdní vodivosti v půdním profilu 0-0,5 m (vlastní zpracování)	28
Obrázek 21 Mapa s celkovým příkonem DR (vlastní zpracování)	29
Obrázek 22 Mapa celkového obsahu draslíku (vlastní zpracování)	30
Obrázek 23 Výnosový potenciál pozemku (vlastní zpracování).....	31
Obrázek 24 Mapa s aplikací variabilního setí (vlastní zpracování).....	32
Obrázek 25 NDVI mapa z 14. 7. 2020 (Cropsat, vlastní zpracování).....	33
Obrázek 26 NDVI mapa z 8. 8. 2020 (Cropsat, vlastní zpracování).....	33
Obrázek 27 NDVI mapa z roku 28.08.2020 (Cropsat, vlastní zpracování).....	34
Obrázek 28 Mapy deficitu vodní zásoby (zdroj: www.intersucho.cz)	35
Obrázek 29 Mapy relativního nasycení půdy (zdroj: www.intersucho.cz)	35
Obrázek 30 Výnosová mapa 2020 (vlastní zpracování).....	36
Obrázek 31 Mapa a místa odběrů (vlastní zpracování)	37
Obrázek 32 Srovnání výnosu čerstvé hmoty 2019 a 2020 (vlastní zpracování)	38
Obrázek 33 Srovnání výnosu suché hmoty v roce 2019 a 2020 (vlastní zpracování).....	38
Obrázek 34 Výnos čerstvé hmoty 2020 (vlastní zpracování).....	39
Obrázek 35 Výnos čerstvé hmoty 2020 (vlastní zpracování).....	40
Obrázek 36 Výnos suché hmoty 2020 (vlastní zpracování).....	41
Obrázek 37 NDF a ADF 2020 (vlastní zpracování).....	41
Obrázek 38 Výnos v závislosti na třídě měrné vodivosti půdy (vlastní zpracování).....	42
Obrázek 39 Znázornění nákladů na 1 tunu čerstvé hmoty (vlastní zpracování)	45

Seznam tabulek

Tabulka 1 Úroveň detekce jednotlivých půdních vlastností pomocí on-the-go senzorů (Adamchuk a kol., 2007)	15
Tabulka 2 Výnos a kvalitativní parametry kukuřičné siláže (vlastní zpracování)	27
Tabulka 3 Statistický přehled pro ECa profil 0-0,5 m (vlastní zpracování).....	28
Tabulka 4 Výnos v roce 2020 (vlastní zpracování).....	36
Tabulka 5 Ekonomický ukazatel nákladů na 1 tunu mokré a suché hmoty v roce 2019 (vlastní zpracování)	44
Tabulka 6 Celkové ekonomické ukazatele u různých typů výnosového potenciálů a výsevků (vlastní zpracování)	44

1 Úvod

Hodnocení technologie variabilního zakládání porostů polních plodin na výnosové parametry je téma této diplomové práce. Hlavním důvodem této volby byl můj zájem o danou problematiku a snaha o využití zkušeností z mé předchozí bakalářské práce, která byla zaměřena na technické řešení ukládání osiva. Dalším významným důvodem byla skutečnost, že můj otec se věnuje zemědělské činnosti přes 20 let. Závěry této diplomové práce mohou přispět k dalšímu rozvoji rodinné farmy, ve které se aktivně angažuji.

V současné době dochází ve vyspělých ekonomikách ke zvýšenému zájmu na využití vlastních zdrojů při zásobování obyvatel. Zemědělství je základním pilířem pro zajištění zásobování obyvatelstva po celém světě. V méně vyspělých státech je zaměstnáno až 90 % lidí a podílí se na hrubém domácím produktu až z 50 %. V České republice se pohybuje podíl zaměstnanosti v primární sektoru okolo 1,9 % a podíl na hrubém domácím produktu je okolo 2 %. I přes tento malý podíl obyvatel zaměstnaných v zemědělství jsou výsledky uspokojivé, a to díky použití moderní technologie a výkonné techniky. Během řešení krize v roce 2020 z důvodu pandemie COVID-19 se ukázalo zajištění soběstačnosti v základních potravinách z místních zdrojů jako velmi podstatné (MZe, 2017).

Už naši předkové si uvědomovali, že pozemky a jejich výnos na nich nejsou všude stejné. Každý majitel pozemku věděl, jaké pole je úrodnější a zda má cenu na něm intenzivně hospodařit, a které se spíše hodí na zatravnění a následné sušení píce pro skot. Tato vědomost o daných pozemcích vycházela z místní znalosti a dlouhodobé péče o krajinu. Velkou změnu přineslo vytvoření zemědělských podniků, které hospodařily na rozsáhlých pozemcích. Bohužel, k dodržení rozdílného přístupu k daným pozemkům jim chyběl vztah, ale i potřebné technické vybavení. Největší zvrát přišel s rozvojem navigačních satelitních systémů, které umožnily zjistit a lokalizovat rozdíly v rámci půdních bloků. Díky tomuto rozvoji začal vznikat nový způsob hospodaření, který se nazývá precizní zemědělství (Lukas a kol., 2011).

Precizní zemědělství je mezinárodní název pro používání moderních technologií, které byly rozvíjeny od začátku devadesátých let dvacátého století. Cílem tohoto odvětví je přizpůsobit pěstební operace současným podmínkám na půdním bloku, přičemž zásadou je provádět operace se správnou intenzitou, na správném místě a ve správný čas. Přesné stanovení zmiňované variability je hlavním předpokladem pro použití precizních technologií v zemědělství (Lukas a kol., 2011).

Jedním z hlavních trendů v zemědělství je bezpochyby využití precizních technologií jak v rostlinné, tak v živočišné výrobě. Precizním zemědělstvím se zabývá většina výrobců zemědělské techniky, ale zájem projevuje i mnoho podniků podnikajících v zemědělské činnosti. Tyto podniky zavádějí precizní postupy do rostlinné výroby velice pozvolna, protože náklady na pořízení dané technologie jsou stále vysoké. Dalším důvodem jsou vysoké nároky na obsluhu daných strojů a zavedení dané technologie do výrobního procesu (Brant a kol., 2020).

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo zpracovat veškeré dostupné informace o problematice variabilního zakládání porostů. Současně byl hodnocen i vliv variability půdních podmínek na daném místě ve vztahu k výnosu plodiny. Na základě znalosti výnosového potenciálu pozemku a provedeného variabilního založení porostu vyhodnotit dopady technologie na výnosotvorné prvky a výnos plodiny.

Hypotéza:

Respektování variability pozemku vede k efektivnějšímu způsobu zakládání porostů.

3 Literární rešerše

Precizní zemědělství je považováno za jedno z nejmodernějších odvětví v zemědělství. Funguje na principu sběru velkého množství dat o daném pozemku. Tento soubor dat umožňuje přistupovat variabilně k jednotlivým částem daného pozemku. Pro vykonávání precizního zemědělství je důležité znát přesnou geografickou polohu daného pozemku. Mezi nezbytné informace řadíme lokalizaci pozemku, tvar pozemku, polohu strojů a další důležité informace. Mezi používané technologie mohou být zařazeny geografický informační systém (GIS), globální navigační systémy (GNSS), dálkový průzkum země (DPZ), senzorová technika a aplikační ovládací prvky (Nozdrovický a kol., 2008).

V systému precizního zemědělství je potřeba individuálního přístupu aplikace ke každé části pozemku. Posuzují se zejména tři faktory. První faktor, který musíme zvážit jsou informace sloužící k vytvoření jednotlivých zón. Dalšími faktory jsou postupy, kterými se zpracují informace a optimální počet zón, do kterých je pole rozděleno (Fridgen a kol., 2004).

Současné technologie pro zakládání porostů mají schopnost zvýšit produktivitu a také zlepšit celkovou efektivitu pole pomocí přesného dávkování a umístění klíčivých semen plodin. Všeobecně při setí každé plodiny musí být kladen důraz na hloubku uložení semen a počet vysetých semen na jednotku plochy. Dalším důležitým aspektem je způsob plošného rozmístění semen. Pro jednotlivé plodiny je hloubka setí rozdílná. Pro určení správné hloubky umístění semen je důležité znát množství půdní vláhy na daném pozemku a půdní druh (Cox a Cherney, 2011; Virk a kol., 2020).

3.1 Variabilní setí v systému precizního zemědělství

Při zakládání porostu se musí respektovat mnoho požadavků, u kterých je těžké stanovit priority. Zohlednění podmínek na daném pozemku při setí je důležitým krokem ke zlepšení pěstebního procesu. U variabilního setí se nejvíce používá možnost změny výsevu podle daného pozemku, ale existují i nastavení dalších parametrů, které jsou také pro správný vývoj důležité. Pro širokořádkové plodiny se nejvíce rozvíjí technologie pro změnu hloubky setí a změna přítlaku na secí botku secího stroje (Brant a kol., 2020).

Dosažení cílové hloubky setí při ukládání osiva vyžaduje správný výběr přítlaku na secí botku. Přítlak je množství zátěže aplikované na secí botku secí soupravy k umístění osiva v konzistentních hloubkách. Toto zařízení se skládá z vlastní hmotnosti secí botky a přídatných zařízení jako jsou pružiny, vzduchové a hydraulické mechanismy, které nahrazují různé

požadavky na zatížení podle měnicích se půdních podmínek na daném pozemku (Badua a kol., 2018).

Zatížení měřidla (GWL) je nepřímou zpětnou vazbou o hloubce setí. Optimální přítlak pro danou lokalitu lze stanovit velmi obtížně. Pokud je použit příliš velký přítlak, může to vést nadměrnému zatížení měřidla (GWL), což může vést ke zhutnění bočních stěn (Hanna, 2009).

Raper a kol. (2006) uvedli, že nedostatečné zatížení měřidla může vést k mělké hloubce setí.

Příliš zhutněná půda bočnic a nedostatečná vlhkost v malé hloubce setí může mít za následek špatný vývoj kořenů a nerovnoměrný vzrůst rostlin (Gratton a kol., 2003; Raper a kol., 2006; Hanna, 2009; Karavel a Šarauskis, 2011).

Dalším důležitým aspektem je rychlost setí. Brandelero a kol. (2015) zjistili mělčí hloubku uložení osiva při zvýšení rychlosti secí soupravy z 3,4 na 9,2 kmh⁻¹. Podobně na tom bylo setí kukuřice při rychlostech 3,5-7 kmh⁻¹, které vedlo ke snížení hloubky brázdy u pokusů ve vyšších rychlostech (Da Silveira a kol., 2011).

Další zajímavou reakcí na variabilitu daného pozemku je možnost změny rozteče řádků v rámci jedné části pozemku. Tento systém lze využít u přesného setí širokořádkových plodin a mohou nabízet další opatření na vláhové a erozní podmínky půdního bloku (Brant a kol., 2020).

3.1.1 Variabilní nastavení výsevu

S možností variabilního nastavení výsevu se nejčastěji spojuje zakládání porostu u kukuřice seté. K přesnému posouzení prostorové a časové variability jsou obvykle zapotřebí několikaleté mapy výnosů z různých ročních období a plodin pro stejný pozemek (Amado a kol., 2007).

Výkonost kukuřice je často ovlivněna různými pracovními zónami. Kukuřice je velmi citlivá a její růst je ovlivněn přírodními a agrotechnickými faktory. Kromě dat z výnosových map lze k správnému definování částí pozemku použít nástroje jako dálkový průzkum Země, pozemní senzory (půdní elektrická vodivost a údaje o odrazu rostlin) a také vizuální vymezení na základě znalostí majitele pozemku (Bragachini a kol., 2010).

Bullock a kol. (1998) provedli studii na porovnání variabilního nastavení výsevu s jednotným nastavením výsevu. Nejdříve odhadli korelaci mezi kvalitou pole a ekonomicky optimální hustotou. Ekonomicky optimální hustota byla 67 900 rostlin na ha⁻¹. Pro každou tunu výnosu na hektar bylo zvýšení kvality stanoviště, měřeno podle výnosového potenciálu.

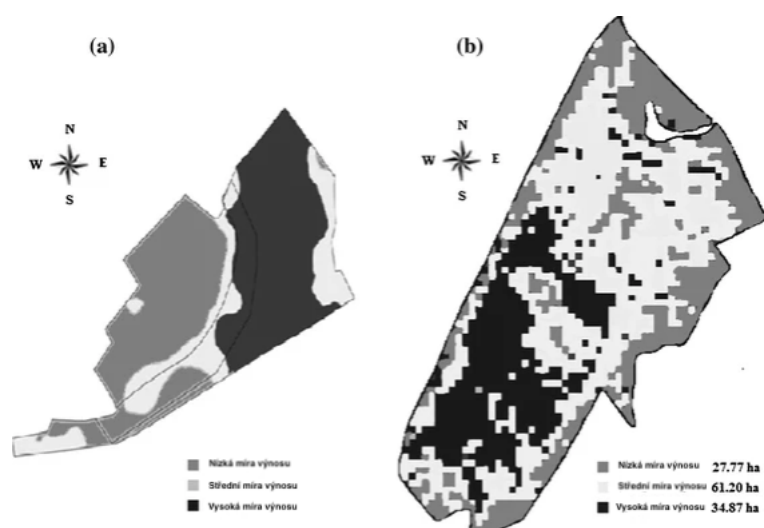
Predikovaná hodnota optimální hustoty zvýšila přibližně o 1 200 rostlin na ha⁻¹. Z výsledků plyne, že variabilní nastavení výsevku je rentabilní jedině pokud máme o daném pozemku, co nejvíce informací a jejich správnou interpretaci (Bullock a kol., 1998).

Zpočátku bylo nastavení variabilního výsevku u kukuřice založeno na velikosti předchozího výnosu, kde oblasti s vyššími výnosy získaly větší množství osiva na plochu (Bullock a kol., 1998; Lowenberg-DeBoer, 1999).

V Minnesotě však Lamb a kol. (1997) zjistili, že nižší ani vyšší výnosné oblasti nebyly v průběhu let konzistentní, a že výnosem zrn byla pouze 4 až 42 % variabilita výnosů v daném roce (Lamb a kol., 1997).

Vzhledem k tomu, že technologie s nastavením variabilního výsevku je stále více dostupná a zlepšuje se přesnost aplikace, je nyní setí s variabilním výsevkiem založena na více faktorech, než jenom na výnosu z předchozích let. Klade se důraz na úrodnost půdy, strukturu půdy, elektrickou vodivost půdy a nadmořskou výšku pozemku (Gunzenhauser a Shanahan, 2011; Butzen a kol., 2012).

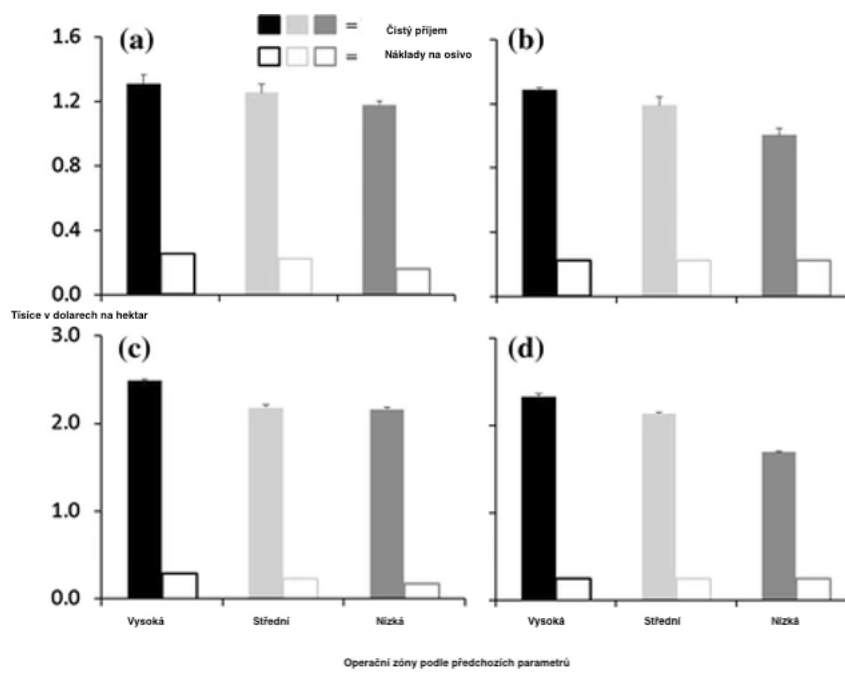
Hörbe a kol. (2013) provedli v rámci svého výzkumu 2 studie. V prvním výzkumu využili pro vytvoření map znalostí pole a plodin od místních farmářů. Daný pozemek byl rozdělen do částí s nízkou, střední a vysokou mírou výnosu, což můžeme vidět na obrázku 1. Vidíme, že u prvního pokusu (a), při kterém byly využity znalosti farmářů je pole méně variabilní, než u pokusu (b). U druhé studie použili výnosové mapy z předchozích devíti let a tento pozemek je mnohem více heterogenní.



Obrázek 1 Rozdělení do zón (Hörbe a kol., 2013, vlastní zpracování)

Daný pozemek byl rozdělen na tři části a bylo využito pět rychlostí secí soupravy. Výsevek v pokusech se pohyboval v rozmezí 50 000 - 90 000 rostlin na ha⁻¹. Optimalizace setí pomocí variabilního výsevku zvýšila výnos zrna kukuřice v porovnání s referenčním

výsevkem, který je běžně 70 000 rostlin na ha⁻¹. Z dané studie plyne, že v konečném důsledku byly ekonomické zisky u prvního pokusu 5,6 % a druhého pokusu 6,6 % (Hörbe a kol., 2013).

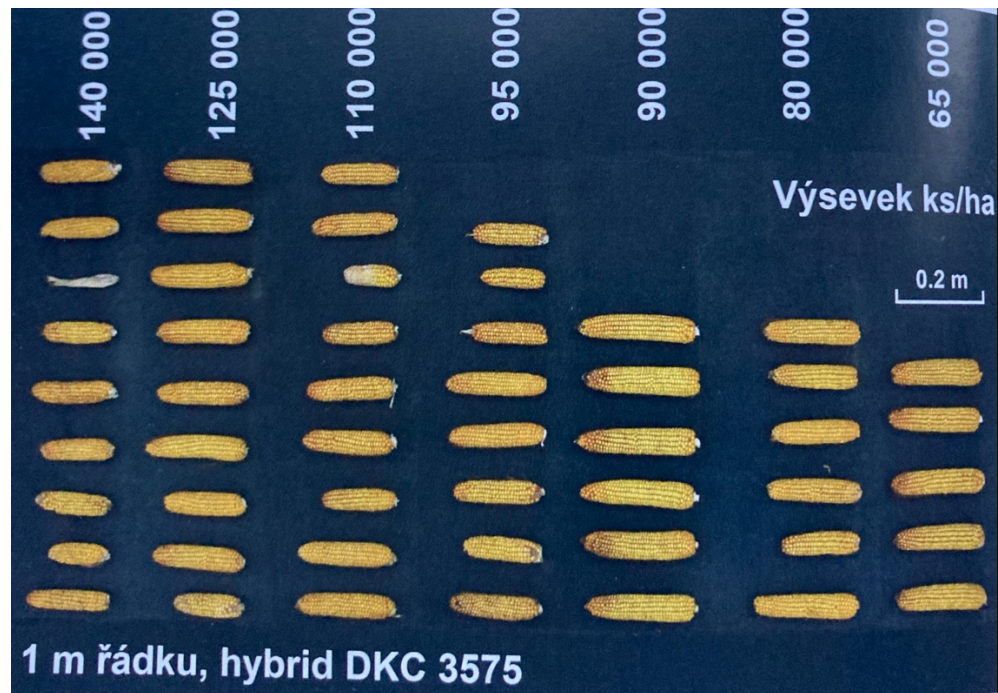


Obrázek 2 Částečná ekonomická návratnost a náklady na osivo. (Hörbe a kol., 2013, vlastní zpracování)

Na obrázku 2 je k vidění částečná ekonomická návratnost a náklady na osivo v závislosti na míru výnosu, která byla rozdělena na nízkou, střední a vysokou. Grafy (a) a (b) na obrázku 2 zobrazují výsledky pro první pokus a grafy (c) a (d) vykreslují výsledky pro druhý pokus (Hörbe a kol., 2013).

Licht a kol. (2017) provedli výzkum s cílem vyvinout postupy pro optimalizaci variabilního výsevku u kukuřice a maximalizaci výnosu pomocí půdních a topografických parametrů. Secí dávky byly stanoveny na 61 750, 74 100, 86 450, 98 800 a 111 150 semen ha⁻¹ a pokus byl rozdělen na třech lokalitách. K smysluplné optimalizaci došlo pouze ve třech z devíti pozemků. Autoři uvádějí, že u variabilního nastavení výsevku je důležité upravovat proměnné pro jednotlivá pole každý rok, v závislosti na variabilitě klimatických podmínek a charakteristik pole.

