

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Diplomová práce

Porovnání různých technologií pěstování kukuřice

František Hanikýř

© 2023/2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. František Hanikýř

Zemědělská technika

Název práce

Porovnání různých technologií pěstování kukuřice.

Název anglicky

Comparison of different technologies for corn growing

Cíle práce

Na základě studia dostupné literatury a provozních pokusů porovnat různé technologie pěstování kukuřice, a to především z hlediska zakládání porostů, jejich ošetřování a výsledného výnosu.

Metodika

Studium literatury zaměřené obecně na technologie pěstování kukuřice. Syntéza poznatků z literatury a zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých technologií. Založení provozního pokusu s nejméně dvěma rozdílnými metodami pěstování kukuřice. Sledování vývoje porostu, průběhu počasí a zásahů během jeho růstu. Zjištění výsledného výnosu. Porovnání výhod a nevýhod sledovaných technologií.

Práce by se měla držet následující osnovy:

1. Úvod
2. Literární rešerše zaměřená na metody pěstování kukuřice
3. Metodika hodnocení průběhu pěstování kukuřice
4. Naměřené výsledky a diskuse
5. Porovnání sledovaných technologií
6. Závěr

Doporučený rozsah práce

40 až 50 stran

Klíčová slova

kukuřice; zakládání porostů; strip-till

Doporučené zdroje informací

BRANT, Václav. *Efektivní hospodaření s vodou a eliminace degradace půdy v pěstebních systémech kukuřice seté*. Praha: Agrární komora České republiky, 2020. ISBN 978-80-88351-13-9.

BRANT, V. – BEČKA, D. – CIHLÁŘ, P. – FUKSA, P. – HAKL, J. – HOLEC, J. – CHYBA, J. – JURSIK, M. – KOBZOVÁ, D. – KRČEK, V. – KROULÍK, M. – KUSÁ, H. – NOVOTNÝ, I. – PIVEC, J. – PROKINOVÁ, E. – RŮŽEK, P. – SMUTNÝ, V. – ŠKEŘÍKOVÁ, M. – ZÁBRANSKÝ, P. *Pásové zpracování půdy (strip tillage) : klasické, intenzivní a modifikované*. Praha: Profi Press s.r.o., 2016, 135s. ISBN 978-80-86726-76-2.

Firemní literatura a webové stránky výrobců zemědělské techniky

HŮLA, J. – PROCHÁZKOVÁ, B.: *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press s.r.o., 2008, 248 s., ISBN 978-80-86726-28-1

KUMHÁLA, F. – HEŘMÁNEK, P., – MAŠEK, J. – KVÍZ, Z. – HONZÍK, I.: *Zemědělská technika-stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. Praha: ČZU Praha v nakladatelství powerprint s.r.o., 2007, 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 31. 1. 2023

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Porovnání různých technologií pěstování 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 použitých zdrojů 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 29.3.

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. Dr. Ing. Františku Kumhálovi a Ing. Janu Chybovy Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky, ochotu při konzultacích, a pomoc při vypracování Diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Lukášovi Královi a Ing. Jiřímu Vailichovi, (agronomovi) z podniku EKOPROGRES Třebovle s.r.o., za poskytnutí pokusných pozemků a vstřícný přístup k dotazům. Také velice děkuji svým blízkým a rodině za poskytnutí podpory.

Abstrakt

Tato práce se zabývá porovnáním způsobů pěstování kukuřice z ohledu výnosu, průběhu vegetace a vlivu technologií na půdní vlastnosti. Porovnávané metody jsou metoda plošného kypření, pásové zpracování půdy strip-till a setí do nezpracované půdy no-till. Měření probíhala v průběhu jednoho roku od zasetí plodiny do její sklizně. Pro zjištění půdních vlastností byly odebrány půdní vzorky na jaře a na podzim do Kopeckého válečků, které byly vyhodnoceny a porovnány mezi jednotlivými technologiemi začátkem a koncem vegetace. Dále bylo provedeno měření nasycené hydraulické vodivosti a penetrační odpor na jednotlivých pozemcích. Pro sledování průběhu vegetace bylo využito NDVI snímků a odebrané vzorky rostlin z průběhu vegetace. Pro vyhodnocení výnosu plodin byl využit průměrný výnos a výnosová mapa. V rámci hodnot jako je objemová hmotnost redukováná, momentální vlhkost a pórovitost, nedošlo ani u jedné z metod ke zhoršení a mezi hodnotami nejsou významné rozdíly. U hodnot maximální retenční vodní kapacity se podzimní hodnoty oproti jarním zhoršily, avšak mezi metodami v daném období nelze pozorovat významné rozdíly. Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti se u metody plošného kypření v průběhu roku zhoršily. U metody strip-till a no-till zůstaly neměnné. U metody plošného kypření je hodnota nasycené hydraulické vodivosti ve všech případech vyšší než u metod strip-till a no-till. Hodnoty penetračního odporu se v průběhu roku zlepšily ve prospěch metody strip-till a no-till. Metoda strip-till vykazovala v průběhu vegetace pomalejší růst, ale výnosově dosahovala vyšších hodnot, než metoda no-till. Nejvyššího průměrného výnosu dosáhla metoda s plošným kypřením.