Brant a kol. (2020) uvádějí, že důležitým aspektem je zvolit správnou odrůdu či hybrid kukuřice s ohledem na danou variabilitu daného pozemku. Podstatné je stanovit úroveň výsevku pro jednotlivé stupně výnosového potenciálu. V pokusu byl výsevek stanoven v rozmezí 65 000- 140 000 rostlin na ha⁻¹. Na obrázku 3. můžeme vidět jaký má vliv variabilita výsevku na velikost palic kukuřice. Velikost palic se zmenšuje s vyšší výsevkem.



Obrázek 3 Vliv hustoty porostu na velikost palic daného hybridu. (Brant a kol., 2020)

3.1.2 Hloubka uložení semen

Jedním z nejdůležitějších parametrů je přesná hloubka uložení osiva. Hydraulické, teplotní a mechanické vlastnosti půdy určují podmínky pro klíčení a vzcházení osiva. Pokud pozemek obsahuje několik různých zón, tak se musí vzít v potaz i rozdílná hloubka setí. V systému precizního zemědělství stále není úplně běžné upravovat hloubku setí. Nejčastěji je kukuřice seta na hloubku v rozmezí 40-60 mm, bez ohledu na podmínky daného stanoviště. V potaz by měla být vzata velikost půdních částic a dostupnost vody k osivu, což jsou nejdůležitější faktory pro následné vzcházení. U osiva probíhá příjem vody, dokud je vodní potenciál daného osiva menší než vodní potenciál půdy. Pokud dojde k poklesu vodního potenciálu pod kritickou mez, tak dochází k poklesu klíčení daného osiva (Brant a kol., 2020).

Dle Fancelliho (2000) by kukuřice měla být seta do hloubky 30-50 mm v jílovitých půdách a 40-60 mm v písčitéch půdách.

Ozmerzi a kol. (2002) provedli výzkum za účelem prozkoumat účinky různých hloubek setí kukuřice. Osivo bylo vyseto do hloubky 40, 60 a 80 mm při fixní rychlosti 6 kmh⁻¹. Z jeho výzkumu vyplývá, že nejlepší rovnoměrnosti hloubky setí bylo dosaženo při jmenovité hloubce 60 mm, která měla maximální index vzcházení, proto byla vybrána jako optimální (Ozmerzi a kol., 2002).

Příliš mělké setí 25 mm ovlivnilo vývoj kořenů a celkový výnos kukuřice ve srovnání s hloubkou setí 50 mm v relativně suchých podmínkách. Na většině pozemků, kde jsou půdní

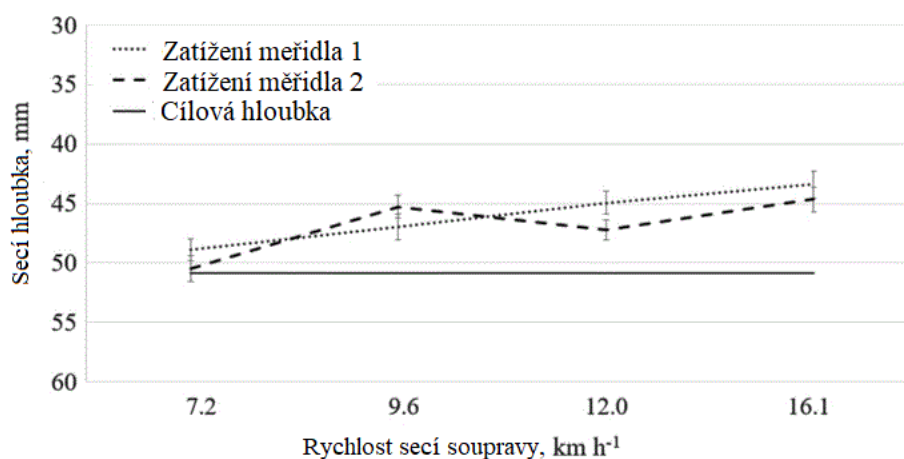
podmínky vlhkosti ideální, se hloubka setí pohybuje mezi 38-51 mm, což je dostatečně hluboko, aby bylo dosaženo včasného vyklíčení osiva. Pokud by bylo osivo příliš hluboko, mohlo by dojít ke zbytečnému provzdušňování půdy (Elmore a kol., 2014).

Badua a kol. (2021) sledovali vliv rychlosti secí soupravy a nastavení přitlaku secí botky na rozteč rostlin a hloubku setí. Vedlejším cílem bylo vyhodnocení vztahu mezi rychlostí secí stroje a vibrační řádkového výsevního ústrojí. Tento pokus uplatnil technologii strip-till (setí do připravených pásů) a přímého setí. Přítlak byl určen na dvě úrovně 620 N a 980 N a výsevní rychlosti na 7,2; 9,7; 12,1; 16,1 km h⁻¹. Secí stroj byl nastaven na hloubku 51 mm a na výsevek 84 000 semen na hektar, což odpovídá teoretickému rozestupu 178 mm. Také u tohoto případu bylo využito měření elektrické vodivosti půdy. Řádkové secí botky byly seskupeny do kontrolních sekcí viz obrázek 4. Na každé sekci byl instalován tlakový měnič pro měření tlaku v průběhu celého procesu setí. Sekce byly také vybaveny akcelerometry a potenciometrem, který ověřoval, zda secí stroj je v secí pozici či nikoliv.



Obrázek 4 Kontrolní sekce na secím stroji (Badua, a kol., 2021, vlastní úprava)

Tento výzkum poskytl následující zjištění. Zvyšující se rychlost secí soupravy měla za následek vynechání semene a zvýšení počtu dvou rostlin na jednom místě. Nastavení vyššího přitlaku při pomalejších rychlostech dosahovalo požadované hloubky setí. Při nízkém přitlaku byla hloubka setí skoro ve všech rychlostech malá viz graf odezvy hloubky setí na obrázku 5. Z pokusu vyplynulo, že přítlak ani rychlost secí soupravy neměly přímý vliv na rozestup rostlin (Badua a kol., 2021).



Obrázek 5 Odezva hloubky setí na rychlost secí soupravy a přítlaku (Badua a kol., 2021, vlastní zpracování)

Knappenberger a Köller (2012) zjišťovali vliv hloubky uložení osiva na následnou vzcházivost a výnos kukuřice. Kukuřice byla vyseta v hloubkách 40-90 mm ve třech letech 2006-2008. Pro vytvoření výnosových map a následné setí byla použita analýza elektrické vodivosti půdy daných pozemků. Kukuřice, která byla vyseta do hloubky (80, 90 mm) následně vykazovala větší vzcházivost než kukuřice, která byla setá do menší hloubky. Z tohoto pokusu bylo zjištěno, že hlubší setí vede k lepší vzcházivosti rostlin. Hloubka setí však neměla přímý vliv na výnos kukuřičného zrna.

3.2 Výnosový potenciál

Cíle výnosů obilí se používají po celá desetiletí k důležitým agronomickým rozhodnutím v průběhu celé sezóny. Jednou z nejdůležitějších podmínek pro použití variabilního výsevu je znalost relativního výnosového potenciálu (RVP) daného pozemku. Dahnke a kol. (1988) ve své práci uvedli, že výnosový potenciál je nejvyšší možný výnos dosažitelný při ideálním hospodaření, půdě a počasí.

Evans a Fischer (1999) definovali výnosový potenciál jako „výnos kultivaru při pěstování v prostředích, na která je přizpůsoben, s neomezujícími výživnými látkami, vodou a účinně kontrolovanými škůdci, chorobami, plevelem, poléháním a dalšími stresy.“

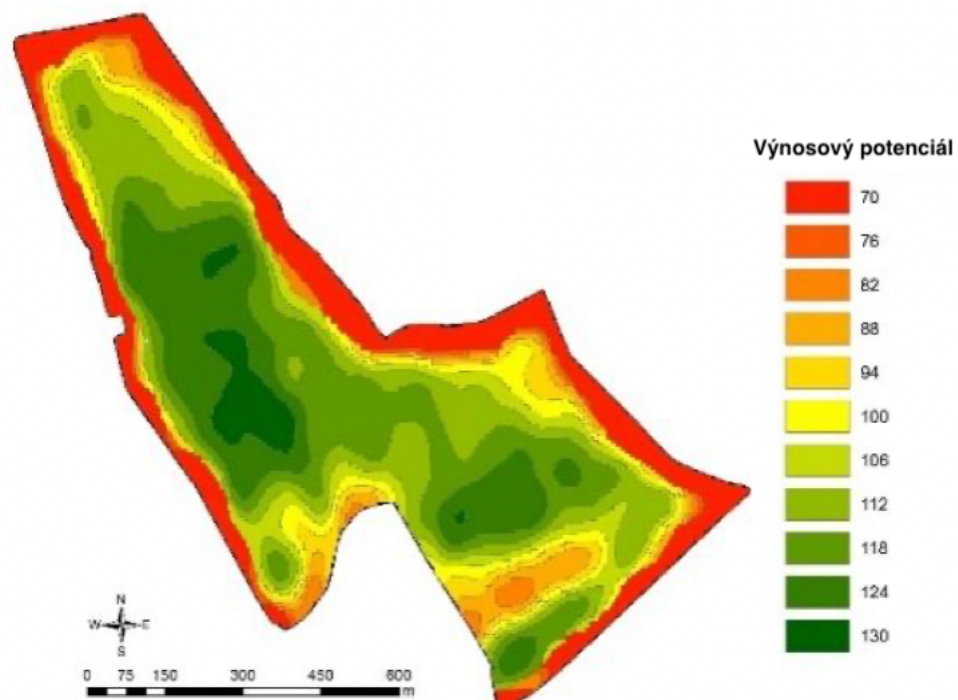
Raun a kol. (2001) tvrdí, že výnosový potenciál, který definoval Evans a Fischer (1999) je definován maximálním výnosem, protože potenciální výnos je spojen s místně specifickými půdními a klimatickými podmínkami, které se mohou každý rok měnit. Z toho důvodu tvrdí, že výnosový potenciál se mění každoročně, kvůli prostorové a časové variabilitě.

Další přístupy k vytvoření výnosového potenciálu bylo průměrování výnosů obilí z předchozích čtyř až pěti let a jejich zvýšení o deset procent nebo spoléhání se na odrůdové pokusy (Fanning, 2012).

Porter a Moot (1998) uvádějí, že na růst, vývoj a následně výnos pšenice ozimé má vliv teplota.

Bylo prokázáno, že koncept GDD neboli akumulace tepelných jednotek přesněji popisuje a předpovídá vývoj plodin a fyziologické fáze růstu mnohem lépe, než počet dní od výsadby nebo roční období (McMaster a Wilhelm, 1997).

Pro určení heterogenity půdních podmínek jsou za hlavní informace považovány geologické a pedologické mapy. Ty dávají představu o rozložení půdních typů a jejich rozložení. Bohužel, pro použití v systému precizního zemědělství jsou nepřesné ve vztahu k velikosti půdního bloku (Brant a kol., 2020).

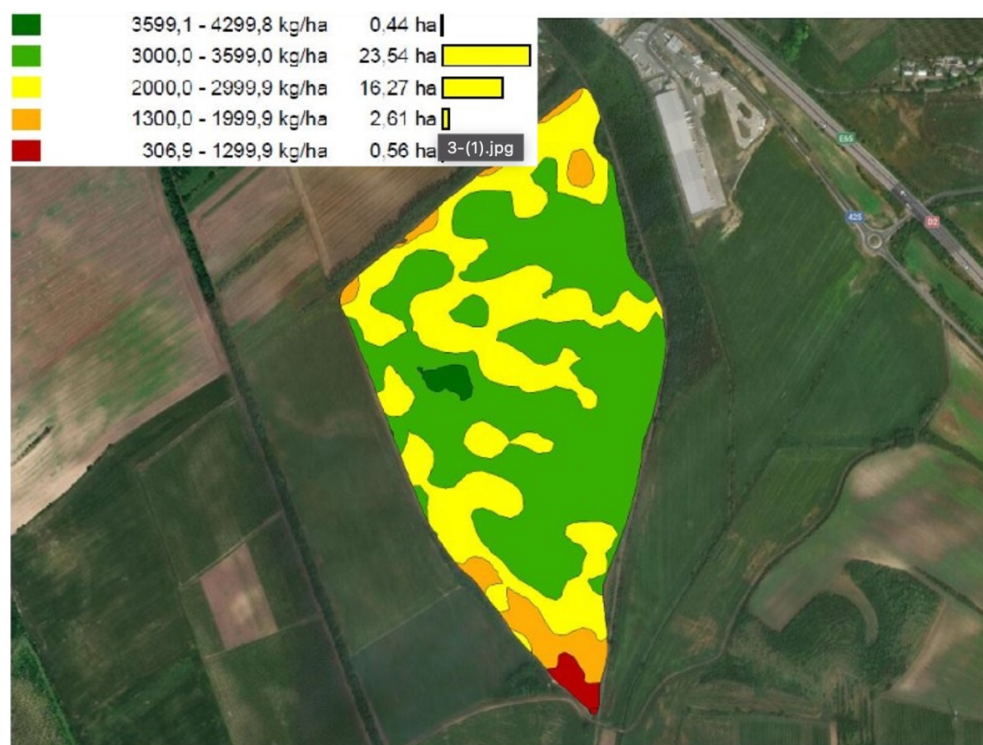


Obrázek 6 Mapa výnosového potenciálu. (www.rostlinolekari.cz)

Ve většině případů se výnosový potenciál určuje z výnosových map, půdních vlastností nebo leteckých snímků monitorující stav porostů a půdy. Na obrázku 6 vidíme rozložení výnosových potenciálů v rozmezí 70-130 %. Tato mapa byla vytvořena pomocí vyhodnocení průměru výnosů předchozích 8 let a zohlednění půdních podmínek, které na daném pozemku jsou. (Česká společnost rostlinolékařská, 2021)

3.3 Výnosové mapy

Mapování výnosů je jedna z nejpoužívanějších technologií u precizního zemědělství. Mapa zaznamenává aktuální výnos při sklizni. Data o aktuálním výnosu jsou spojena s přesnou polohou na půdním bloku a jsou zaznamenána pomocí Geografického informačního systému (GIS) do mapy. Tyto mapy pozemků se získávají ze sklízecích mlátiček, na kterých jsou umístěny speciální sklizňová čidla a senzory. Na obrázku 7 je ukázka výnosové mapy řepky, která svědčí o vysoké variabilitě pozemku. Těchto čidel existuje celá řada například paprsková, optická, nárazová, vlhkostní, kapacitní nebo mechanická. Rozdíl mezi nimi je pouze na principu, podle kterého získávají data o sklizené plodině. Velmi důležité pro správnost dat je přesná kalibrace daných čidel, která by se měla provádět alespoň jednou za rok (Lukas, 2011).



Obrázek 7 Výnosová mapa (www.agrotec.cz)

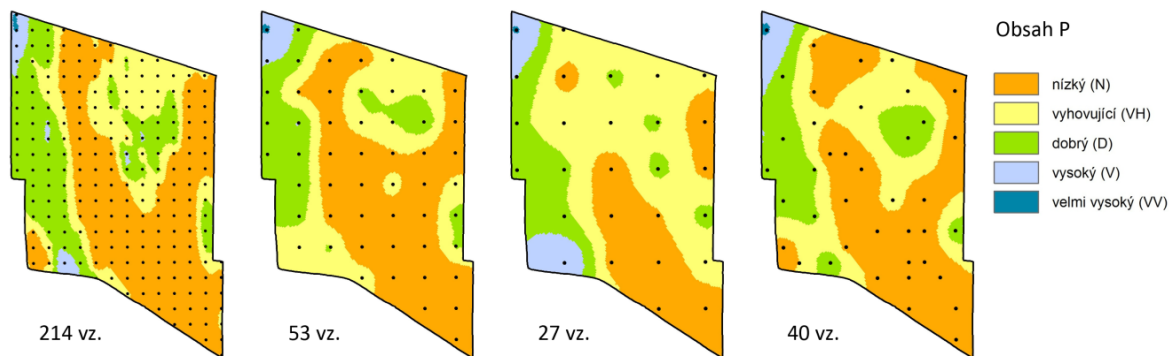
Výnosové mapy jsou velmi užitečné, hlavně poskytují farmáři celkový přehled o výnosu plodiny z půdního bloku, ale nejsou schopny nahradit odebrání půdních vzorků a jiné měření půdních vlastností. Výnosové mapy sice ukazují, kde je jaký výnos, ale nedefinují, z jakého je to důvodu. V současnosti se využívá propojení výnosových map s mapou půdních vlastností, z kterých se poté vytváří mapy relativního výnosového potenciálu. (Lukas, 2011)

3.4 Mapování heterogenity půdních vlastností

Odlíšné hospodaření na jednotlivých pozemcích nebo na částech těchto pozemků s cílem dosáhnout lepší efektivity při využívání materiálních vstupů jako jsou pesticidy, hnojiva, pohonné hmoty a další, je hlavní úkol precizního zemědělství. Pro zvýšení efektivity a výnosnosti plodin je potřeba správného určení heterogenity daného pozemku. Prvním a nejtěžším krokem je mapování daného stanoviště. Faktory působící na daném stanovišti se mohou rozdělit do dvou skupin, a to na více či málo ovlivnitelné. Mezi méně ovlivnitelné faktory patří například zrnitost půdy, klima a topografie. Existují však faktory, které lze na daném pozemku změnit lépe, a to jsou například pH půdy, zásoba živin, dostupnost půdní vláhy a stupeň zaplevelení. Pro monitoring variability půdních vlastností na daném pozemku existuje hodně přístrojového vybavení. Mnoho z nich se stalo standardem, jako například měření elektrické vodivosti (Terrón a kol., 2011; Brant a kol., 2020), ale některé technologie jsou stále ve fázi testování nebo jejich pořizovací cena je stále vysoká, pokud se jedná o jejich širší uplatnění. Všechny tyto mapy upozorňují na změnu variability půdních vlastností na daném pozemku, ale nespecifikují vliv daných faktorů. Nejdůležitější je následná interpretace výsledků, která závisí na metodickém postupu daného měření a systému měření (Lukas, 2010).

3.4.1 Vzorkování půdy

Vzorkování půdy je klasický způsob získávání informací o vlastnostech půdy na pozemku. Důležitým parametrem pro zachycení prostorové variability je rozmístění odběrných bodů, a také hustota vzorkování. Pokud se zvolí více odběrů, je mapování detailnější, ale také s vyššími náklady. U precizního zemědělství se většinou vzorkuje v hustotě jeden vzorek na 1-5 ha. Závisí to na variabilitě daného pozemku. Kromě hustoty vzorkování je významné rozmístění odběrných bodů na poli. Rozmístění vzorků je určeno podle známé variability pozemku. Když variabilita pozemku není známa, tak nejčastěji probíhá rozmístění vzorků v pravidelné mřížce nebo náhodnými body. Na obrázku 8 můžeme vidět jaký má vliv hustota odebraných vzorků a následná změna dané mapy s různým počtem vzorků (Lukas, 2010).



Obrázek 8 Vliv hustoty vzorkování (Zdroj: <http://docplayer.cz/5780326-Variabilita-pudnich-vlastnosti-a-aplikace-zasobniho-hnojeni-v-preciznim-zemedelstvi-vojtech-lukas-a-kolektiv.html>)

Pokud jsou k dispozici informace o lokalitě, může se umístit bod k odběru na základě družicového nebo leteckého snímku daného pozemku. Lze využít výsledky měření elektrické vodivosti půdy, anebo provést cílené vzorkování v návaznosti na výsledky z výnosových map, pokud očekáváme, že variabilita půdních podmínek odpovídá variabilitě výnosu. Nejvhodnější je kombinace obou postupů a zvolit si takzvané zóny se stejnými půdními podmínkami a následně provést vzorkování. Tímto způsobem se zajistí snížení počtu vzorků a tím i nákladů. Tento způsob je složitější na naplánování. Doporučovaná strategie je při nízké variabilitě použití pravidelné sítě vzorkování a při vysoké variabilitě použití vzorkování zónového (Dickins a kol., 2008).

3.4.2 Nepřímé metody zjišťování variability půdních podmínek

Nepřímé metody zjišťování variability půdních podmínek využívají principu senzorového měření. Čidla měří a identifikují změnu půdních vlastnostech. Data se zapisují do elektronického záznamu. Hlavní výhodou použití senzorové techniky jsou fixní náklady, může se tedy měřit ve velkém prostorovém a časovém měřítku a měření i několikrát opakovat. Nevýhodou nepřímých metod je menší přesnost oproti vzorkování, ale dá se to vyvážit větším prostorovým pokrytím. Nejrozšířenější senzory jsou mechanické, elektrické a elektromagnetické. Měřící zařízení, která využít během jízdy se označují jako „on-the-go“ přístroje (Lukas, 2010).

3.4.2.1 On-the-go senzory

Senzory „on-the-go“ patří mezi nepřímé metody pro zjištění variability půdních podmínek. Tyto senzory jsou součástí stroje a toto měření probíhá během jeho pohybu. Jejich výhodou je měření daných půdních vlastností a převedení do záznamu ve formě dat. Tyto

senzory mají nižší přesnost, kterou se snaží vyvážit větším prostorovým pokrytím. Mezi hlavní výhody patří nižší nákladovost oproti sběru a laboratornímu testování půdních vzorků. Využití on-the-go senzorů se dá považovat jako perspektivní řešení do budoucnosti. V současné době roste jejich oblíbenost a do jejich vývoje se vkládají velké finanční prostředky (Adamchuk a kol., 2007).

Aplikace hnojiva či vápnění půdy bez ohledu na její variabilitu, je často nepřilíš účinná a vede k ekonomickým ztrátám. Od těchto senzorů se očekává zvýšení efektivity ve smyslu, že se sníží náklady na vstupy. Potenciál on-the-go senzorů je v zisku velké hustoty vzorků za nízkou pořizovací cenu. Většina senzorů se už dá komerčně koupit, ale stále je snaha o vývoj nových prototypů. Pro lokalizaci a určení polohy stroje na pozemku se využívá globální polohový systém GPS, který se stal nejběžnějším senzorem v zemědělství. Když proběhne spojení on-the-go senzoru s GPS, tak lze z výsledků vytvořit mapy, které se mohou porovnávat s dalšími mapami a informacemi o daném pozemku. V tabulce 1 je uvedeno, co lze jakými senzory zjistit. Elektrické a elektromagnetické se hodí ke zjištění složení půdy a vlhkosti. Optické a radiometrické senzory se používají na zjišťování obsahu organické hmoty v půdě a také půdní vlhkosti. Mechanickými senzory se zjišťuje utužení půdy. Elektrochemické senzory se indikují např. pH půdy a také k zjištění obsahu živin v půdě (Adamchuk a kol., 2007).

Půdní vlastnost	Elektrické a elektromag.	Optické a radiometrické	Mechanické	Akustické	Elektro-chemické
Půdní zrnitost (podíl jílu, prachu a písku)	dobrá	vyhovující		slabá	
Obsah půdní org. hmoty nebo C_{ox}	slabá	dobrá			
Půdní voda (vlhkost)	dobrá	dobrá			
Zasolení půdy	vyhovující				Slabá
Utužení půdy (obj. hmotn.)			dobrá	slabá	
Hloubková variabilita - rozlišení vrstev	slabá		vyhovující	slabá	
pH půdy		slabá			Dobrá
Obsah nitrátů v půdě	slabá	slabá			Vyhovující
Obsah ostatních živin (P)		slabá			Vyhovující
KVK	vyhovující	vyhovující			

Tabulka 1 Úroveň detekce jednotlivých půdních vlastností pomocí on-the-go senzorů (Adamchuk a kol., 2007)

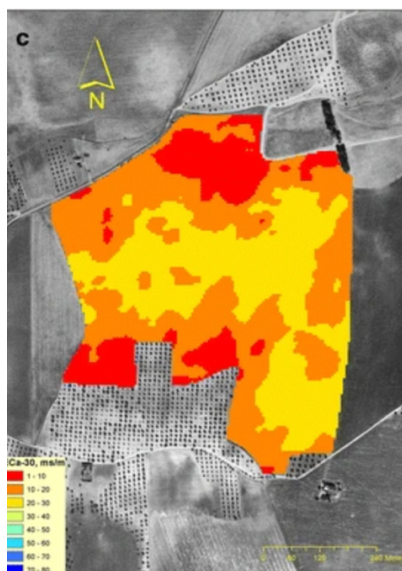
3.4.3 Měření půdní vodivosti

Měření půdní vodivosti se provádí pomocí geoelektrických nebo geomagnetických metod, které zjišťují schopnost půdy vést elektrický proud. Jedná se o jednoduchý nástroj, jak měřit rychlou a přesnou charakteristiku půdního prostředí. Senzory využívají elektrického obvodu k měření schopnosti půdy akumulovat a vodit elektrický náboj (Terrón a kol., 2011; Brant a kol., 2020).

3.4.3.1 Elektrická vodivost půdy (EC)

Elektrická vodivost půdy je měřítkem schopnosti půdy vést elektrický proud. (McNeill, 1992) Ovlivňuje jí kombinace fyzikálně-chemických vlastností, včetně obsahu rozpustných solí, jílu a minerálů, objemové hmotnosti, obsahu vody v půdě, organických látek a teploty půdy. Metoda se používá pro mapování prostorové variability půdních vlastností jako je obsah jílu, slanost, obsah vody v půdě a množství organické hmoty na daném pozemku (Corwin a Lesch, 2005).

Od svého raného použití se elektrická vodivost (EC) rozvinula v široce přijímaný způsob stanovení prostorové variability několika fyzikálně-chemických vlastností půdy, které ovlivňují zdánlivou elektrickou vodivost půdy (ECa). Měření ECa je rychlá a spolehlivá metoda, ale ne vždy její výsledky souvisí s výnosem plodiny (Corwin a Lesch, 2005).



Obrázek 9 Zdánlivá elektrická vodivost půdy na daném pozemku. (Terrón a kol., 2011)

3.4.3.2 Zdánlivá elektrická vodivost půdy (ECa)

Zdánlivá elektrická vodivost půdy (ECa) je hloubkově vážený průměr elektrické vodivosti půdy. Jedná se o průměrnou elektrickou vodivost integrovanou v různých hloubkách půdy (Cook a Walker, 1992).

Hloubka závisí na použitém přístroji k měření. V současné době se využívají dva typy senzorů. První jsou bezkontaktní senzory na bázi elektromagnetické indukce a druhý využívá metodu přímého kontaktu na bázi elektrického odporu.

Sudduth a kol. (2005) prokázali, že korelace ECa s obsahem jílu a kationtovou výměnnou kapacitou (CE)_C byly obecně silnější a trvalejší ve všech testovaných oblastech. Jiné vlastnosti půdy, jako je půdní vlhkost, písek a organická hmota, v některých pokusech silně souvisely s ECa, v jiných nikoli.

Mapování půdních vlastností probíhá na principu senzorového měření pomocí čidel. Jedná se o více párů kovových kotoučů (elektrod), které prořezávají vrstvu půdy. Většinou první disk vysílá elektrický proud a druhý disk měří změnu proudu při průchodu půdou. Jeden z nejpoužívanějších přístrojů je přístroj Veris 3100 (Veris online, 2014).

Druhým typem mapování jsou přístroje, které využívají elektromagnetické vodivosti. Jsou typem bezkontaktních měřících přístrojů. Princip je podobný jako u předešlého typu, pouze půdou prochází elektromagnetické pole. Největší výhodou je jejich použití během vegetace a na kamenitých půdách. Mezi nejpoužívanější můžeme zařadit EM38 a v České republice se vyrábí podobný typ přístroje s názvem CMD. Mapování se provádí ručním nesením přístroje po poli nebo tažením za vozidlem (Brant a kol., 2020).

3.4.4 Gama-spektrometrie

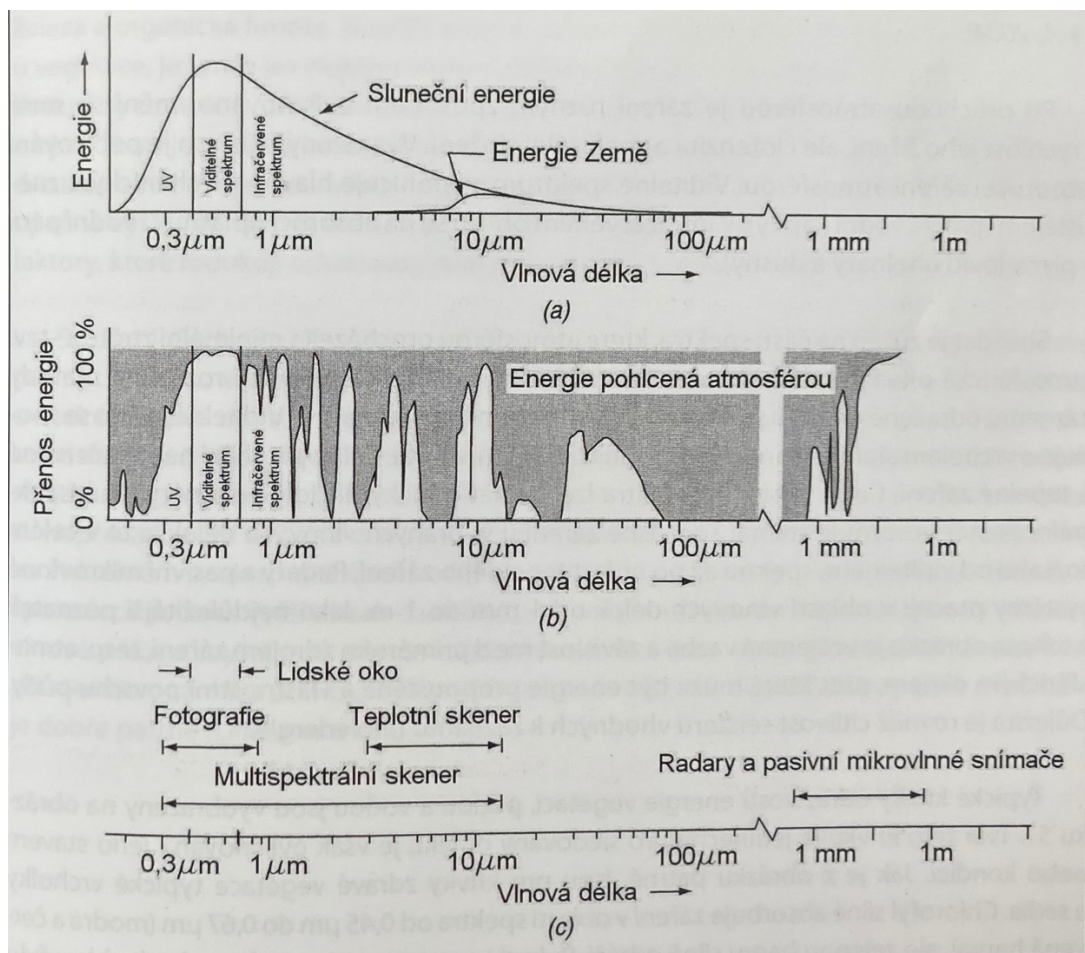
Pro měření variability půdního prostředí se mnohem častěji využívají aplikace metody zvané gama-spektrometrie, která využívá měření koncentrace prvků s jejich přirozenou radioaktivitou. Dlouhou dobu se ví, že gama záření nese informace o půdních vlastnostech. Už v roce 1930 byly zkonstruovány detektory na zjištění a vyhledávání izotopů uranu (Brant a kol., 2020).

V digitálním mapování půdy se vztah mezi řadou půdních vlastností a daty z gama-spektrometru úspěšně používá pro předpovídání například zvětrávání, základních materiálů půdy, struktury půdy a koncentrace kadmia. Bylo vyvinuto zařízení, které jde namontovat na vozidlo a jednoduše použít k pečlivému měření. Rádius tohoto měření je poměrně široký

a dosahuje podrobného mapování dané půdy (Cook a kol., 1996; Wilford a Minty, 2007; Söderström a kol., 2016).

Pracilio a kol. (2006) použili metodu radiometrických senzorů pro zjištění obsahu rostlinných zbytků a fyzikálních vlastností půdy. Z výsledků měření vyplynula vysoká závislost mezi intenzitou přirozené radioaktivity a fyzikálními vlastnostmi půdy. Autoři této studie uvádějí, že u dalších dvou testovaných pozemků byl koeficient spolehlivosti slabší. Získané mapy uvádějí spolehlivé informace o půdních vlastnostech v půdním profilu jenom do hloubky 30 centimetrů. Jedná se především o proces zvětvávání, zrnitostní složení půdy nebo vyplavování půdy a také hloubce půdního profilu.

Sběr dat pomocí jednotlivých čidel (vodivost půdy, spektrometry) i kombinací několika z nich je v odborné literatuře podrobně popsán a komentován. Mnoho autorů prosazuje nezbytnost jejich dalšího vývoje, především kombinace senzorů za účelem spojení a zjednodušení výstupních dat. Největší překážkou rychlejšího dalšího rozvoje je finanční nákladnost těchto přístrojů. To je jedním z hlavních důvodů, který limituje jejich vývoj (Adamchuk, 2007).



Obrázek 10 Vazba mezi zdrojem energie a absorpcí atmosféry (Brant a kol., 2020)

Měření pomocí optických senzorů využívá skutečnost, že vegetace a půda odráží s rozdílnou intenzitou elektromagnetické záření. Odrazivost je ovlivněna jak na stavu a druhu rostlin, ale také na jejich hmotě. Na obrázku 10 je vidět vzájemná vazba mezi zdrojem energie a charakteristikou absorpce atmosférou. První graf se věnuje rozložení vyzářené energie mezi Zemí a Sluncem. Na druhém grafu vidíme části spektra, která jsou pohlcena pomocí atmosféry. (Brant a kol., 2020)



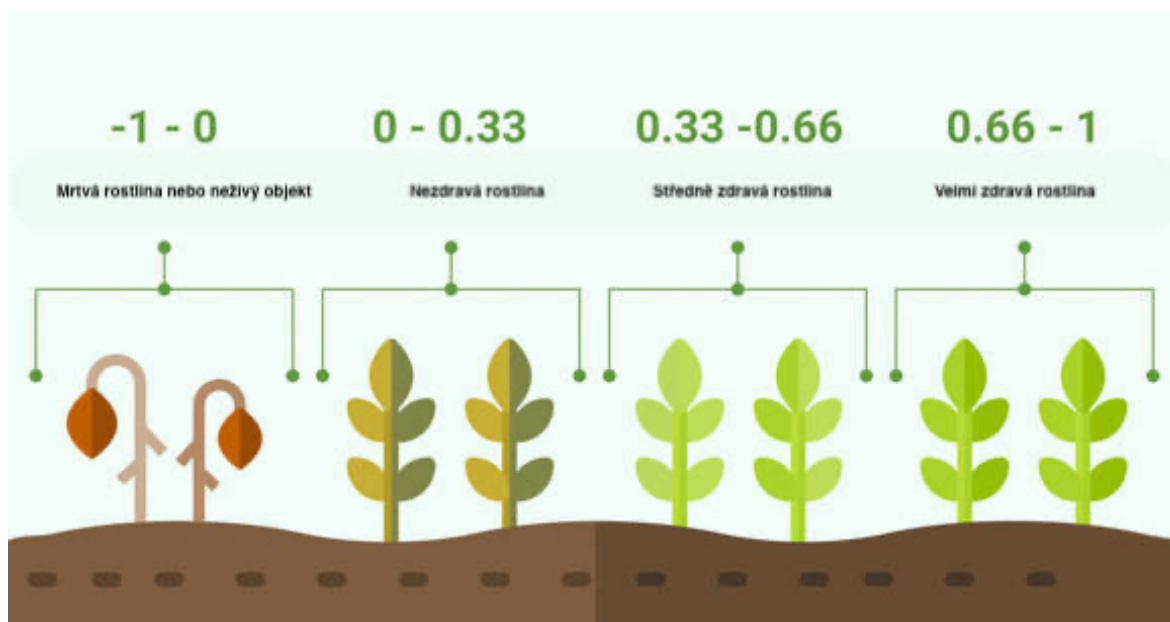
Obrázek 11 Komerčně využívané gamaspektrometry (zdroj: http://www.gfinstruments.cz/index.php?menu=gi&cont=surveyor_V_ov)

Při měření se sběr dat zužuje na části spektra, která jsou schopna procházet atmosférou s minimální ztrátou. Ke snímání je použit multispektrální skener, který je schopen snímat současné záření u vybraných vlnových délek, a to v celém rozsahu. U snímání je velmi důležitá citlivost daných senzorů k záznamu této energie. Sledování vegetace pomocí těchto senzorů je velmi složité a liší se u jednotlivých spekter. Oproti tomu křivka odrazivosti u půdy vykazuje méně výkyvů. Mezi faktory, které mají vliv na odrazivost půdy, patří zrnitostní složení, vlhkost půdy, obsah oxidů železa, organické hmoty a drsnost povrchu. Vyšší vlhkost půdy snižuje její odrazivost. Vlhkost půdy je úzce spojena se zrnitostním složením půdy. U písčité hrubé půdy bude nižší vlhkost a tím pádem i větší odrazivost. Jemná jílovitá půda bez přirozené drenáže bude mít nízkou odrazivost. Pokud bude nedostatek, vody bude sama půda vykazovat opačné výsledky. Jemná textura půdy se bude jevit světlejší než hrubší textura. Další dva faktory, které ovlivňují odrazivost jsou obsah organické hmoty v půdě a drsnost povrchu půdy (Brant a kol., 2020).

3.4.5 NDVI index

Vegetační index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) slouží hlavně k zjišťování zdravotního stavu a vodního stresu vegetace. Lze zjistit množství dusíku v rostlinách, časové změny a průběhy fenologických fází a udělat odhad výnosů zemědělských plodin. To umožňuje závislost mezi množstvím biomasy, plochy listů, obsahu vody a chlorofylu v rostlinách s NDVI indexem (Lukas, 2012).

Tento index vyjadřuje vztah mezi odrazivostí v blízké infračervené části spektra (NIR, 0,7-0,9 μm) a červené části viditelného RED spektra (RED, 0,6-0,7 μm). U tohoto indexu platí, že čím více záření v oblasti infračerveného je odraženo, tím je daná vegetace hustší. Hodnoty jsou v rozmezí (-1;1) a hodnoty, které se blíží k nule označují nízkou hladinu pokryvu vegetací na daném pozemku. Na obrázku 12 je vidět jednoduché hodnocení stavu vegetace podle NDVI indexu. Nejčastěji jsou hodnoty v rozmezí 0,2 až 0,8. Když index nabývá záporných hodnot, je výsledek ovlivněn vyšší odrazivostí v oblasti viditelného spektra, což může být zapříčiněno větší oblačností, ledem, skalami nebo sněhem. V globálním měřítku slouží NDVI jako indikátor změny klimatu. (Lukas, 2012)



Obrázek 12 Jednoduché rozdělení podle NDVI indexu (<https://eos.com>)

4 Vlastní práce v roce 2019

Podstata mé diplomové práce spočívá ve vyhodnocení technologie variabilního zakládání porostů polních plodin. Postup maximálně respektoval variabilitu pozemku. Zakládání porostu a vyhodnocení výnosů bylo prováděno podle nejmodernějších poznatků v rámci technických a časových omezení. V roce 2019 bylo provedeno uniformní setí a jeho následné hodnocení.

4.1 Obecné informace o podniku

Zemědělský podnik AG Skořenice akciová společnost byla založena 16. března 1994. Hospodaří v Pardubickém kraji v okrese Ústí nad Orlicí se sídlem Běstovicích. Podnik se zaměřuje na chov mléčného skotu a na zemědělské půdě pěstuje zejména krmivo pro své dojnice a v menší míře i tržní plodiny. Hospodaří na výměře 1250 hektarů. Dvě třetiny z výměry tvoří orná půda a zbylá třetina připadá na louky a pastviny. AG Skořenice hospodaří na pozemcích, které leží na území Přírodního parku Orlice, což přináší určitá agronomická omezení. Na orné půdě pěstují tradiční plodiny jako jsou pšenice, ječmen, žito, kukuřice, jetel, vojtěška, hrách a mák. Podnik se zaměřuje na setí strniskových meziplodin.