Klíčová slova: zemědělství, pěstování, kukuřice, strip-till, no-till, kypření, zpracování půdy, fyzikální vlastnosti půdy, půdoochranné technologie

Abstrakt

This paper compares maize cultivation methods in terms of yield, vegetation progress and the effect of technology on soil properties. The methods compared are strip-till, strip-till and no-till seeding. The measurements were carried out over a period of one year from sowing the crop to harvest. To determine soil properties, soil samples were collected in spring and autumn in Kopecky rollers and evaluated and compared between the technologies early and late in the growing season. In addition, measurements of saturated hydraulic conductivity and penetration resistivity were made in each plot. NDVI imagery was used to monitor the progress of the vegetation and plant samples were collected during the growing season. Average yield and yield map were used to evaluate the crop yield. There was no deterioration in values such as bulk density reduced, instantaneous moisture content and porosity by either method and there were no significant differences between the values. For the maximum water holding capacity values, autumn values deteriorated compared to spring values, but no significant differences between the methods could be observed during the period. The saturated hydraulic conductivity values for the surface loosening method deteriorated over the year. They remained constant for the strip-till and no-till methods. In all cases, the saturated hydraulic conductivity is higher for the flat-till method than for the strip-till and no-till methods. Penetration resistance values have improved over the year in favour of the strip-till and no-till methods. The strip-till method showed slower growth during the growing season but yielded higher values than the no-till method. The highest average yield was achieved by the strip-till method.

Keywords: agriculture, cultivation, corn, strip-till, no-till, loosening, tillage, soil physical properties, soil conservation technologies

Obsah

1.	ÚVOD	1
2.	CÍL PRÁCE	2
3.	LITERÁRNÍ REŠERŠE	3
3.1.	PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE	3
3.2.	METODY ZPRACOVÁNÍ PŮDY PRO ZAKLÁDÁNÍ POROSTŮ.....	5
3.2.1.	<i>Minimalizace zpracování půdy</i>	6
3.2.1.1.	Plošné Kypření.....	7
3.2.1.2.	Strip-till.....	10
3.2.1.3.	<i>No-till</i>	14
3.2.2.	<i>Regenerativní zemědělství</i>	16
4.	METODIKA	19
4.1.	POKUSNÉ POZEMKY	19
4.1.1.	<i>Pozemek č.1</i>	20
4.1.2.	<i>Pozemek č.2</i>	20
4.1.2.1.	Strip-till	20
4.1.2.2.	No-till	21
4.2.	MĚŘENÍ PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ (INFILTRAČNÍ A FYZIKÁLNÍ)	21
4.2.1.	<i>Penetrační odpor půdy</i>	22
4.2.2.	<i>Nasyčená hydraulická vodivost</i>	23
4.2.3.	<i>Neporušené půdní vzorky</i>	25
4.2.3.1.	Momentální vlhkost.....	28
4.2.3.2.	Objemová hmotnost redukována.....	28
4.2.3.3.	Retenční vodní kapacita.....	28
4.2.3.4.	Pórovitost	29
4.2.3.5.	Specifická hmotnost půdy	29
4.3.	ROZVOJ KOŘENOVÉHO SYSTÉMU A PRŮBĚH VEGETACE	30
4.4.	VEGETAČNÍ INDEX (NDVI)	31
4.5.	4.5. VÝNOSOVÉ MAPY	32
5.	VÝSLEDKY	33
5.1.	PENETRAČNÍ ODPOR PŮDY	33
5.2.	NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST	35
5.3.	NEPORUŠENÉ PŮDNÍ VZORKY	38