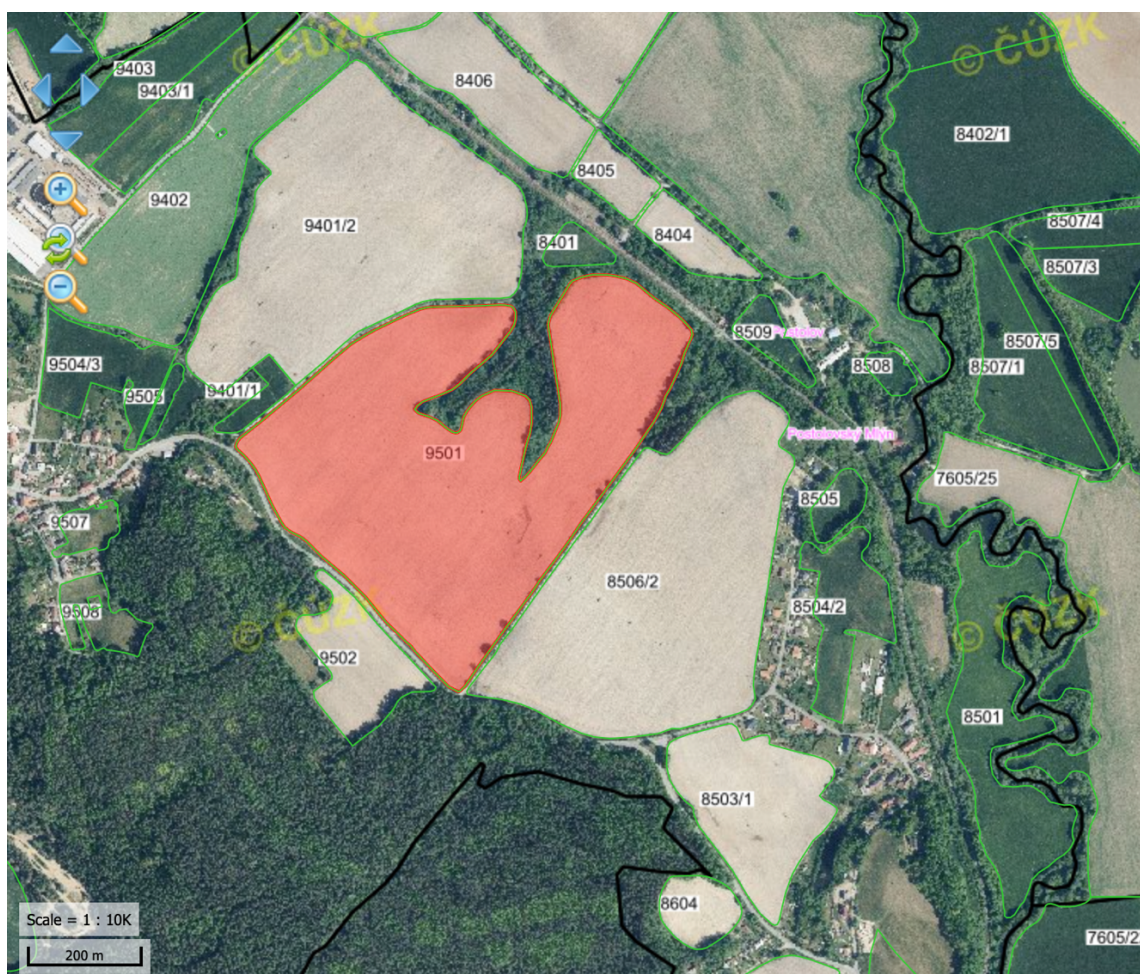
Běstovice se nacházejí v nadmořské výšce 289,5 m n. m. a převažuje zde rovinný ráz krajiny. Nacházejí se v řepářské výrobní oblasti, pro kterou je typická průměrná roční teplota mezi 8-9 °C a průměrný roční úhrn srážek je do 600 mm. (AG Skořenice, 2021)

Podnik hospodaří na méně úrodných půdách – lehčích. Většina z nich jsou hlinito-písčité, které často trpí přísušky. Postupně cílenými kroky se podnik snaží zavádět prvky precizního zemědělství, kterými za využití moderních technologií můžou variabilně reagovat na rozdílné půdní podmínky. V praxi tak například kombinují půdní rozborů se satelitními snímky, to dovoluje doplňovat chybějící živiny pouze na těch částech pozemku, které to skutečně potřebují. Dochází k úspoře nákladů na hnojivo, a také se snižuje ekologický dopad na přírodu, protože nedochází ke zbytečnému přehnojování, jak k tomu docházelo v minulosti při plošných aplikacích stejných dávek hnojiva. Podnik se v precizním zemědělství zaměřuje na setí. V různých pokusech se snaží aplikovat variabilní setí s ohledem na variabilitu půdních vlastností na daném pozemku. (AG Skořenice, 2021)

Průběh počasí v sezóně se nedá ovlivnit ani předpovědět, ale na některé aspekty jako je v posledních letech riziko sucha, se můžeme připravit a některé negativní dopady eliminovat.

4.1.1 Lokalita pozemku

Zájmový pozemek se nachází na území Pardubického kraje, v obci Újezd u Chocně viz obrázek 13 ($50^{\circ}42'34''\text{N};16.44'12''\text{E}$). Pozemek má výměru 28,57 hektaru a jeho povrch je mírně zvlňný. Průměrná nadmořská výška pozemku je 302 m n. m. Nejvyšší bod na pozemku je 320 m n. m. a nejnižší bod je 286 m n. m. Na tomto pozemku konvenčně hospodaří zemědělský podnik AG Skořenice. Tento pozemek byl vybrán z důvodu vysoké variability půdních vlastností.

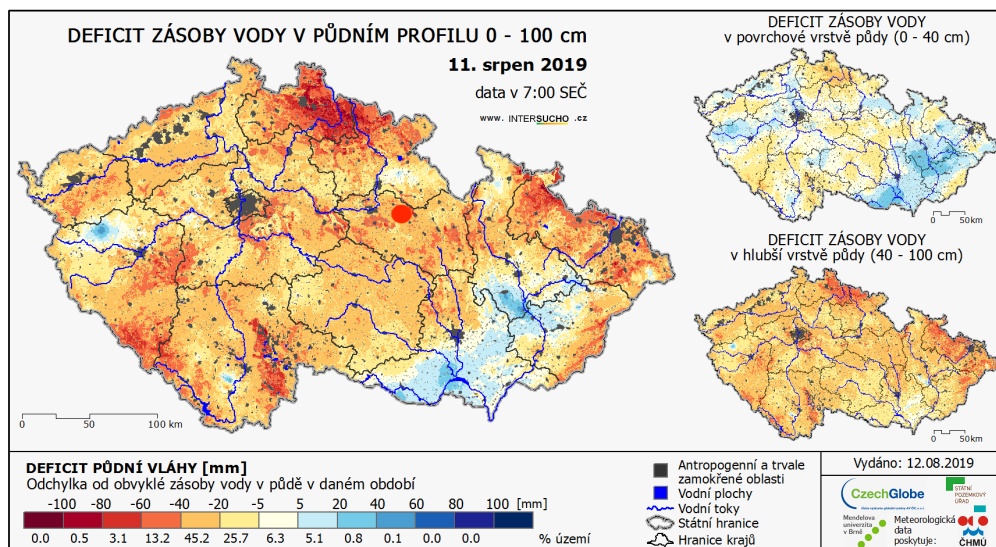


Obrázek 13 Vybraný pozemek k měření (LPIS, ČÚZK, vlastní zpracování)

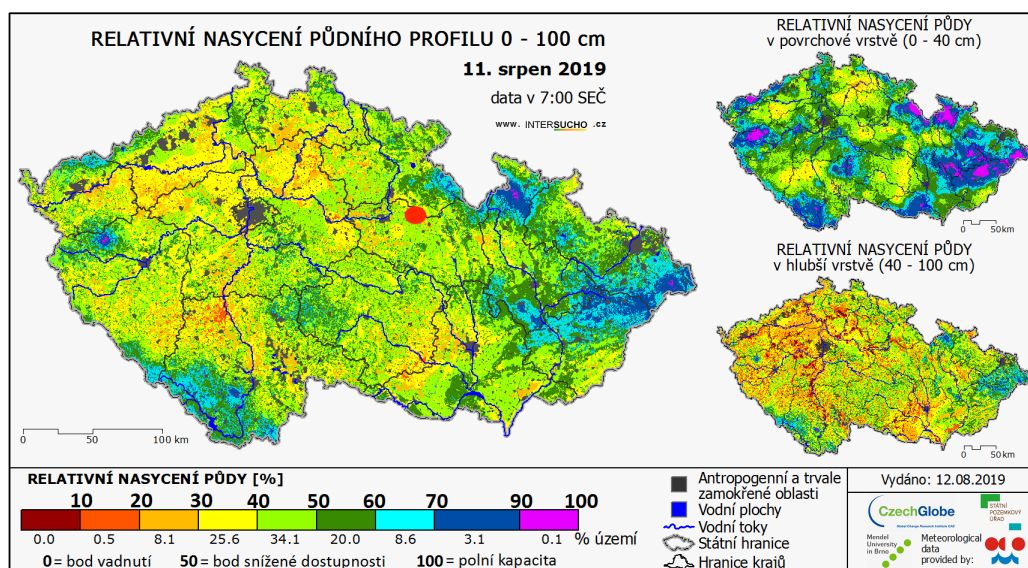
4.2 Klimatické vlivy v roce 2019

Pro vhodný růst kukuřice je nejlepší vlhký a teplý průběh klimatu. Při takových podmínkách může kukuřice určená na siláž dosáhnout dobrého výnosu s menším množstvím agro-technických opatření (Mikyska, 2011).

Rok 2019 byl hodně suchý, což dokládají mapy na obrázku 14 a 15. Na obrázku 14 je vidět, že okres, ve kterém leží námi zkoumaný pozemek má deficit zásoby vody v půdním profilu 0-100 cm velmi výrazný, Jeho odchylka od obvyklé zásoby vody v půdě v daném období tvořila -40 mm.



Obrázek 14 Mapa deficitu zásoby vody v půdním profilu (zdroj: www.intersucho.cz)

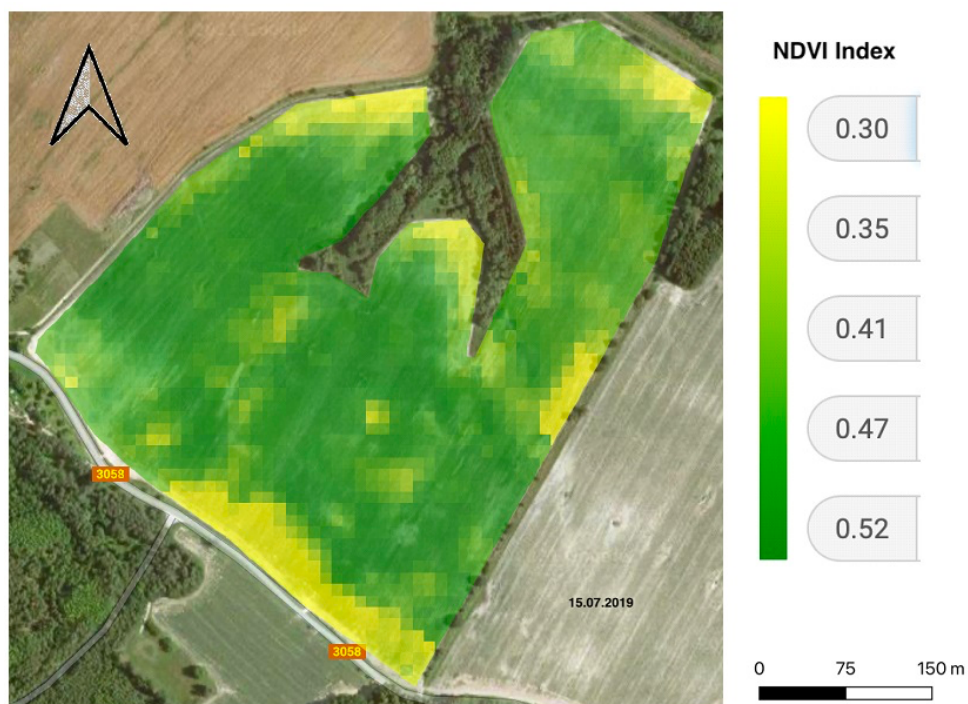


Obrázek 15 Mapa relativního nasycení půdního profilu (zdroj: www.intersucho.cz)

Tyto mapy jsou vybrány z období 11. 8. 2019, kdy v tomto letním měsíci dochází k růstu a dozrávání palic silážní kukuřice. Na obrázku 15 je k vidění mapa relativního nasycení půdního profilu ve třech rozmezích 0-100, 0-40 a 40-100 cm. Náš zkoumaný pozemek leží v zóně relativního nasycení 30-40 %, a proto není dosažena optimální dostupnost vody pro rostliny.

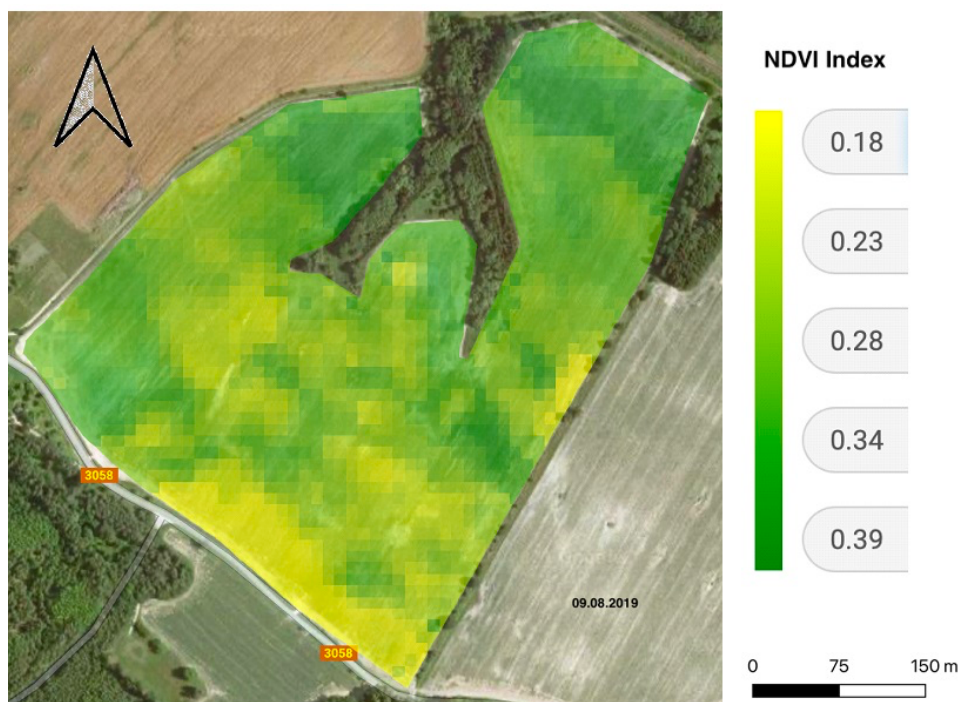
4.3 Hodnocení porostu dle NDVI indexu

Pro hodnocení porostu kukuřice jsem zajistil satelitní snímky z volně přístupného portálu Cropsat a následně vytvořil mapy NDVI indexu na pozorovaném pozemku. NDVI index slouží hlavně k zjištění zdravotního stavu a vodního stresu vegetace. Snímky byly vybrány v rozmezí přibližně 20 až 25 dní, aby zde bylo možné pozorovat změny na vegetaci. Satelitní snímky lze použít pouze při dobré viditelnosti a úplné bezoblačnosti, proto není možné použít všechny snímky.



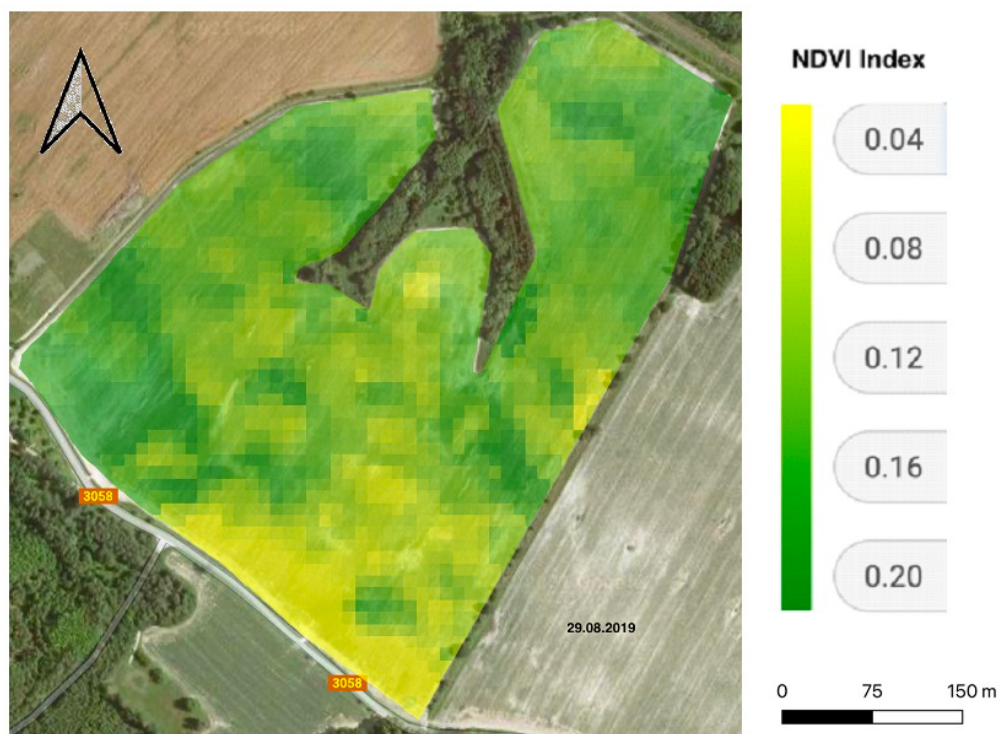
Obrázek 16 NDVI mapa z 15. 7. 2019 (Cropsat, vlastní zpracování)

Na snímku na obrázku 16 z 15. 7. 2019 je vidět, že většina porostu kukuřice je v dobré kondici. Pouze na krajích pozemku se kvalita porostu začíná zhoršovat. Vegetace se pohybuje dle NDVI indexu v rozmezí 0,3-0,52, to značí středně zdravé rostliny.



Obrázek 17 NDVI mapa z 9. 8. 2019 (Cropsat, vlastní zpracování)

Na snímku ze dne 9. 8. 2019 (viz obrázek 17) je možné vidět zhoršující se stav plodiny, kde hlavním důvodem bylo sucho a nedostatek vláhy, pouze na severních částech pozemku je zdravější porost kukuřice. NDVI index se pohybuje v rozmezí 0,18-0,39.

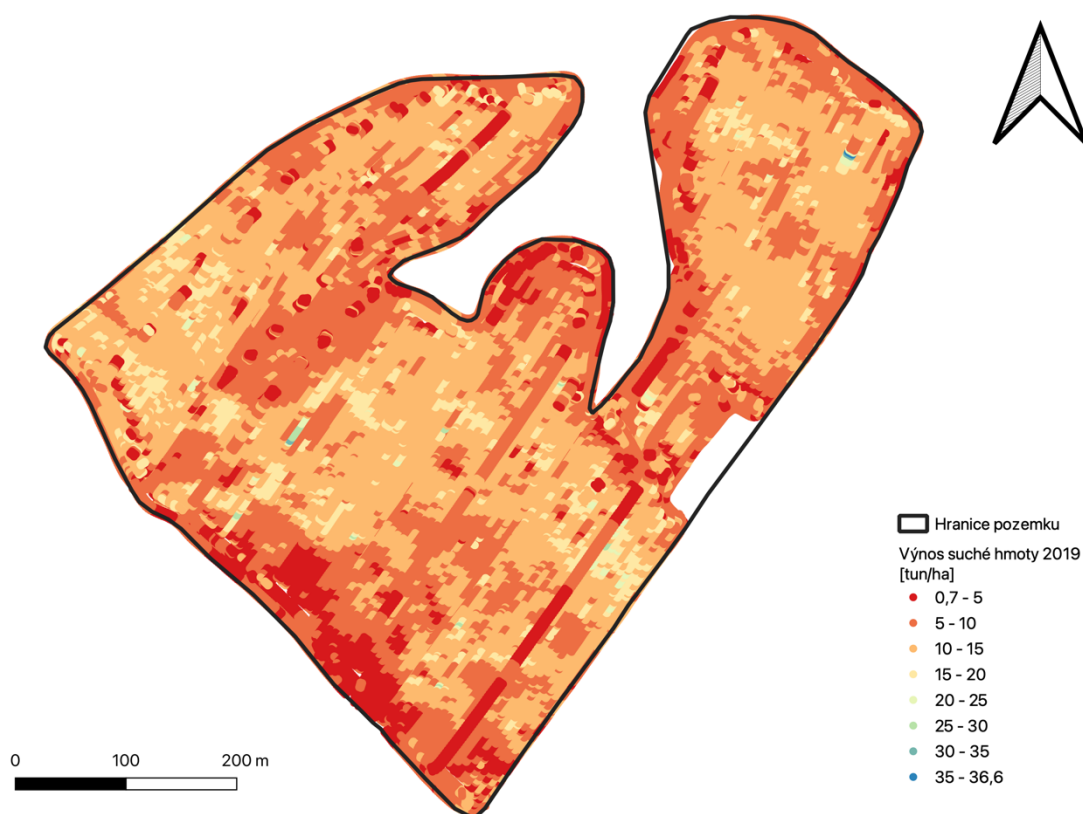


Obrázek 18 NDVI mapa z 29. 8. 2019 (Cropsat, vlastní zpracování)

Poslední snímek na obrázku 18 s datem 29. 8. 2019, který jsem vybral, je šest dní před sklizní a je na něm zřetelně vidět, že většina kukuřice předčasně dozrává z důvodu nedostatku vodní vláhy. Celkově se porost pohybuje ve velmi nízkých číslech NDVI indexu v rozmezí 0,04-0,20, což značí velmi špatný stav porostu s ohledem na vodní stres.

4.4 Výnos v roce 2019

Dne 5. 9. 2019 proběhla na tomto pozemku sklizeň pomocí sklízecí řezačky od firmy John Deere, která byla vybavena zařízením Harvest Lab pro snímání kvality kukuřičné siláže a snímáním výnosu. Pracovní záběr sklízecí řezačky byl shodný se záběrem secího stroje. Jak je vidět na obrázku 19, výnos na pozemku je velmi nerovnoměrný a z toho důvodu bylo důležité zjistit další informace o variabilitě půdních vlastností na tomto pozemku.



Obrázek 19 Výnosová mapa z roku 2019 (vlastní zpracování)

V tabulce 2 jsou uvedeny průměrné statistiky výnosu čerstvé a suché hmoty siláže a další kvalitativní parametry sklizené kukuřice. Průměrný výnos čerstvé hmoty byl 33,14 tun na hektar se sušinou 31,32 %. Průměrný výnos suché hmoty byl 10,4 tun na hektar. NDF (neutrálně-detergentní vláknina) se pohybovala okolo 33,81 % a ADF (acido-detergentní vláknina) byla v průměru 25,2 %. Obsah škrobu byl v průměru 33,81 %.

Rok	výsevek	Výnos čerstvé hmoty	Výnos suché hmoty	Sušina	NDF	Škrob	ADF
	(jedinců/ha)	(t/ha)	(t/ha)	%	%	%	%
2019	90000	33,14	10,4	31,32	38,98	33,81	25,2

Tabulka 2 Výnos a kvalitativní parametry kukuřičné siláže (vlastní zpracování)

4.5 Zhodnocení pokusu v roce 2019

Z důvodu velkého sucha v roce 2019 jsou výsledky výnosu kukuřice velmi nízké a hodnoty kvality siláže nejsou nejlepší. Pokus v roce 2019 ukázal, že pole je velmi nevyrovnané v oblasti půdních vlastností, a proto se hodí k dalšímu zkoumání daných charakteristik a podmínek na stanovišti. Na podzim byla na pozemku provedena orba na hloubku 0,25 m a pozemek byl nechán ladem až do jara 2020.

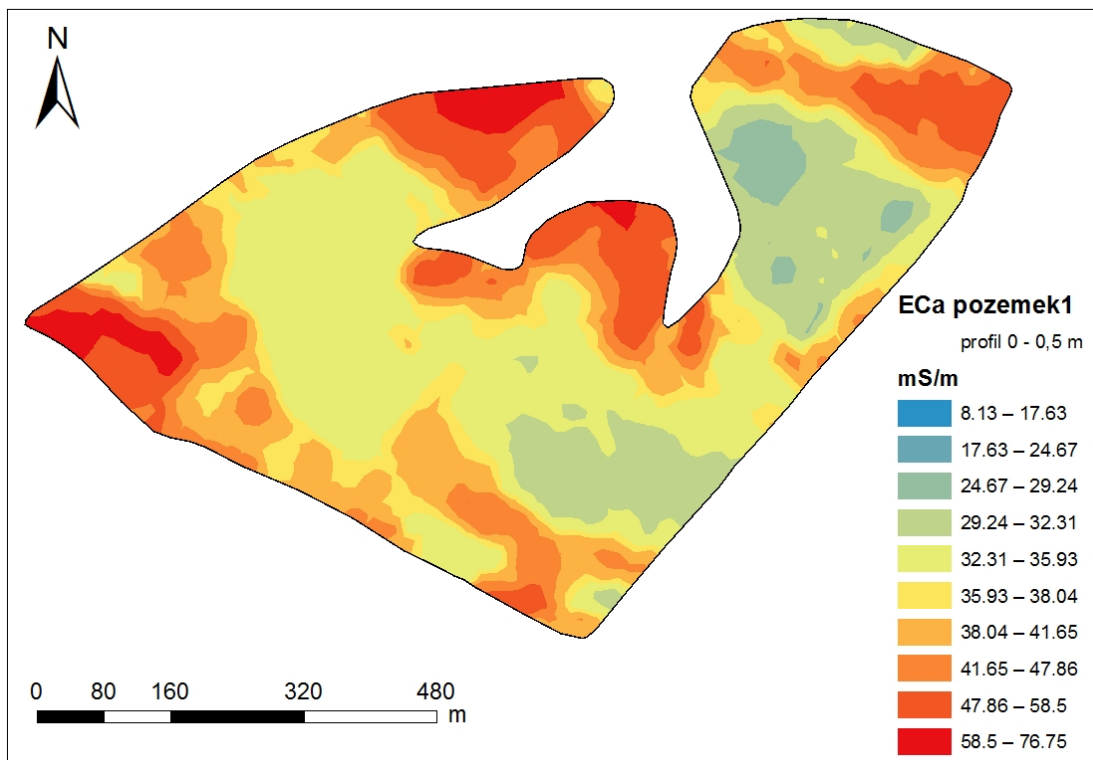
5 Vlastní práce v roce 2020

Na jaře roku 2020 byla provedena celoplošná předseťová příprava kompaktorem. Z důvodu velké variability půdních vlastností na pozemku zvaném Požáry bylo rozhodnuto o vytvoření map elektrické vodivosti půdy a měření aktivity izotopů v půdě pomocí gama-spektrometru.

5.1 Elektrická vodivost půdy

Pro měření a stanovení elektrické vodivosti půdy byl použit přístroj označovaný jako EM38 MK2 od společnosti Geonics Limited. Jedná se o bezkontaktní senzor, jehož vysílací cívka vytváří elektromagnetické pole, pomocí které určuje elektrickou vodivost podle hloubky. Přijímající cívka měří primární indukci a také sekundární indukovaný proud v půdě. Z těchto dvou hodnot je zjištěna vodivost půdy (Brant a kol., 2020).

Pro potřeby zjištění většího množství informací o daném pozemku a jeho půdních vlastností proběhlo 21. 4. 2020 měření pomocí tohoto přístroje. Na obrázku 20 je mapa měrné vodivosti zkoumaného pozemku v půdním profilu od 0-0,5 metru. Mapa byla vytvořena pomocí interpolační metody nazývané kriging. Tato metoda využívá principu interpolování hodnot modelováním pomocí gaussovského procesu, podle apriorních kovariancí. Za vhodných předpokladů dává metoda kriging nejlepší lineární předpověď střední hodnoty.



Obrázek 20 Mapa půdní vodivosti v půdním profilu 0-0,5 m (vlastní zpracování)

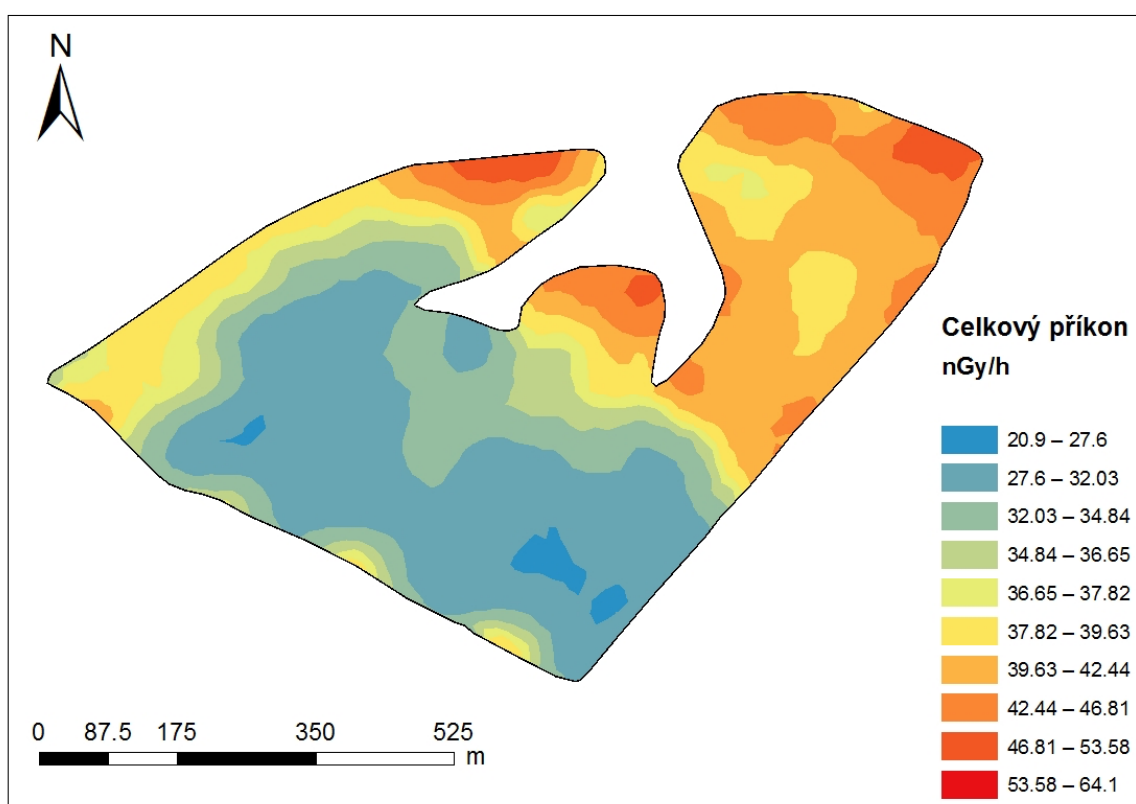
Z mapování půdní vodivosti vyplynulo, že průměrná hodnota vodivosti na tomto pozemku činí 41,06 mS/m. Z mapy je patrné, že největší měrná vodivost byla naměřena v severozápadním cípu pozemku, kde byla naměřena i nejvyšší hodnota, která činila 76,758 mS/m. Nejmenší hodnota byla 16,49 mS/m, naměřena na v severovýchodní části pozemku, výsledné statistické hodnoty pro ECa jsou uvedené v tabulce 3.

Statistický přehled CV 0,5m	Hodnota
Počet	5971
Průměr	41.0619
Medián	38.672
Směrodatná odchylka	9.56774
Minimum	16.484
Maximum	76.758
Rozsah	60.274
Menšina	16.484
Většina	34.922

Tabulka 3 Statistický přehled pro ECa profil 0-0,5 m (vlastní zpracování)

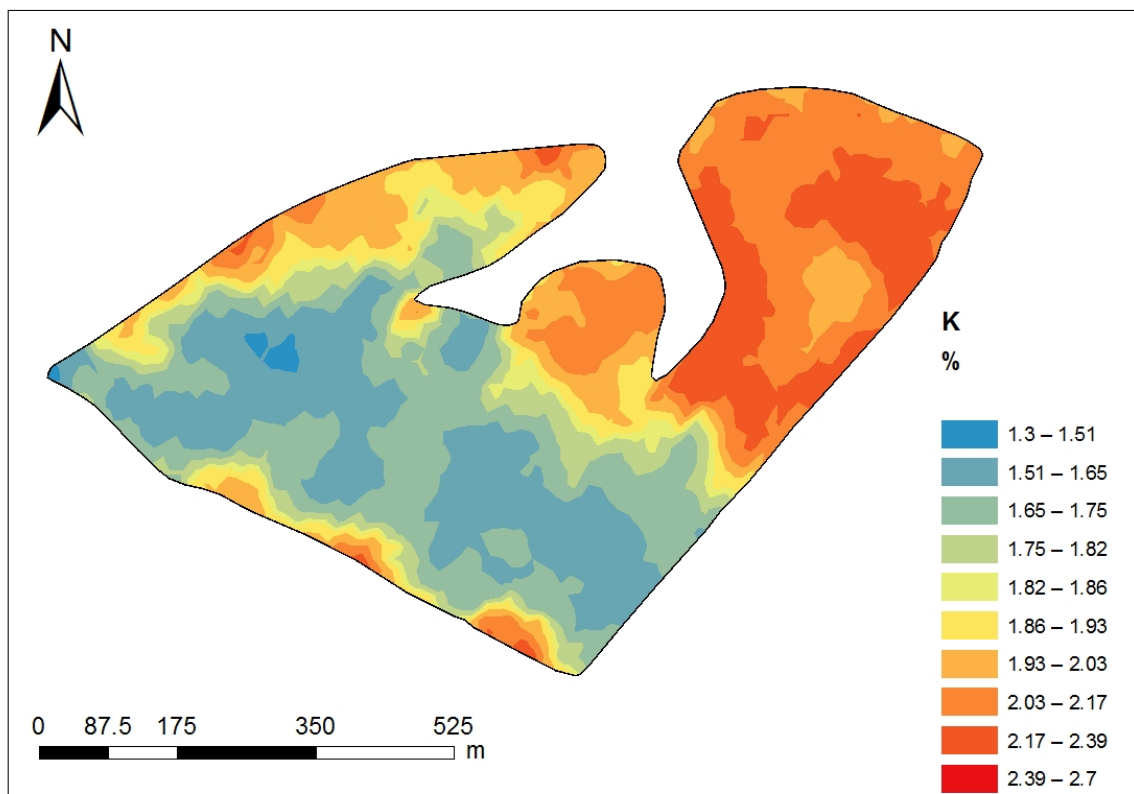
5.2 Gama-spektrometrie

Pro lepší porozumění variabilitě půdních podmínek na našem pozemku bylo rozhodnuto provést měření pomocí gama-spektrometrie. Pro měření byla použita sonda GS Car od české firmy GF Instruments. Měření proběhlo 21. 4. 2020. Hodnota DR vyjadřuje celkovou vyzářenou energii na daném místě. Pomocí tohoto přístroje lze měřit obsah thoria, uranu a draslíku. Měření poskytlo poměrně přesnou mapu variability půdních vlastností na obrázku 21. Hodnoty se pohybují od 20,9 až do 64,1 [nGy/h]. Nejvyšší hodnoty, stejně jako u měrné vodivosti půdy, bylo dosaženo na severozápadním cípu pozemku.



Obrázek 21 Mapa s celkovým příkonem DR (vlastní zpracování)

Pro ilustraci jsem vybral mapu celkového obsahu draslíku na pozemku mapa na obrázku 22. Jeho rozložení se pohybuje v rozmezí 1,3-2,7 % a koresponduje s mapou celkového příkonu (DR) a s mapou měrné elektrické vodivosti půdy. Tyto mapy (viz obrázek 21, 22) byly vytvořeny pomocí zmíněné interpolační metody kriging v systému GIS.

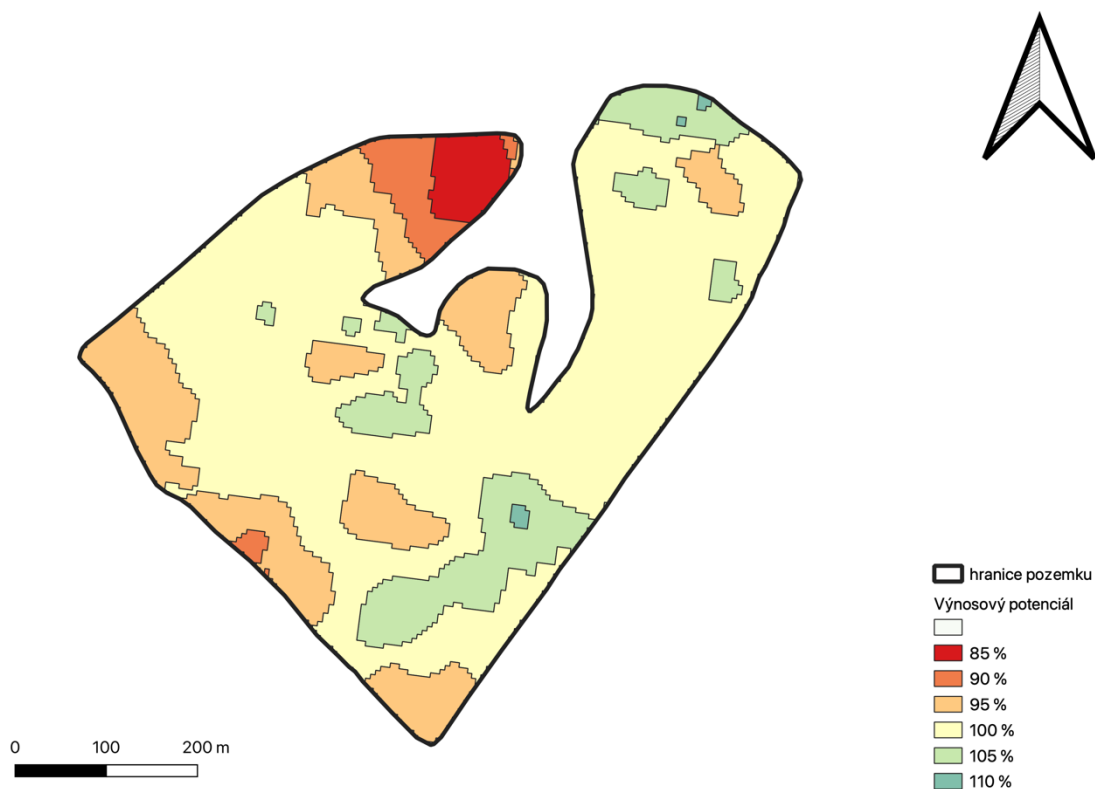


Obrázek 22 Mapa celkového obsahu draslíku (vlastní zpracování)

5.3 Vytvoření mapy výnosového potenciálu

Pro variabilní přístup k pozemku a následné setí je důležité vytvoření mapy výnosového potenciálu. Pro vybraný pozemek jsme si určili výnosový potenciál. Výnosový potenciál se pohybuje v rozmezí 85 % až 110 % jak lze vidět na obrázku 23. Nejnižší výnosový potenciál je na severozápadním cípu pozemku. Zón s očekávaným vyšším výnosem je hned několik, ale jedna hlavní se nachází v jižní části pozemku.

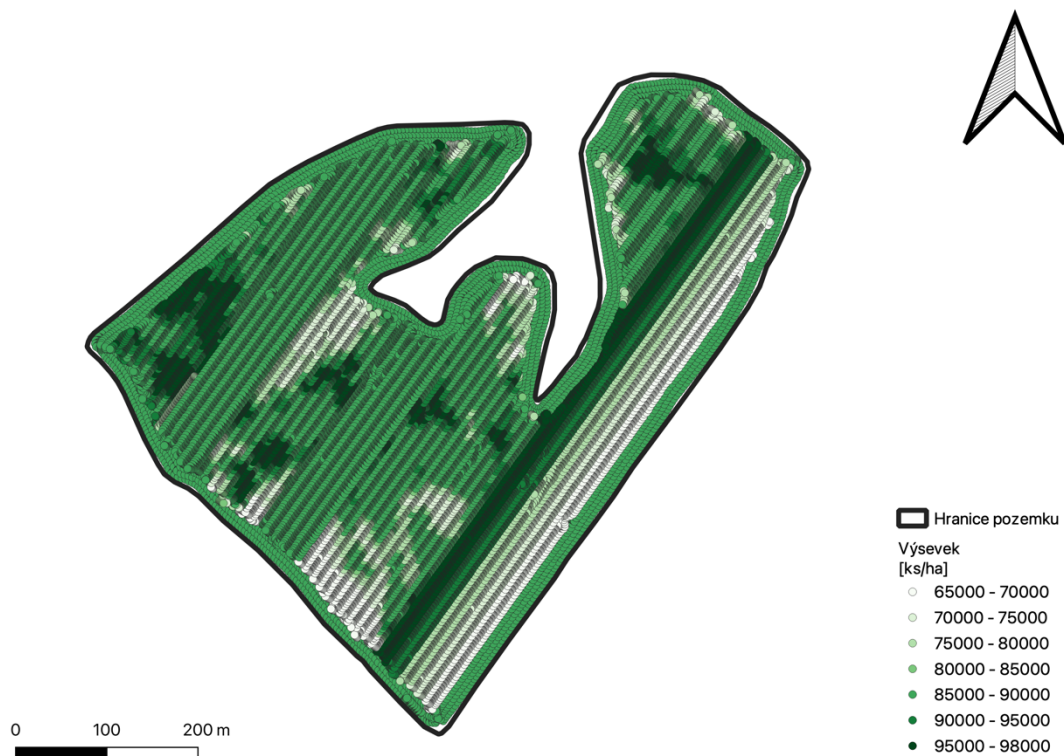
Výnosový potenciál byl vytvořen z dat výnosů předchozích let, družicových snímků a z map půdních vlastností.