5.3.1.	<i>Momentální vlhkost</i>	38
5.3.2.	<i>Objemová hmotnost redukována</i>	39
5.3.3.	<i>Retenční vodní kapacita</i>	40
5.3.4.	<i>Pórovitost</i>	41
5.3.5.	<i>Specifická hmotnost půdy</i>	42
5.4.	ROZVOJ KOŘENOVÉHO SYSTÉMU A PRŮBĚH VEGETACE	42
5.5.	VEGETAČNÍ INDEX (NDVI).....	44
5.6.	VÝNOSOVÉ MAPY A PRŮMĚRNÝ VÝNOS	46
6.	DISKUSE	49
6.1.	VLIV TECHNOLOGIÍ NA PŮDU	50
7.	ZÁVĚR	52
8.	CITOVANÁ LITERATURA	53
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
10.	SEZNAM TABULEK	57

1. Úvod

Dle Albrechta Daniela Thalerera Smysl slova zemědělství spočívá v obdělávání půdy tak, aby byla udržena v takovém stavu, který by dosáhl požadované sklizně a vedl k „vysněné dokonalosti“. Význam pojmu vysněná dokonalost se v průběhu let měnil. Tento pojem znamenal dosáhnouti co nejvyšších výnosů. Avšak v dnešní době se spíše tento pojem bere za udržení půdy, jako přírodního zdroje ve stejné kvalitě dalším generacím. Touto myšlenkou se zabývá takzvané regenerativní zemědělství, které se snaží o zachování půdy v její přirozené formě. Tento způsob zemědělství využívá technologií s co nejmenším zpracováním půdy a využívá znalostí přirozených půdních dějů. Metody pásového kypření strip-till a setí do nezpracované půdy no-till patří mezi základní pilíře této metody. Jedním z úskalí těchto metod je snížení výnosu při přechodu na tento způsob hospodaření.

V Evropě je zvláště důležité odstranit degradační procesy půdy, jako je eroze, zlepšení infiltrace vody do půdy a zmírnění jejího utužení. (Brant, et al., 2016).

V Evropě bylo po tisíciletí dominantním způsobem zpracování půdy orbou. Avšak od konce minulého století začaly v některých oblastech úspěšně hospodařit s půdou bez tohoto postupu. I přesto zůstala orba až do 90. let na prvním místě a otázka, zda orat či nikoliv, se spíše stala emocionálním tématem. V 90. letech, pod tlakem ekonomických faktorů v zemědělství, se začaly rozvíjet různé studie a výzkumy na toto téma zdůrazňující mnohé výhody zpracování půdy bez pluhu a lepší využitelnost technologií předsetěvé přípravy a setí. Dnes stále roste podíl orné půdy, která je obhospodařována bez orby a cílem je nalézt optimální systém a intenzitu zpracování půdy, který by byl schopen nahradit orbu, aniž by došlo ke snížení výnosů (Kumhála, et al., 2007).

Technologie strip-till a no-till jsou v Evropě oproti zaběhlým technologiím používány krátkou dobu. Mnoho zemědělců je skeptických k těmto novým technologiím z důvodu nedostatku zkušeností, zvyklostem a strachu z neznáma. Zatím se tyto technologie spíše zkoušejí a je zapotřebí jejich adaptace pro podmínky našeho podnebí. Je otázkou, zda se tyto metody v budoucnosti svým využíváním vyrovnají stávajícím zaběhlým metodám, jako se metoda plošného kypření vyrovnala orbě.

2. Cíl práce

Na základě studia dostupné literatury a provozních pokusů porovnat různé technologie pěstování kukuřice, a to především z hlediska zakládání porostů, jejich ošetřování a výsledného výnosu.

Studium literatury zaměřené obecně na technologie pěstování kukuřice. Syntéza poznatků z literatury a zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých technologií. Založení provozního pokusu s nejméně dvěma rozdílnými metodami pěstování kukuřice. Sledování vývoje porostu, průběhu počasí a zásahů během jeho růstu. Zjištění výsledného výnosu. Porovnání výhod a nevýhod sledovaných technologií.

3. Literární rešerše

3.1. Pěstování kukuřice

V počáteční fázi vegetace kukuřice je charakteristický velmi malý růst a nízký odběr živin. Největších odběrů živin kukuřice dosahuje před mléčnou zralostí, kdy přijme během jednoho dne přibližně stejné množství dusíku jako za celou dobu v počátku vegetace. Před objevením laty kukuřice přijme přibližně 75 % procent všech živin. V těchto obdobích má kukuřice kromě vysokého nároku na dusík také vysoký nárok na draslík. Při tvorbě kořenového systému rostlina spotřebuje také velké množství fosforu, proto je doporučováno pro startovací hnojení uložení fosforečného hnojiva například při setí pod patu. Je vhodné, aby rostliny do fáze kvetení přijaly dostatečné množství fosforu pro tvorbu palic. V řadě států EU je také mimo těchto hnojiv doporučováno hnojení sírou, která podporuje tvorbu aminokyselin (Richter, 2005).

Kořeny kukuřice mohou dosahovat v závislosti na podmínkách do 1,5 až 3 m hloubky půdy. Tím mohou čerpat vláhu i z větších hloubek. V první fázi se kořeny rozrůstají do stran a až poté do hloubky. Listy kukuřice směřují šikmo vzhůru se žlábkovitým tvarem. To jí umožňuje využití nepatrných srážek i rosy a odvést je ke kořenovému systému. Největší požadavek rostliny na vodu je od metání do období mléčné zralosti, kdy kukuřice potřebuje 80120 mm srážek měsíčně (Zimolka, 2008).

Kukuřice nemá nijak specifické nároky na půdu. Obecně jí více svědčí středně těžké až těžké půdy s pH od 5,6 do 7. Na půdách hlavně s menším obsahem humusu mají organická hnojiva dobrý vliv pro pěstování kukuřice. V sušších měsících je účinnost těchto hnojiv nižší (Richter, 2005).

Pomalý počáteční vývin kukuřice umožňuje při oteplení snadné vzcházení pozdních jarních plevelů, kdy kukuřice ještě není plně zapojená do porostu a její konkurenční schopnost je omezená. Tomu přispívá i širokořádkové pěstování této plodiny. Tento problém je možné řešit plečkováním nebo herbicidy. Pěstování kukuřice více let po sobě při používání herbicidů s dlouhým reziduálním působením je problémové z důvodu tvorby rezistentních plevelů (Bouma, 2022).

Pro osevní postup je u kukuřice výhodné zařadit rostliny s větší mírou zanechání posklizňových zbytků a biomasy. Mezi nejvhodnější předplodiny se dají řadit luskoviny a jeteloviny. Ty zanechávají dostatek posklizňových zbytků a obohacují půdu o dusík. Kukuřice by ovšem neměla být pěstována po sobě děle než 5 let kvůli možnému vzniku problému se zaplevelením a škůdci. Ideální pěstování kukuřice po kukuřici je ve dvou až tříletém sledu (Zimolka, 2008).

Možností pěstování kukuřice je také zakládání porostu do vymrzajících či přezimujících meziplodin. To je výhodné zejména na erozně ohrožených pozemcích. To ale může v některých letech způsobit oddálení termínu výsevu, nebo zpomalit proces vzcházení z důvodu pomalejšího prohřívání půdy, větší vlhkosti a vyšší objemové hmotnosti půdy. Obzvláště v oblastech s chladnějším klimatem a těžšími půdami, kde kypření napomáhá rychlejšímu prohřívání půdy. Dále může být problém s likvidací plevelů, které jsou zakryty vrstvou biomasy. Lepšímu prohřátí půdy napomáhá jarní kypření (Křen, et al., 2015).

Využitím vhodných meziplodin a nižší intenzity zpracování půdy lze v půdě zvýšit zastoupení arbuskulárně mykorhizních hub, které nejen kukuřice využívá k účinnějšímu vstřebávání minerálních živin jako například fosforu, kterého je v půdě málo a pro rostliny je těžce dostupný. Zlepšuje odolnost rostlin vůči řadě stresů, zejména suchu, zasolení půdy, nebo patogenům. Výskyt těchto hub je v rozporu s intenzivním zpracováním půdy. Mykorhiza podporuje růst rostlin hlavně při nedostatku fosforu. Avšak kukuřice mykorhizu využívá i při dostatku této látky a prokazatelně dokáže zlepšit její růst. Při dostatku fosforu a nedostatku dusíku mykorhiza rostliny nepodporuje (Janoušková, 2017).