Obrázek 23 Výnosový potenciál pozemku (vlastní zpracování)

5.4 Založení porostu

Založení porostu proběhlo v termínu 4.5.2020. Osivo bylo umístěno pomocí přesného secího stroje Väderstad Tempo, který je vybaven možností variabilního upravení výsevku podle mapy výnosového potenciálu. Předpisová mapa pro setí byla vytvořena v programovém nástroji SMS Basic (AG Leader, USA).

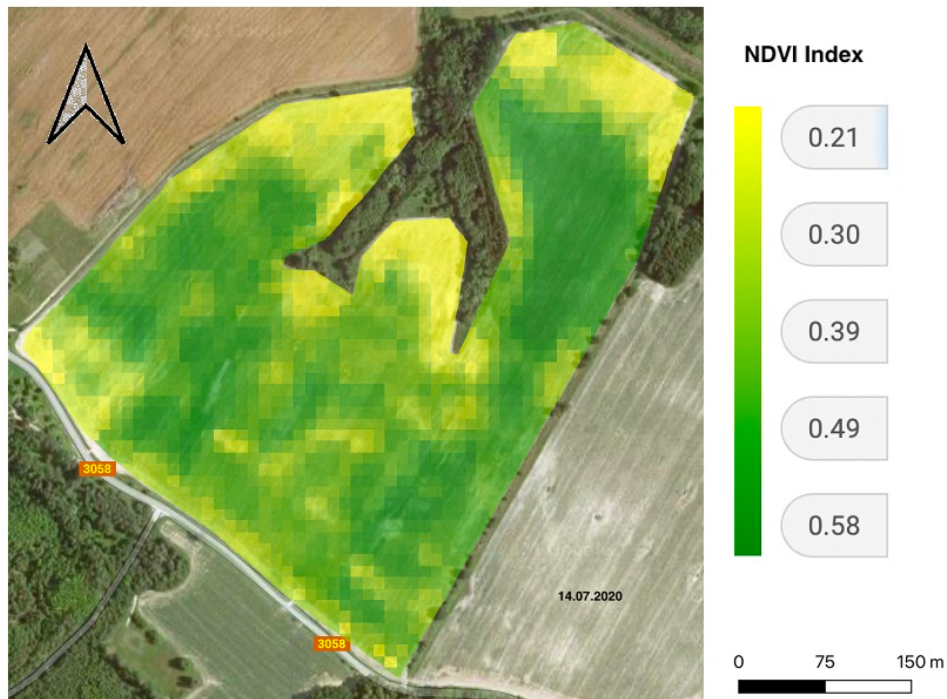


Obrázek 24 Mapa s aplikací variabilního setí (vlastní zpracování)

Bylo zaseto osiv LG 31277 v klasické meziřádkové vzdálenosti pro širokořádkové rostliny 750 mm. Výsevek se pohyboval v rozmezí 65 000 - 97 000 semen na hektar viz obrázek 24. Nejprve se provedlo obsetí souvratí pomocí 4 jízd, kde byl výsevek v uniformní dávce 87 000 jedinců na hektar. A z jižní části pozemku následovaly 3 jízdy pro 65 000 jedinců na hektar. Dále následovaly 3 jízdy pro 71 000 jedinců na hektar. V dalších pruzích byly vždy 3 jízdy s výsevem 79 000, 92 000 a konečných 97 000 jedinců na hektar. Tyto pruhy byly vybrány z důvodu křížování několika vrstev variability půdy a výnosového potenciálu.

5.5 Hodnocení porostu dle NDVI indexu

Stejně jako pro rok 2019 jsem vybral snímky pozemku a na nich hodnocený NDVI index. Snímky jsem vybral ze stejného data jako minulý rok, aby bylo možné provést srovnání porostů v průběhu vegetace. Časové rozmezí mezi snímky bylo 20-25 dní.



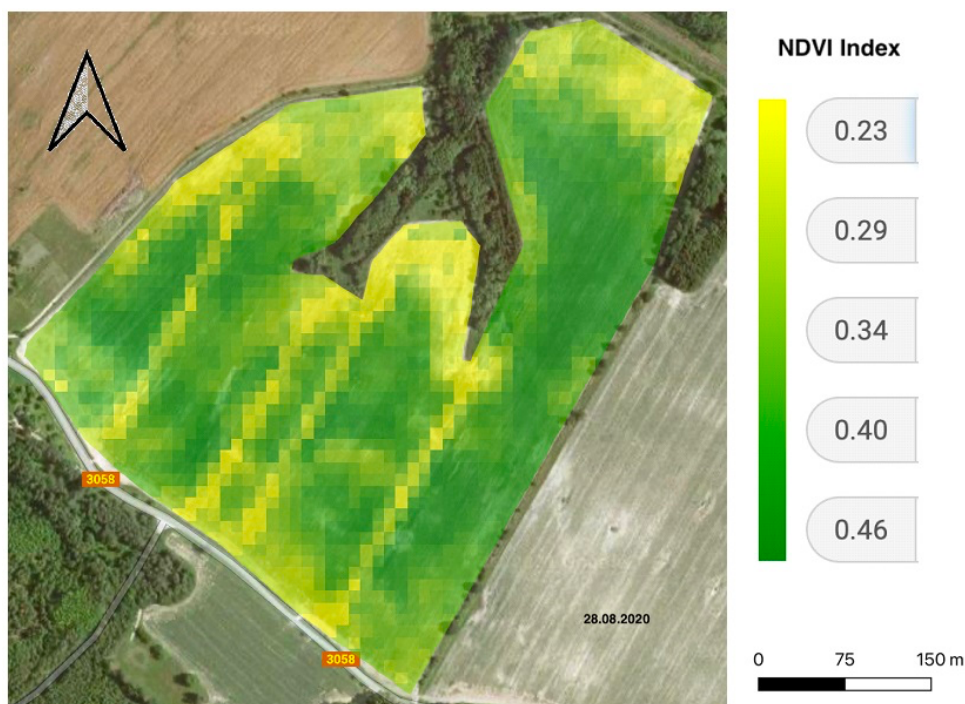
Obrázek 25 NDVI mapa z 14. 7. 2020 (Cropsat, vlastní zpracování)

Na první mapě (viz obrázek 25) z data 14. 7. 2020 můžeme vidět, že porost kukuřice je v dobré kondici kromě krajních částí pozemku. Hodnoty se pohybují mezi intervaly 0,21 - 0,58.



Obrázek 26 NDVI mapa z 8. 8. 2020 (Cropsat, vlastní zpracování)

Na obrázku 26 je jasně vidět, že porost kukuřice je stále v dobré kondici dle NDVI indexu. Stále se pohybuje v rozmezí 0,28 - 0,49. Oproti roku 2019, kdy se NDVI index pohyboval v intervalech 0,19 - 0,39, můžeme pozorovat výrazné zlepšení.

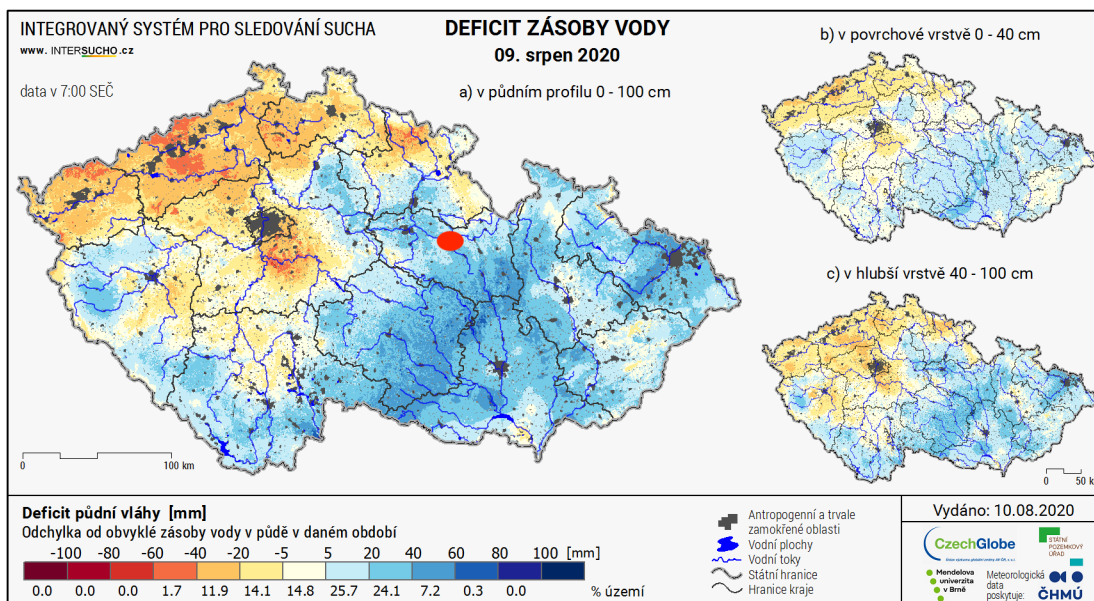


Obrázek 27 NDVI mapa z roku 28.08.2020 (Cropsat, vlastní zpracování)

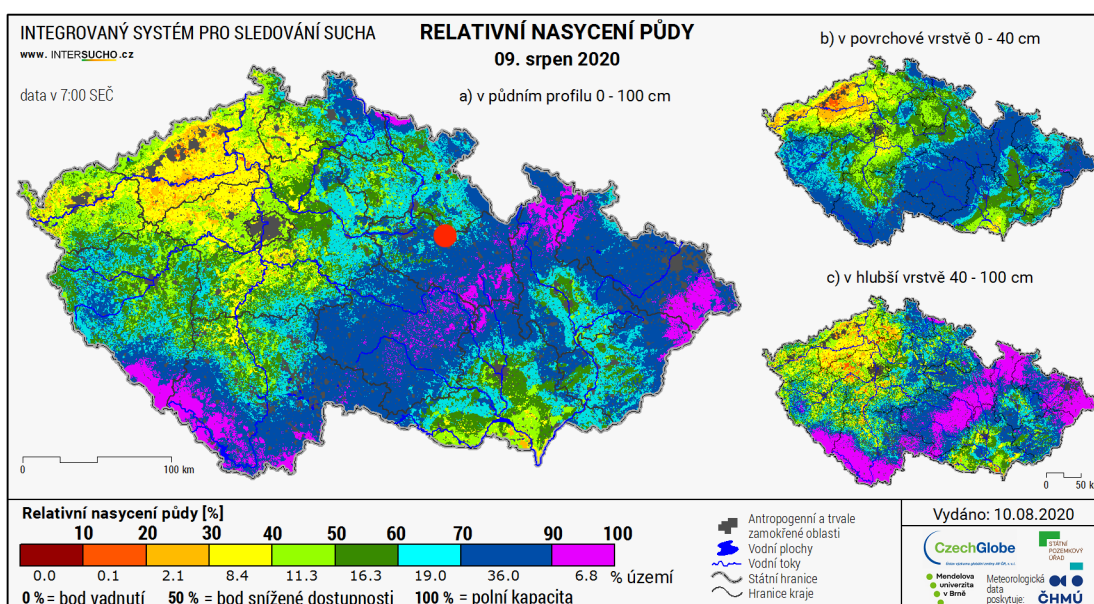
Poslední mapa na obrázku 27 jasně ukazuje, že vegetace je stále v dobré kondici. Pouze na krajích se vyskytuje horší stav vegetace. NDVI index se pohybuje v přijatelném rozmezí od 0,23 - 0,46. V porovnání s rokem 2019, kdy byl naměřen v rozmezí 0,04 - 0,2.

5.6 Klimatické vlivy pokusu

Rok 2020 byl z hlediska klimatických vlivů naprosto odlišný od roku 2019. V červenci a srpnu převládalo chladnější počasí s dostatkem vodních srážek, což dokládají mapy na obrázku 28 a 29. Z první mapy lze vidět, že okres, ve kterém leží vybraný pozemek byl vodou nasycen dostatečně v půdním profilu 0-100 cm. Odchylka od obvyklé zásoby vody v půdě dosáhla v daném období až 20 %. Ve vrstvě 0-40 cm byla v daném období nadstandartní zásoba vody.



Obrázek 28 Mapy deficitu vodní zásoby (zdroj: www.intersucho.cz)



Obrázek 29 Mapy relativního nasycení půdy (zdroj: www.intersucho.cz)

Tyto mapy byly vybrány z období 9. 8. 2020, kdy v srpnu dochází k růstu a dozrávání palic silážní kukuřice, což je pro výsledné kvalitativní parametry siláže velmi podstatné. Na obrázku 29 jsou mapy relativního nasycení půdního profilu ve třech rozmezech 0-100, 0-40 a 40-100 cm. Zkoumaný pozemek leží v zóně relativního nasycení 70-90 %, a proto nehrozilo riziko snížené dostupnosti vody pro silážní kukuřici. Vyhodnocený porost měl dostatek povrchové vody.

5.7 Výnos v roce 2020

Dne 18. 9. 2020 proběhla sklizeň na vybrané lokalitě pomocí sklízecí řezačky od firmy John Deere, která jako minulý rok byla osazena měřícím senzorem Harvest Lab, který snímá kvalitu kukuřičné řezanky. Byl snímán výnos mokré a suché hmoty. Pracovní šířka sklízecí řezačky byla stejná jako šířka secího stroje, kterým byl pozemek zasetý. Na obrázku 30 vidíme výnosovou mapu suché hmoty a na ní jednotlivé výnosy v roce 2020.



Obrázek 30 Výnosová mapa 2020 (vlastní zpracování)

V tabulce 4 jsou k vidění průměrné hodnoty výnosu čerstvé a suché hmoty kukuřičné řezanky a další kvalitativní parametry. Průměrný výnos čerstvé hmoty byl 37,81 tun na hektar se sušinou 30,65 % a průměrný výnos suché hmoty byl 11,4 tun na hektar. ADF bylo 23,99 % a průměrné NDF bylo 37,43 %. Průměrný obsah škrobu se pohyboval v rozmezí 35,2 %.

Rok	výsevek	Výnos čerstvé hmoty	Výnos suché hmoty	Sušina	NDF	Škrob	ADF
	(jedinců/ha)	(t/ha)	(t/ha)	%	%	%	%
2020	variabilní	37,81	11,4	30,65	37,43	35,2	23,99

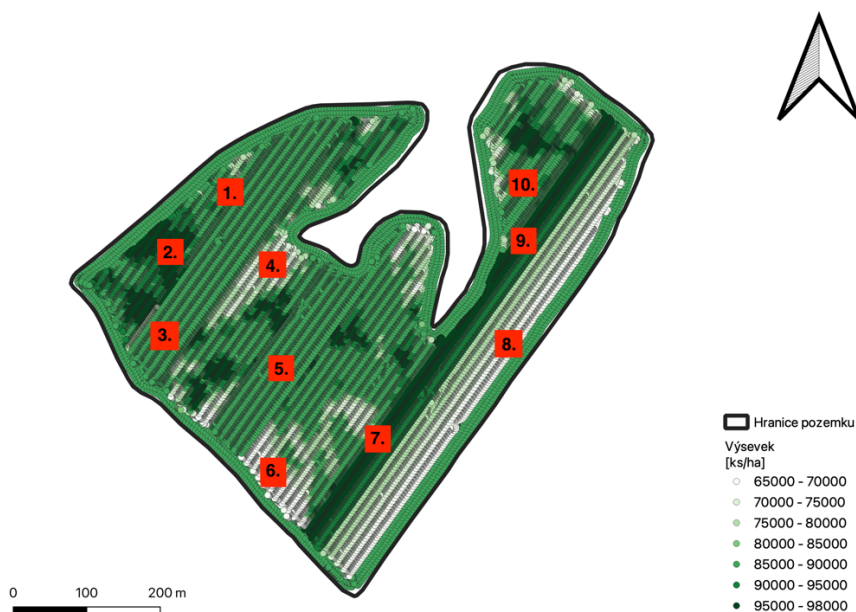
Tabulka 4 Výnos v roce 2020 (vlastní zpracování)

6 Výsledky a diskuse

V této kapitole jsou obsaženy výsledky a srovnání různých variant založení porostu s variabilním výsevkem a různou úrovní výnosového potenciálu.

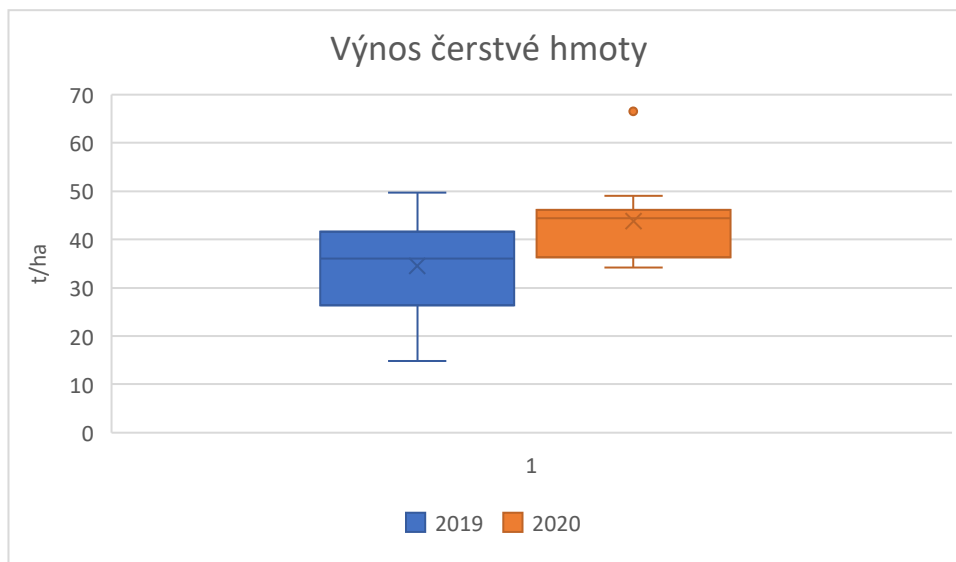
6.1 Srovnání výnosu 2019 a 2020

Pro porovnání výnosů čerstvé a suché hmoty byla vybrána vhodná místa na mapě viz obrázek 31. Vždy byl vybrán čtverec o rozměrech 10 metrů a vypočítán průměr z dané oblasti.



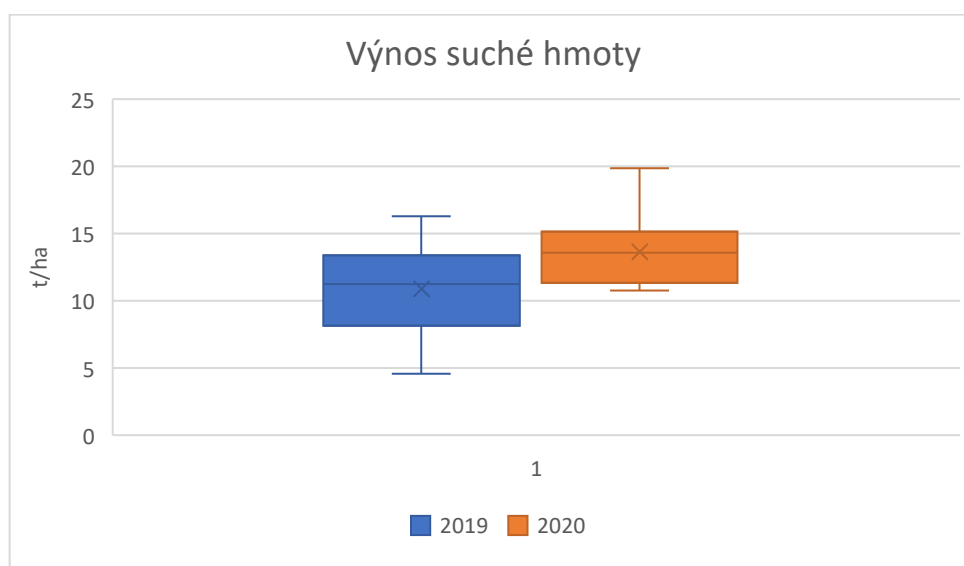
Obrázek 31 Mapa a místa odběrů (vlastní zpracování)

Statistické zhodnocení viz graf na obrázku 32 prokazuje rozdíl mezi roky 2019 a 2020 ve výnosu čerstvé hmoty. V roce 2020 byl zaznamenán vyšší průměrný výnos z daných lokalit 43,86 t/ha a v roce 2019 byl zaznamenán průměrný výnos čerstvé hmoty 34,38 t/ha.