3.2. Metody zpracování půdy pro zakládání porostů

Efektivní ovládní procesu zakládání porostů hraje klíčovou roli při určování budoucího stavu a výnosu porostu. Je nezbytné věnovat zvláštní pozornost výběru vhodné techniky a technologie pro tento účel. S rostoucím využíváním moderních technologií pro zpracování půdy se zvýšily nároky nejen na kvalitu práce strojů určených pro zakládání porostů, ale také na odbornost pracovníků. Cílem předseťové přípravy půdy je také vytvořit optimální prostředí pro růst a klíčení semen. Při této přípravě se klade důraz na správné uspořádání osivového lůžka, kde utužená vrstva slouží k udržení vlhkosti a zajištění potřebného kontaktu s vodou pro osivo. Kypřejší vrstva nad osivem pak pomáhá udržet optimální vzdušný prostor kolem semen, což podporuje jejich klíčení a první fáze růstu. Důležitým aspektem je i prevence před následným zhutněním půdy po výsadbě. To by mohlo negativně ovlivnit mladé kořeny rostlin, a proto je pečlivá úprava povrchu klíčová pro úspěšný rozvoj porostu. Celkově předseťová příprava přispívá k optimálním podmínkám pro úspěšný nástup a vývoj plodin v průběhu vegetačního období (Novák a Mašek, 2017).

3.2.1. Minimalizace zpracování půdy

Minimalizační zpracování půdy představuje alternativní přístup k obdělávání půdy bezorebně, kde se tradiční orba nahrazuje mělkým kypřením a možností ponechat rostlinné zbytky na povrchu půdy. Také je možné zpracování půdy zcela vytěsnit a využít technologii přímého setí do nezpracované půdy. V některých případech může dojít k jednorázovému hloubkovému prokypření bez obracení půdy. Tyto postupy jsou považovány za půdoochranné, zejména s ohledem na prevenci vodní nebo větrné eroze. Důraz je kladen na správnou manipulaci s posklizňovými zbytky a využívání meziplodin. Například při zakládání porostu kukuřice po obilnině může předplodina hrát významnou ochrannou roli proti nežádoucím vlivům jako je větrná nebo vodní eroze. Prokypřením vrchní vrstvy ornice přerušíme přirozené kapilární cesty, což vede k lepší schopnosti půdy přijímat vodu. Udržení vrstvy mulče na povrchu půdy a snížení intenzity zpracování půdy může přispět k hospodárnějšímu využívání vody a zároveň zabránit vyplavování dusíku v pohyblivých formách, což pozitivně ovlivňuje obsah organické hmoty v půdě (Hůla a Procházková, 2008).

Podle Hůla a Procházková, 2008, jsou minimalizační postupy významné především pro zemědělce z ekonomického hlediska. Tyto metody přinášejí úspory práce a energie díky menšímu počtu operací a větší efektivitě strojů. S rostoucí dostupností různorodých strojů pro minimalizační zpracování půdy lze efektivně přizpůsobit techniku konkrétním podmínkám, což umožňuje rychle a kvalitně zakládat porosty.

3.2.1.1. Plošné Kypření

Kypření je komplexní fyzikální jev, který se mění v prostoru i v čase a je ovlivněno půdní strukturou. Funkce pórovité struktury, zejména proudění vzduchu v ornici, je ovlivněno deformací půdy. Proudění vzduchu je ovlivňováno člověkem v rámci přejezdů zemědělské techniky a použitými systémy pěstování plodin. Pórovitá struktura půdy ovlivňuje provzdušňování, zatímco schopnost půdy provádět výměnu plynů mezi atmosférou a kořenovým systémem napřímo ovlivňuje růst rostlin a výnos plodin. Schopnost půdy propouštět vzduch je klíčovým ukazatelem pro hodnocení vlivu různých zemědělských praktik. Propustnost vzduchu představuje schopnost uskutečňovat tok plynu v reakci na tlakové rozdíly, přičemž její charakter závisí na velikosti a spojení pórů. Vliv půdní vlhkosti na propustnost vzduchu je významný, neboť voda reguluje množství pórů obsazených vzduchem, což je přímo spojeno s počtem a průměrem pórů odpovědných za proudění vzduchu a blokování vzdušného prostoru. Velikost půdních částic ovlivňuje vzdušný prostor, především kvůli rozdílům v retenci vody, distribuci a kontinuitě pórů, což má vliv na proudění vzduchu v půdě. Předpokládá se, že dlouhodobé používání půdoochranných metod, jako je například bezorebný systém, povede k vytvoření stabilního a funkčního systému pórů, což by mohlo pozitivně ovlivnit pohyby v půdě. Nicméně studie ukázaly, že bezorebné zpracování půdy může vést ke snížení propustnosti půdy pro vzduch. Toto snížení je přičítáno zejména poklesu objemu pórů obsazených vzduchem, účinného průměru pórů a kontinuity půdních pórů, spolu se zvýšením jejich tortuozity – zakřivení, (Mentges, et al., 2016).