Obrázek 32 Srovnání výnosu čerstvé hmoty 2019 a 2020 (vlastní zpracování)

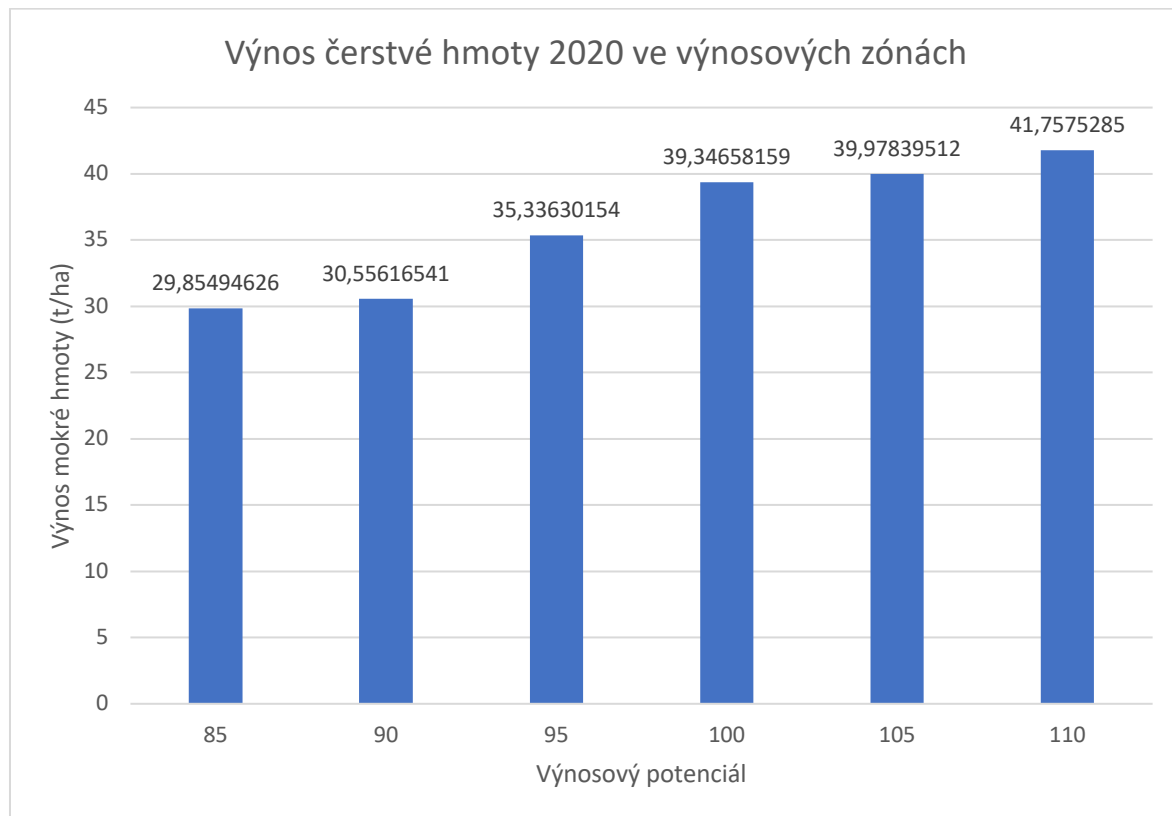
Z pozorování výnosu suché hmoty je statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými roky. V roce 2019 byl dosažen menší průměrný výnos suché hmoty a to 10,9 t/ha a v roce 2020 byl dosažen vyšší výnos a to 13,48 t/ha viz graf na obrázku 33.



Obrázek 33 Srovnání výnosu suché hmoty v roce 2019 a 2020 (vlastní zpracování)

6.2 Výnos dle výnosového potenciálu

Prvním zkoumaným znakem byl výnos čerstvé hmoty v roce 2020 s ohledem na oblasti výnosového potenciálu.

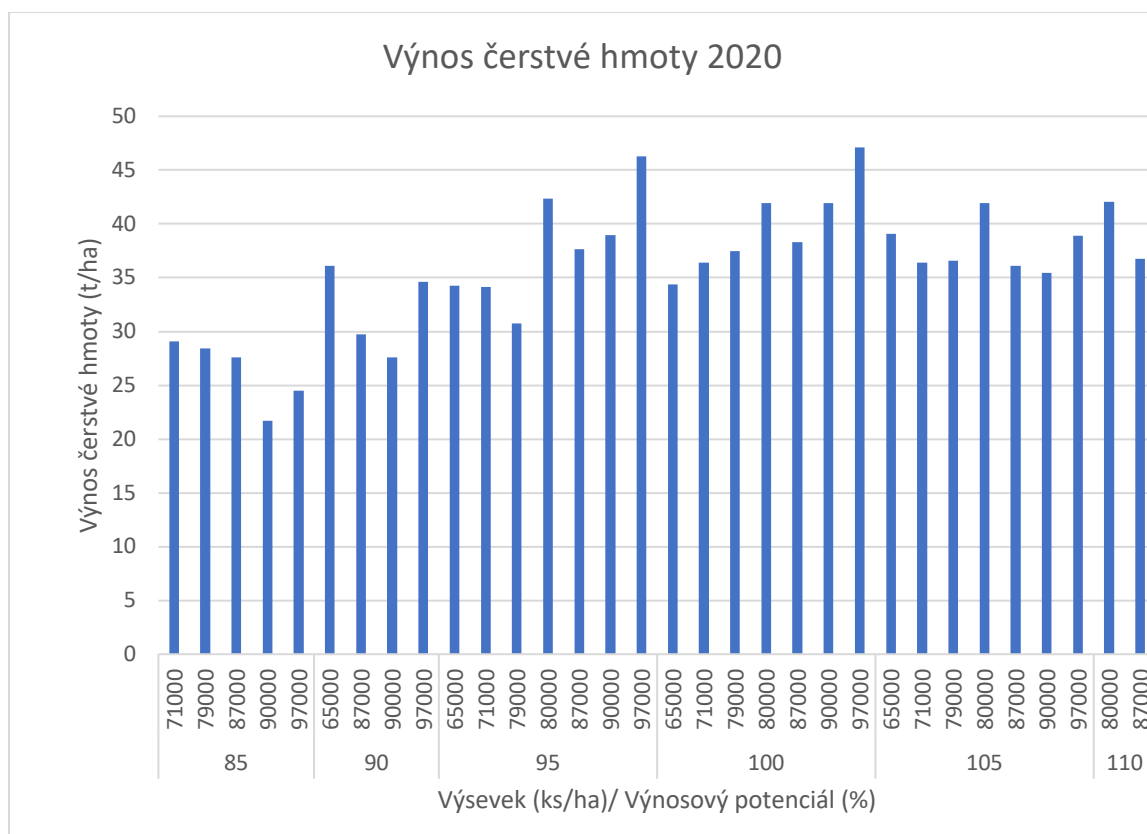


Obrázek 34 Výnos čerstvé hmoty 2020 (vlastní zpracování)

Graf na obrázku 34 jasně prokazuje správné předseťové určení výnosového potenciálu. Nejnižší výnos byl v zóně výnosového potenciálu 85 %, kde činil 29,85 tuny na hektar. Zato nejvyššího průměrného výnosu bylo dosaženo v místech s potenciálem 110 % a to 41,76 t/ha. Nicméně zóna s výnosovým potenciálem 110 % byla pouze jedna malá. Výnos lineárně rostl s výnosovým potenciálem na dané lokalitě pozemku.

6.3 Výnos čerstvé hmoty

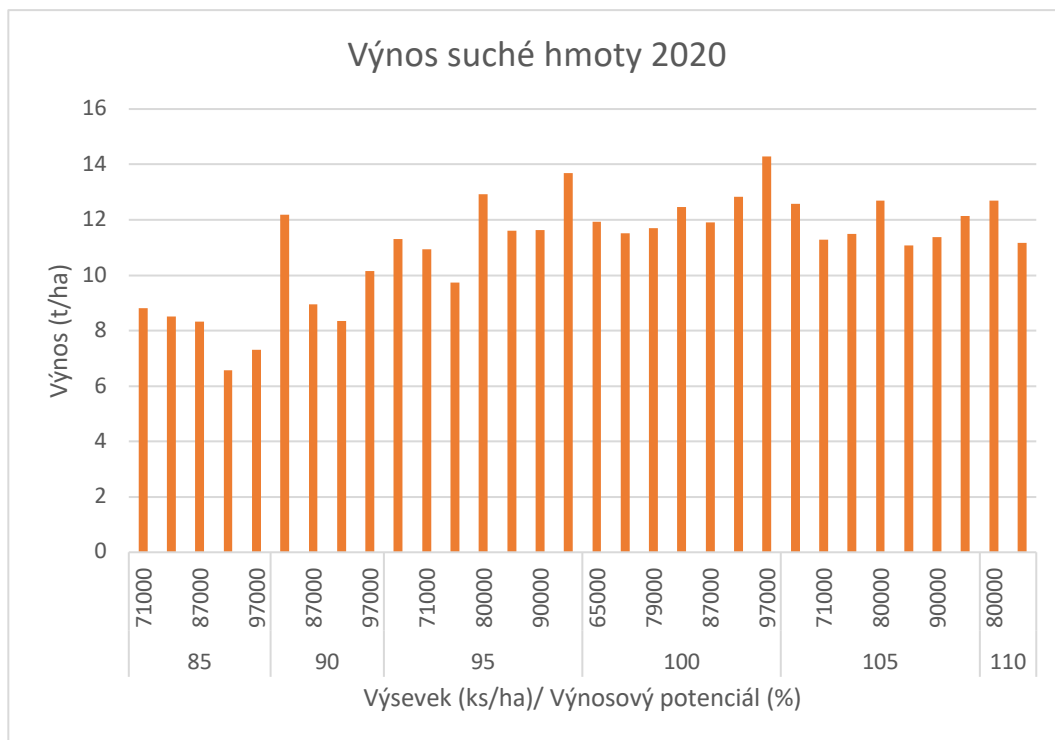
Na grafu na obrázku 35 je vidět závislost mezi výnosem čerstvé hmoty a velikostí výsevku v lokalitě výnosového potenciálu. Nejlepších hodnot výnosu bylo dosaženo v lokalitách s výnosovým potenciálem 100 % a výsevku 97 000 jed./ha.



Obrázek 35 Výnos čerstvé hmoty 2020 (vlastní zpracování)

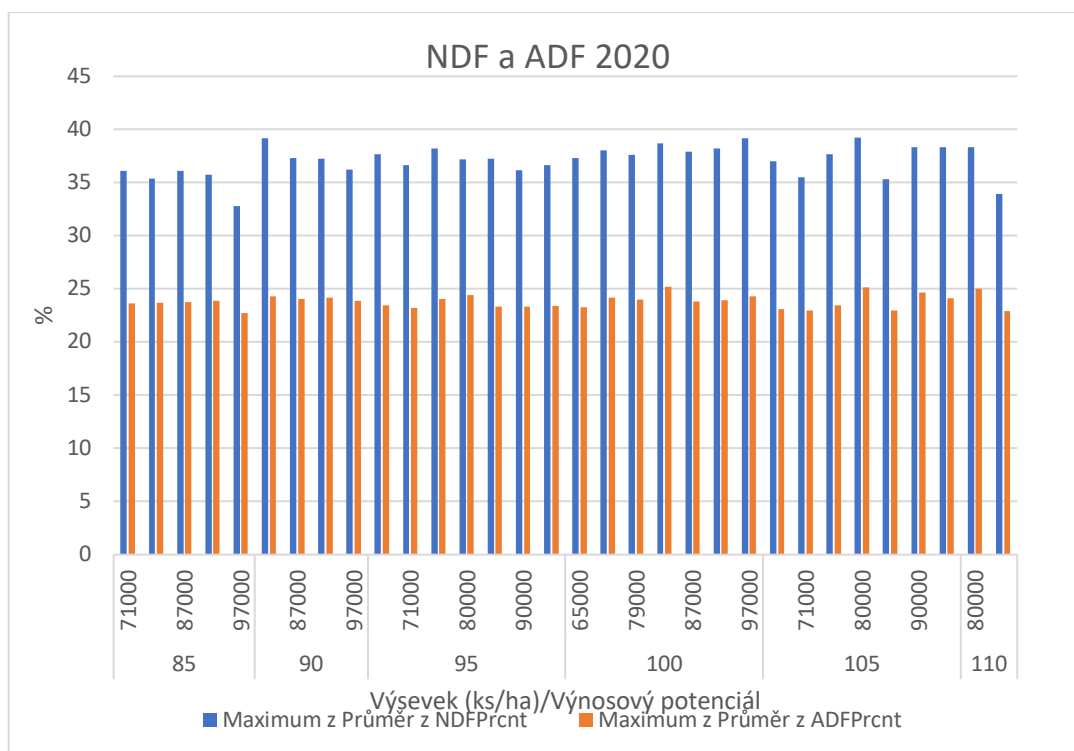
Z uvedeného grafu viz obrázek 35 vidíme, že výnos čerstvé hmoty je ovlivněn výnosovým potenciálem a výsevku. Ve většině případů s vyšším výsevku bylo dosaženo vyššího výnosu čerstvé hmoty. Vrcholu bylo dosaženo v zóně výnosového potenciálu 100 % a i vyšší výsevek v zóně 105 % neznamena vyšší výnos. Každopádně zvyšování výsevku má opodstatnění v zónách s nižším výnosovým potenciálem.

Následující graf na obrázku 36 ukazuje výnos suché hmoty v závislosti na výnosovém potenciálu a výsevku. Jako u předešlého zkoumání nejvyšší výnos byl v zóně výnosového potenciálu 100 % a výsevku 97 000 jed./ ha.



Obrázek 36 Výnos suché hmoty 2020 (vlastní zpracování)

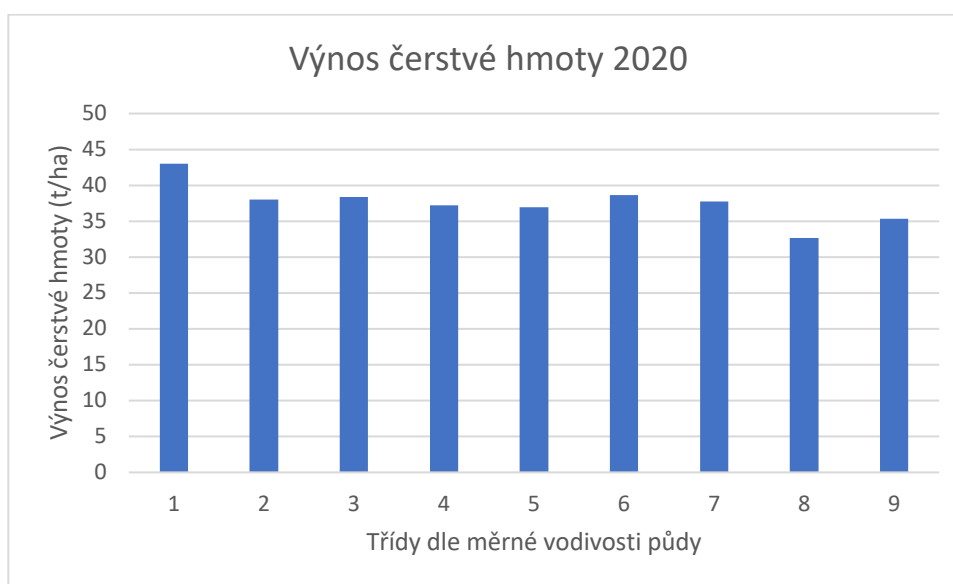
Z grafu na obrázku 36 vidíme, že výnos suché hmoty je ovlivněn výnosovým potenciálem a výsevkem. Ve většině případů s vyšším výsevkem bylo dosaženo vyššího výnosu suché hmoty.



Obrázek 37 NDF a ADF 2020 (vlastní zpracování)

Na obrázku 37 je vidět závislost mezi NDF (neutrálně detergentní vláknina) a ADF (acido-detergentní vláknina. Nebyl prokázán vliv výsevku nebo výnosového potenciálu na NDF a ADF.

Dle mapy měrné vodivosti půdy bylo vytvořeno 9 klasifikovaných tříd viz graf na obrázku 38. Nejvyšší výnos byl pozorován v první třídě s hodnotami v rozmezí 17,63 - 24,67 mS/m. V této třídě byl výnos 42,96 t/ha. Naopak nejnižší výnos byl pozorován ve třídě s 8 hodnotami v rozmezí 47,86 - 58,5 mS/m, kde byl 32,69 t/ha.



Obrázek 38 Výnos v závislosti na třídě měrné vodivosti půdy (vlastní zpracování)

6.4 Diskuse

Cílem práce bylo na základě polního experimentu zhodnotit vliv výsevku a variability půdních vlastností na konečný výnos kukuřičné siláže a její kvalitativní parametry. Výsevek se pohyboval v rozmezí 65 000 až 97 000 rostlin/ha.

Dle Sangoi (2001) je důležité pro dosažení maximálního výnosu silážní hmoty zvolit takový výsevek, který zohledňuje podmínky stanoviště a také vliv odrůdy. Výsevek by se měl pohybovat mezi 30 000 - 90 000 jedinců na hektar v závislosti na úrodnosti půdy, dostupnosti vody a také termínu setí. Pro polní pokus v roce 2019 byl uniformní výsevek 90 000 rostlin na hektar a v roce 2020 byl variabilní výsevek nastaven v rozmezí 65 000 - 97 000 rostlin na hektar. Dle Fuksy a kol. (2017) postupné navyšování výsevku vede k vyššímu výnosu. To se ve výsledcích potvrdilo. Pozitivní vliv na výnos plodiny měla výše výsevku a také lokalita na mapě výnosového potenciálu.

Dle Fischera a kol. (1989) je nejdůležitější faktor ovlivňující výnos siláže průběh počasí během vegetační doby. V Pardubickém kraji je průměrná roční teplota 7,9 °C a dlouhodobý srážkový normál v letech 1981-2010 činil 702 mm. Celkově rok 2019 byl nadprůměrně teplý. Průměrná teplota v Pardubickém kraji činila 9,6 °C. V roce 2020 činila průměrná teplota 9,2 °C. V roce 2019 bylo naměřeno v Pardubickém kraji 652 mm srážek, což je o 50 mm méně oproti normálu. Oproti tomu v roce 2020 bylo naměřeno 898 mm srážek, což činí 128 % normálu. Tento faktor zcela jistě ovlivnil naše měření, protože kukuřici nejlépe vyhovuje srážkově bohatý a teplý rok. To se projevilo i v našem pokusu, kdy rok 2020 vyšel lépe z hlediska výnosu čerstvé i suché hmoty, než rok 2019 (ČHMÚ, 2021).

Pěstování kukuřice na siláž je ekonomicky výhodné, jelikož se dá dosáhnout vysokých výnosů živin při relativně nízkých nákladech. Pěstitelské a povětrnostní podmínky významně ovlivňují ekonomické zhodnocení siláže (Mikyska, 2011).

Cílem ekonomického zhodnocení pokusu bylo zjistit, zda se budou lišit náklady na jednu tunu při různém nastavení výsevku v hladinách výnosového potenciálu 95-105 %.

7 Ekonomické zhodnocení pokusu

Pro ekonomické zhodnocení pokusu jsem vybral analýzu nákladů na osivo v závislosti na výnosu čerstvé a suché hmoty silážní kukuřice. Cena 1 výsevní jednotky (50 000 zrn) byla 2 500 Kč pro rok 2019 i rok 2020.

V roce 2019, jak bylo dříve uvedeno, bylo zaseto uniformní způsobem, tudíž byl výsevek 90 000 kusů na hektar. Náklady na osivo činily 4500 Kč/ha. Náklady na 1 tunu výnosu čerstvé hmoty byly 135,79 Kč a na 1 tunu výnosu suché hmoty byly 432,69 Kč viz tabulka 5.