Do 80. let minulého století byla základní operací pro zpracování půdy orba. Ta řeší zapravení posklizňových zbytků do půdy, intenzivně půdu provzdušňuje, kypří zhutnělou část půdy od přejezdů mechanizace po ornici, mobilizuje živiny v organických vazbách a redukuje růst plevelů. Orba je prospěšná pouze za daných půdních podmínek, jako je například správná vlhkost půdy. Půdu kypří, drobí a obracením půdy zapravuje posklizňové zbytky, vrchní části plevelů, nebo předplodiny do spodní třetiny zpracovávané ornice. Tyto jevy odlišují orbu od zpracování půdy pomocí kypřičů. Obracením půdy zbavujeme povrch ornice rostlinných reziduí, které jí svým pokryvem chrání před vlivem dešťových kapek a zvyšuje tak rychlost infiltrace vody do půdy. Proto se orba neřadí mezi Půdoochranné technologie (Kovaříček , et al., 2017).

Metoda minimalizace s využitím kypření představuje inovativní přístup k obdělávání půdy, kde se tradiční orba nahrazuje jemným kypřením do určené hloubky bez potřeby obracení půdy. V situacích, kdy je to nezbytné, lze půdu jednorázově hloubkově prokypřit. Kypřiče jsou vybaveny různými druhy kypřících nástrojů, které regulují, do jaké míry mají být rostlinné zbytky začleněny do půdy a kolik z nich má zůstat na povrchu půdy (Křen, et al., 2015).

Cílem jednotlivých pracovních kroků během procesu kypření podorničních vrstev půdního profilu je především odstranění nadměrného zhutnění půdy, které vzniká v průběhu přirozeného sléhávání půd a zemědělského využívání. Tímto pracovním postupem se zlepšují půdní vlastnosti, jako je zvýšená propustnost vody, lepší provzdušnění spodních půdních vrstev a podpora mikrobiální aktivity. Hlavním záměrem je vytvoření optimálních podmínek pro rozvoj kulturních rostlin. Rozrušením utužených půdních vrstev během procesu kypření dochází k vytváření nových pórů a dutin ve struktuře půdy. Tento jev zvyšuje celkovou pórovitost půdy, což má několik pozitivních dopadů na půdní prostředí. Prvním přínosem je lepší vsakování vody, protože nově vytvořené póry umožňují snadnější průchod vody do hlubších vrstev půdy. Dále tento proces usnadňuje prorůstání kořene rostliny do hlubších vrstev půdy. Kořeny rostliny tak mohou dosahovat na místa, která by jinak byla obtížně dostupná, což znamená, že mají jednodušší přístup k vodě a živinám. To přispívá k celkovému zlepšení půdní struktury

a životních podmínek pro rostliny. Rostlina pak lépe prosperuje díky efektivnějšímu využívání dostupných zdrojů. Proces kypření vrchní struktury půdy má významný vliv na její teplotu. Při kypření dochází ke zvýšení prostoru mezi půdními částicemi, což umožňuje lepší cirkulaci vzduchu a zlepšuje přenos tepla. Tímto způsobem kypření přispívá k efektivnějšímu prohřívání vrchní vrstvy půdy. Zlepšená propustnost vzduchu a odvod tepla mohou napomoci rychlejšímu ohřevu půdy ze slunečního záření a přispět k optimálním podmínkám pro růst rostlin. Nesmíme zapomenout, že zhutnění půdy se vyskytuje i v systémech kypření, bez ohledu na hloubku zpracování. Různé způsoby zpracování půdy vedou k vytváření zhutněných vrstev v různých hloubkách orničního profilu. Termín "podorniční podlaha," která vzniká na rozhraní zpracovávané vrstvy ornice, by měl být chápán jako "přechodová podlaha," která se vytváří mezi částmi půdy zpracovanými odlišným způsobem a půdou, která zůstává nezpracovaná (Brant, 2021).