Rok	Výsevek (ks/ha)	Výnos čerstvé hmoty (t/ha)	Výnos suché hmoty (t/ha)	Náklady na osivo (Kč)	Náklady na 1 t výnosu čerstvé hmoty (Kč)	Náklady na 1 t výnosu suché hmoty (Kč)
2019	90000	33,14	10,40	4500	135,79	432,69

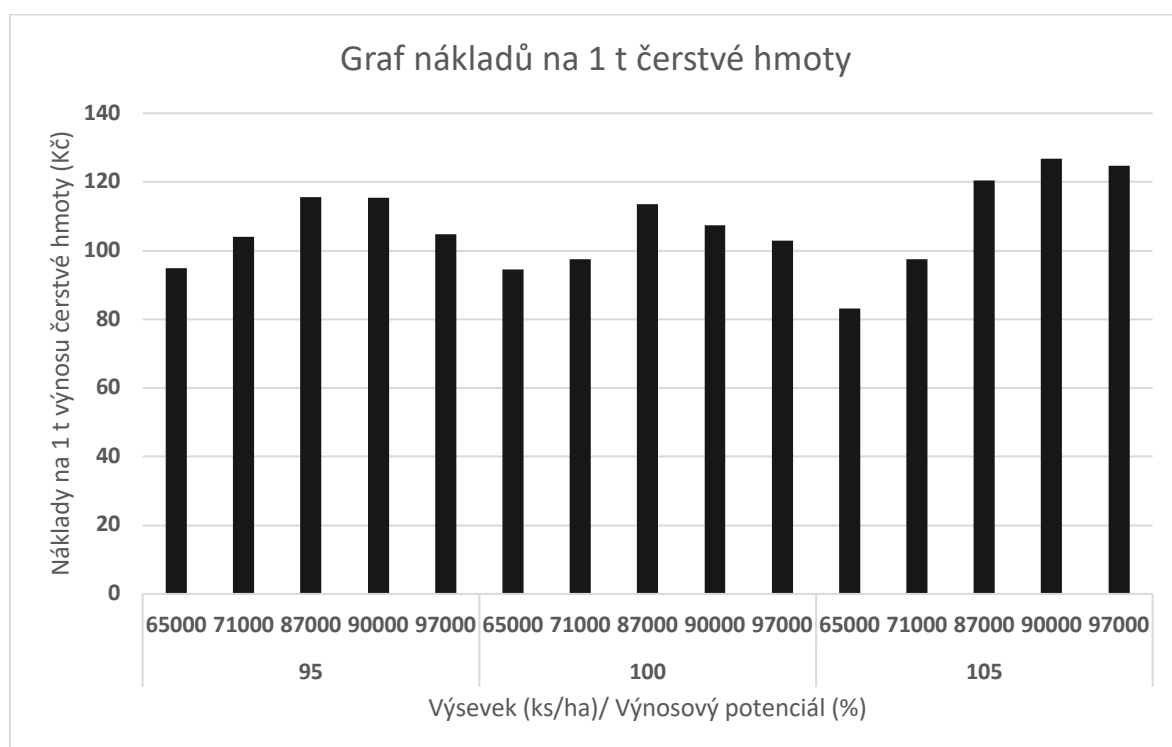
Tabulka 5 Ekonomický ukazatel nákladů na 1 tunu mokré a suché hmoty v roce 2019 (vlastní zpracování)

Pro rok 2020 byly vybrány 3 typy výnosových potenciálů v hladině 95, 100 a 105 %. Na nich byla vyseta kukuřice v různých velikostech výsevku v rozmezí 65 000 - 97 000 jedinců na hektar.

Rok	Výnosový potenciál (%)	Výsevek (ks/ha)	Výnos čerstvé hmoty (t/ha)	Výnos suché hmoty (t/ha)	Náklady na osivo (Kč)	Náklady na 1 t výnosu čerstvé hmoty (Kč)	Náklady na 1 t výnosu suché hmoty (Kč)
2020	95	65000	34,27	11,30	3250	94,82	287,65
2020	95	71000	34,11	10,93	3550	104,07	324,84
2020	95	87000	37,66	11,62	4350	115,51	374,44
2020	95	90000	38,97	11,62	4500	115,47	387,19
2020	95	97000	46,29	13,69	4850	104,78	354,34
2020	100	65000	34,36	11,93	3250	94,60	272,33
2020	100	71000	36,42	11,52	3550	97,47	308,07
2020	100	87000	38,30	11,90	4350	113,57	365,45
2020	100	90000	41,91	12,82	4500	107,38	350,95
2020	100	97000	47,12	14,30	4850	102,93	339,20
2020	105	65000	39,07	12,58	3250	83,19	258,30
2020	105	71000	36,42	11,28	3550	97,47	314,71
2020	105	87000	36,11	11,09	4350	120,47	392,35
2020	105	90000	35,47	11,37	4500	126,86	395,70
2020	105	97000	38,87	12,14	4850	124,77	399,39

Tabulka 6 Celkové ekonomické ukazatele u různých typů výnosového potenciálu a výsevků (vlastní zpracování)

V tabulce 6 je vidět, že z vybraných variant nejlépe vycházela varianta s výnosovým potenciálem 105 % a výsevkem 65 000 jedinců na hektar, u které činily náklady na 1 tunu čerstvé hmoty 83,19 Kč a náklady na 1 tunu suché hmoty 258,3 Kč. Pod hranicí 100 Kč se vešlo 5 variant. U vybraných variant byl nejvyšší výnos u varianty s výnosovým potenciálem 100 a výsevkem 97 000 jedinců na hektar. Na následujícím grafu na obrázku 39 je grafické znázornění nákladů na 1 tunu čerstvé hmoty. Rozdíl mezi nejlevnější a nejdražší variantou činil 43,67 Kč na tunu čerstvé hmoty na hektar.



Obrázek 39 Znárodnění nákladů na 1 tunu čerstvé hmoty (vlastní zpracování)

8 Závěr

Hlavním cílem teoretické části diplomové práce bylo vypracování literární rešerše na téma variabilního založení porostů s ohledem na variabilitu půdních podmínek na daném pozemku. V experimentální části diplomové práce byl sledován vliv velikosti výsevku a výnosového potenciálu na výnos a kvalitu kukuřičné siláže.

Experimentální práce byla rozdělena do více částí. Práce byla zahájena v roce 2019 inventurou daného pozemku, sledováním jeho důležitých parametrů a provedením rozboru výnosu. Pro sledování porostu byly pořízeny 3 snímky s NDVI indexem, který mapoval stav vegetace během července a srpna. Výnos čerstvé hmoty byl 33,14 t/ha při obsahu sušiny 31,32 %. Z důvodu vysoké variability pozemku a nedostatku dat o půdních částech jsme se rozhodli pro další zkoumání pozemku.

V druhé části se práce zabývá mapováním variability půdních podmínek pomocí měření měrné elektrické vodivosti půdy a gama-spektrometru. Z všech dostupných dat byla vytvořena mapa výnosového potenciálu. Následně bylo seto pomocí technologie umožňující změnu výsevku v návaznosti na výnosový potenciál. Následně byl sledován porost pomocí snímků s NDVI indexem. Výnos čerstvé hmoty byl 37,81 t/ha s obsahem sušiny 30,65 %, což je zvýšení oproti minulému roku o více než 4 t/ha.

Jak již bylo uvedeno v diskusi velký vliv na celkový výnos měl průběh počasí v roce 2019 a 2020. V roce 2019 bylo naměřeno pouze 94 % srážkového normálu a průměrná roční teplota v Pardubickém kraji byla o 1,7 °C vyšší než normál. Na druhé straně rok 2020 byl srážkově nadprůměrný a spadlo 128 % srážkového normálu. Průměrná roční teplota činila 9,2 °C a byla od normálu odchýlená o 1,3 °C.

Statisticky byl prokázán vliv výnosového potenciálu na výnos. V zónách s výnosovým potenciálem 85 % byl výnos mokré hmoty 29,85 t/ha. Zato v zóně s výnosovým potenciálem 110 % byl výnos v průměru 41,76 t/ha. Výnos lineárně rostl s výnosovým potenciálem v dané lokalitě.

Z výsledků vyplynulo, že největší výnos s ohledem na výnosový potenciál a výsevek byl naměřen v zóně potenciálu 100 % a výsevkem 97 000 rostlin na hektar. Také byl sledován vliv výsevku a výnosového potenciálu na NDF (neutrálně-detergentní vláknina) a ADF (acido-detergentní vláknina). Bohužel z výsledků nevyplýval žádný vliv výsevku na NDF a ADF.

Vliv měrné vodivosti půdy ukázal, že nejvyšší průměrný výnos (42,96 t/ha) byl naměřen v třídě v rozmezí 17,36 - 24,67 mS/m. Naopak nejnižší průměrný výnos (32,69 t/ha) byl změřen v rozmezí 47,86 - 58,5 mS/m.

Z ekonomické analýzy vyplývá, že nejmenší náklady (83 Kč) na jednu tunu čerstvé hmoty jsou u varianty s výnosovým potenciálem 105 % a výsevkem 65 000 rostlin na hektar. Z toho 5 variant se dostalo pod 100 Kč nákladů na osivo na 1 tunu čerstvé hmoty.

9 Seznam použitých zdrojů

ADAMCHUK, V.I., LUND, E.D., REED, T.M. et al. 2007. *Evaluation of an on-the-go technology for soil pH mapping*. Precision Agriculture **8**:139–149. Online: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-007-9034-0>

AG SKOŘENICE – AKCIOVÁ SPOLEČNOST. *AG Skořenice – akciová společnost* [online]. [cit. 12.05.2021]. Online: <https://agskorenice.cz>

AGROTEC a. s. 2019. *Sklizeň v podání DEMO mlátiček 2019 II.* [online]. AGROTEC a.s. [cit. 03.02.2021]. Dostupné z: <https://www.eagrotec.cz/novinky/new-holland/sklizen-v-podani-demo-mlaticek-2019-ii>

AMADO, T. J. C., PONTELLI, C. B., SANTI, A. L., VIANA, J. H. M., & SULZBACH, L. A. S. 2007. *Spatial and temporal grain crop yield variability under no-tillage system (Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto)*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, **42**:1101–111.

BADUA, S.A., SHARDA, A., STRASSER, R. et al. 2021. *Ground speed and planter downforce influence on corn seed spacing and depth*. Precision Agriculture. Online: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-020-09775-7>

BADUA, S. A., SHARDA, A., FLIPPO, D., & CIAMPITTI, I. 2018. *Real-time gauge wheel load variability of a row-crop planter during field operation*. Transactions of the ASABE, **61**(5):1517–1527. Online: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.13031/trans.12511>.

BRAGACHINI, M., MENDEZ, A., SCARAMUZZA, F., VELEZ, J. P., & VILARROEL, D. 2010. *Dosificación variable de insumos. In 9no Curso Internacional de Agricultura de Precisión*. Expo de Máquinas Precisas, Córdoba-Argentina.

BRANDELERO, E. M., ADAMI, P. F., MODOLO, A. J., BAESSO, M. M., & FABIAN, A. J. 2015. *Seeder performance under different speeds and its relation to soybean cultivars yield*. Journal of Agronomy, **14**(3):139–145.

BRANT, V., KROULÍK M., KRČEK V., et al. 2020. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent. ISBN 978-80-87111-81-9.

BULLOCK, D. G., BULLOCK, D. S., NAFZIGER, E. D., DOERGE, T. A., PASZKIEWICZ, S. R., CARTER, P. R., et al. 1998. *Does variable rate seeding of corn pay?* Agronomy Journal, **90**(6):830–836.

BUTZEN, S., GUNZENHAUSER, B., & SHANAHAN, J. 2012. *Putting variable-rate seeding to work on your farm*. Johnston: DuPont Pioneer.

COOK, S. E., CORNER, R. J., GROVES, P. R., & GREALISH, G. J. 1996. *Use of airborne gamma radiometric data for soil mapping*. Australian Journal of Soil Research, **34**:183–194.

COOK, P. G., & WALKER, G. R. 1992. *Depth profiles of electrical conductivity from linear combinations of electromagnetic induction measurements*. Soil Science Society America Journal, **56**:1015–1022.

CORWIN, D. L., & LESCH, S. M. 2005. *Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture*. Computers and Electronics in Agriculture, **46**:11–43.

COX WJ, CHERNEY JH. 2011. *Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate*. Agronomy Journal. **103**:123–128.

ČESKÁ SPOLEČNOST ROSTLINOLÉKAŘSKÁ, Z.S. 2021. *Zemědělství a nové postupy v rostlinné produkci* [online]. [cit. 03.02.2021]. Oline: <http://www.rostlinolekari.cz/sites/default/files/2017/11/Precizn%C3%AD%20zemědělstv%C3%AD%20%20nové%20postupy%20a%20technologie%20v%20rostlinné%20produkci.pdf>

DA SILVEIRA, J. C. M., FERNANDES, H. C., MODOLO, A. J., DE LIMA SILVA, S., & TROGELLO, E. 2011. *Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds*. Revista Ceres, **58**(3):293–298.

DAHNIKE, W. C., SWENSON, L. J., GOOS, R. J., & LAHOLM, A. G. 1988. *Choosing a crop yield goal*. SF-822. Fargo: North Dakota State Extension Service.

DINKINS, C. P., JONES, C. 2008. *Soil Sampling Strategies. Agriculture and Natural Resources (Fertilizers)*. [online] Dostupné z: <http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200803AG.pdf>

ELMORE, R., AL-KAISI, M., & HANNA, M. 2014. *Corn seeding depth: Back to the basics*. *Agronomy News*, **5**(1):1–3.

EVANS, L. T., & FISCHER, R. A. 1999. *Yield potential: Its definition, measurement, and significance*. *Crop Science*, **39**(6):1544–1551.

FANCELLI, A. L. 2000. *Crop physiology and basic aspects of management for high yield*. In: SANTINI I. & FANCELLI A. L. (Eds.), *Maize crop: management strategies for the south region* (pp. 103–106). Guarapuava, Brazil: Fundação Agrária de Pesquisa Agro-Pecuária.

FANNING, B. 2012. *Setting yield goals*. South Dakota State University Extension. [online]. [cit. 20. 1 .2021] Dostupné z: <http://igrow.org/agronomy/wheat/settings-yield-goals/>.

FISCHER, K. S., EDMEADES, G. O., JOHNSON, E. C. 1989. *Selection for the improvement of maize yield under moisture-deficits*. *Field Crops Research* **22**:227-243.

FRIDGEN, J. J., KITCHEN, N. R., SUDDUTH, K. A., DRUMMOND, S. T., WIEBOLD, W. J., FRAISSE, C. W. 2004. *Management zone analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation*. *Agronomy Journal*, **96**:100–108.

FUKSA P, HAKL J, ŠANTRŮČEK J. 2017. *Vliv hybridu a výsevku na výnos silážní kukuřice*. Agromanual.cz, České Budějovice. [online]. [cit. 23. 1 .2021] Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba/vlivhybridu-a-vysevku-na-vynos-silazni-kukurice> (accessed February 2019).

GRATTON, J., CHEN, Y., & TESSIER, S. 2003. *Design of a spring-loaded downforce system for a no-till seed opener*. *Canadian Biosystems Engineering*, **45**:29–35.

GUNZENHAUSER, B., & SHANAHAN, J. 2011. *Using multi-year yield analysis to create management zones for variable rate seeding*. Johnston: DuPont Pioneer.

HANNA, H. M. 2009. *Planter Set-up and Adjustments for Accurate Seeding of Corn and Soybean*. [online]. [cit. 20. 2 .2021] Dostupné z: Retrieved 24/11/2020 from www.agry.purdue.edu/CCA/2009/CCA%202009/Proceedings/Hanna%20CCA%20Proceedings%202009-2%20Final%20Version%2011-24.pdf.

HÖRBE, T. A. N., AMADO, T. J. C., FERREIRA, A. O. et al. 2013. *Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil*. *Precision Agriculture*, **14**:450–465. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-013-9308-7>

KARAYEL, D., & ŠARAUSKIS, E. 2011. *Effect of down force on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils*. *Agricultural Engineering*, **43**:16–24.

KNAPPENBERGER, T., KÖLLER, K. 2012. *Spatial assessment of the correlation of seeding depth with emergence and yield of corn*. *Precision Agriculture* **13**:163–180. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-011-9235-4>

LAMB, J. A., DOWDY, R. H., ANDERSON, J. L., & REHM, G. W. 1997. *Spatial and temporal stability of corn grain yields*. *Journal of Production Agriculture*, **10**(3):410–414.

LICHT, M. A., LENSSEN, A. W. & ELMORE, R. W. 2017. *Corn (Zea mays L.) seeding rate optimization in Iowa, USA*. *Precision Agriculture* **18**:452–469. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-016-9464-7>

LOWENBERG-DEBOER, J. 1999. *Economics of variable rate planting for corn*. In ROBERT P. C., RUST R. H., & LARSON W. E. (Eds.). Madison: ASA/CSSA/SSSA, *Precision agriculture*, p 1643–1651.

LUKAS, V., 2011. *Zemědělec, Mapování variability pozemků* [online]. [cit. 20. 1 .2021] Dostupné z: <http://zemedelec.cz/mapovani-variability-pozemku/>

LUKAS, V., et al. 2011. *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství*. Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-562-1.

LUKAS V., 2012. *Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. 1. vyd. Brno: Mendelova 72 univerzita v Brně. Metodika pro praxi (Mendelova univerzita v Brně). ISBN 978-80-7375-686-4.

MCMASTER, G. S., & WILHELM, W. W. 1997. *Growing degree-days: One equation, two interpretations*. *Agricultural and Forest Meteorology*, **87**(4):291–300.

MCNEILL, J. D. 1992. *Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters*. In TOPP G. C., REYNOLDS W. D., & R. E. GREEN (Eds.), *Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice*. Madison, WI: SSSA, SSSA Special Publication **30**:209–229.

MIKYSKA, F. 2011. *Kvalita objemných krmiv 2010*. *Náš chov* **3**:58-61.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. 2017. *Zpráva o stavu zemědělství ČR za rok 2016 „Zelená zpráva“* [online]. [cit. 20. 2 .2019] Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/569334/ZZ16_V3.pdf

NOZDROVICKÝ L., 2008. *Presné pôdohospodárstvo: Implementácia s podporou informačných technológií a techniky*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. ISBN 978-80-552-0123-8

OZMERZI, A., KARAYEL, D., & TOPAKEI, M., 2002. *Effect of sowing depth on precision seeder uniformity*. *Biosystems Engineering*, **82**(2):227–230. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1006/bioe.2002.0057>.

ČHMÚ. 2021. *PORTÁL ČHMÚ: Historická data: Počasí: Územní teploty*. Portál ČHMÚ: [online]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>

PORTER, J. R., & MOOT, D. J. 1998. *Research beyond the means: Climatic variability and plant growth*. In DALEZIOS N. R. (Ed.). *International symposium on applied agrometeorology*

and agroclimatology, Office for Official Publication of the European Commission, Luxembourg, p 13–25.

PRACILIO, G., ADAMS, M.L., SMETTEM, K.R.J. et al. 2006. *Determination of Spatial Distribution Patterns of Clay and Plant Available Potassium Contents in Surface Soils at the Farm Scale using High Resolution Gamma Ray Spectrometry*. *Plant Soil* **282**:67–82. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11104-005-5229-1>

RAPER, R. L., & KIRBY, J. M. 2006. *Soil compaction: How to do it, undo it or avoid doing it*. Agricultural Equipment Technology Conference Distinguished Lecture No. 30, St Joseph, MI, USA: ASAE.

RAUN, W. R., SOLIE, J. B., JOHNSON, G. V., STONE, M. L., LUKINA, E. V., THOMASON, W. E., et al. 2001. *In: season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance*. *Agronomy Journal*, **93**(1):131–138.

SANGOI L. 2001. *Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield*. *Ciencia Rural* **31**:159-168.

SÖDERSTRÖM, M., SOHLENIUS, G., RODHE, L. et al. 2016. *Adaptation of regional digital soil mapping for precision agriculture*. *Precision Agriculture* **17**:588–607. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-016-9439-8>

SUDDUTH, K. A., KITCHEN, N. R., WIEBOLD, W. J., BATCHELOR, W. D., BOLLERO, G. A., BULLOCK, D. G., et al. 2005. *Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA*. *Computers and Electronics in Agriculture*, **46**:263–283.

TERRÓN, J. M., MARQUES DA SILVA, J. R., MORAL, F. J. et al. 2011. *Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil*. *Precision Agriculture* **12**:750–761. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-011-9218-5>

VERIS. 2014. *Veris* [online]. Copyright © Copyright 2014 Veris Technologies, Inc. All Rights Reserved. [cit. 03.02.2021]. Dostupné z: <https://www.veristech.com/the-sensors/v3150>

VIRK, S. S., FULTON, J. P., PORTER, W. M. et al. 2020. *Row-crop planter performance to support variable-rate seeding of maize*. *Precision Agric* **21**:603–619. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-019-09685-3>

WILFORD, J., & MINTY, B. 2007. *The use of airborne gamma-ray imagery for mapping soils and understanding landscape processes*. In: P. LAGACHERIE, et al. (Eds), *Digital soil mapping—An introductory perspective*. *Developments in Soil Science*, Amsterdam: Elsevier, **31**:207–218.