Obrázek 1: Souprava traktoru CASE IH Quadtrac s kypřičem Horsch Terrano FM (Zdroj: Horsch.com)

3.2.1.2. Strip-till

Strip-till (pásové zpracování půdy) je metoda zpracování půdy, kde je půda obdělávána v pruzích ve směru řádků následně vysévané plodiny. Řádky mají variabilní rozstup mezi 0,4 m až 0,9 m. Při použití rozteče 0,7 m a více by neměl podíl zpracované plochy přesáhnout jednu čtvrtinu celkové výměry pozemku. Podíl obdělané půdy je závislý na rozteči a šířce samotného zpracovaného řádku, který může mít šířku v rozmezí od 0,15 m do 0,4 m. Tato šířka je v souladu s orničním profilem, stavem půdy, pokrytím povrchu rostlinnými zbytky, množstvím a velikostí těchto zbytků. Principem této metody je zachovat strukturu půdy nedotčenou mimo kypřené pásy s posklizňovými zbytky tak, aby posklizňové zbytky zakrývali nezpracovanou část půdy a zabraňovali tak nechtěnému přehřívání a odparu vody z půdy. Zároveň zachovalý kořenový systém drží vrchní vrstvu půdy pohromadě, aby zabránil nechtěné vodní erozi a smyvu úrodné části půdy z pozemku. Naopak prokypřené pásy napomáhají lepšímu vsakování vody do půdy a vytvoření pórovité struktury zajišťuje lepší prostup vzduchu a tím i její prohřívání, které umožní hlavně v jarních měsících dřívější termín pro setí. Pro kořenový systém to znamená rychlejší kořenění do vyšších hloubek urychlení. Metoda strip till je určena k zintenzivnění zemědělské produkce oproti metodě setí do nezpracované půdy. Tato metoda zažila vzestup s příchodem přesných navigačních systémů, signálu RTK (real time kinematics), díky kterému se začalo využívat přesného navádění do řádků s přesností do 5 cm. Přípravu půdy je možné provádět buď v jarních nebo v podzimních termínech. Na těžších půdách bude prospěšnější podzimní kypření, jelikož je pravděpodobnější vytahování hrud a velkých utužených částí půdy ze země. V zimních měsících by se tyto utužené částice měly vlivem mrazu rozpadnout a v případě nedostatečného rozpadu struktury půdy je možné provést kypření i v jarních měsících těsně před termínem setí. Na lehkých půdách je vhodnější kypření v jarních termínech, protože tvorba utužených půdních celků a vytahování hrud z půdy je v těchto podmínkách méně pravděpodobná. Další výhodou je ponechání pokryvu půdy ať už posklizňovými zbytky, nebo meziplodinou a zamezení tak nechtěnému odparu vody z půdy. Meziplodiny je možné využít i k tvorbě struktury půdy, kdy bude poté kypření snazší. Dále je možné zároveň s kypřením ukládat hnojiva přímo ke kořenovému systému. Vhodné je uložení fosforečných hnojiv do větší hloubky než osivo, aby měl kořenový systém snahu růst za

tímto hnojivem do větší hloubky. Díky tomuto způsobu ukládání hnojiv je možné cíleně zmenšovat spotřebu hnojiva na jednotku plochy. Tím, že je hnojivo uloženo přímo do prokypřeného pásu a je přímo u kořenového systému rostliny, rostlina jej dokáže lépe využít a není zbytečně hnojena část půdy tam, kam kořeny například zasahují pouze minimálně. Hnojivo uložené do půdy se méně odpařuje do vzduchu. Díky těmto faktorům lze od této technologie očekávat snížení vstupů oproti konvenčnímu zpracování půdy, nebo oproti plošnému kypření (Brant, et al., 2016).



*Obrázek 2: Souprava traktoru Case IH Puma a Kverneland kultistrip
při pásovém kypření do mezířadí předplodiny (foto autor)*

Licht a Al-Kaisi, 2005 ve svém výzkumu uvádějí, že u metody Strip-till se teplota půdy v prokypřeném pásu oproti metodě setí do nezpracované půdy zvedla přibližně o 1,2-1,4 °C a byla blízká teplotě jako u metody plošného kypření. Tento jev vedl ke zvýšení indexu rychlosti vzejití rostlin oproti metodě setí do nezpracované půdy. Stav půdní vlhkosti neukazoval rozdíl mezi těmito třemi metodami zpracování půdy. Avšak metoda Strip-till vykazovala mírně vyšší vlhkost než metoda plošného kypření. Obsah vlhkosti v půdním profilu, zejména v nižších hloubkách, byl při všech způsobech zpracování půdy vyšší než obsah vody přístupný rostlinám. Změny v zásobě půdní vlhkosti však byly mnohem větší u pásového zpracování půdy a plošného kypření, než u bezorebného zpracování půdy, od doby po sklizni do doby před sklizní v hloubkách 0-30 a 0-120 cm. Bylo také zjištěno, že k největším změnám v zásobě půdní vlhkosti došlo mezi obdobími po vzcházení a odnožování. Penetrační odpor byl podobný jak u pásového zpracování půdy, tak u plošného kypření, ale větší než u systému orby. Obecně zjištění ukazují, že metoda strip-till může účinně přispět ke zlepšení vzcházení rostlin, podobně jako plošné kypření a účinně šetřit půdní vlhkost ve srovnání s bezorebným zpracováním půdy.

Dle Jaskulska, et al., 2020 dlouhodobé pěstování rostlin pomocí metody Strip-till zlepšuje půdní strukturu. Hmotnost žížal se v půdním profilu zvedla až 5x, smyv půdy z pozemku se zmenšil přibližně 6x oproti orbě. Zásoba vody v půdě se při pěstování kukuřice zvedla až o 97 m³·ha⁻¹ a vzrostl také počet bakterií a hub v půdě.

Použité radličky mají velký vliv na zpracování půdy, jelikož se zpracovává jen malá část pozemku v řádcích a meziřadí je nepřetržitě pokryto rostlinnými zbytky. Typ radličky je hlavním faktorem pro dosažení požadovaného objemu narušení půdy v úzké zóně při zachování plochy nenarušené půdy s rostlinnými zbytky na povrchu. Například křídlové radličky způsobily větší narušení půdy v dané hloubce ve srovnání s nožovými radličkami. Zvyšování pojezdové rychlosti naopak velký vliv k navyšování objemu zpracované půdy nemá (Morris, et al., 2007).

Metoda zpracování půdy strip-till, která spočívá v obdělávání úzkého pásu v řádku, má potenciální výhody v tom, že poskytuje vhodné set'ové lůžko pro produkci kukuřice s minimálními energetickými náklady a zároveň ponechává povrchové zbytky v meziřádku, které snižují erozi půdy. Byla provedena studie, při níž byly tři rotační kypřiče a bývalý meziřádkový kypřič upraveny tak, aby kultivovaly pás o šířce 25 cm v řádkové oblasti. Tyto stroje pro metodu strip-till byly porovnávány s podzimní orbou, podzimním zpracováním půdy pomocí dlátového kypřiče a systémem no-till setí do nezpracované půdy po dobu 3 let nepřetržité produkce kukuřice na písčitohlinitých, hlinitopísčítých a jílovitohlinitých půdách v jižním Ontariu. Metoda strip-till zanechávala výrazně větší množství povrchových zbytků než dlátový kypřič nebo orba. Poskytovala tak potenciální výhody pro ochranu půdy. V systému orby s pluhem byl podíl jemných agregátů v osevním lůžku vyšší než při pásovém zpracování půdy strip-till a obecně bylo pozorováno více jemných agregátů, než při bezorebném zpracování půdy. Růst rostlin u metody strip-till měl tendenci být na všech třech půdách opožděný ve srovnání s orbou. Průměrné výnosy při pásovém zpracování půdy byly o 10,3 % nižší než při zpracování orbou a o 12 % nižší než při zpracování na hlinitopísčítých půdách. Na jílovitohlinitých půdách nebyl mezi pásovým zpracováním půdy strip-till a bezorebným nebo orebním systémem pozorován významný rozdíl. Na písčitohlinité půdě byly průměrné výnosy při zpracování půdy pomocí technologie strip-till v jednom roce ze 3 významně nižší oproti orbě, ve všech třech letech stejné jako u systému ošetřeným radličkovým kypřičem a ve dvou letech ze 3 vyšší než při bezorebném zpracování půdy no-till. Mezi ošetřeními při pásovém zpracování půdy často dlátové kypřiče vykazovaly jemnější set'ové lůžko, lepší růst rostlin a vyšší výnosy než pásový kypřič (Vyn a Raimbault, 1992).

3.2.1.3. No-till

Hlavním cílem zemědělství je omezit negativní procesy v půdě a realizovat opatření k odstranění a prevenci degradace půdy. K dosažení nákladově efektivní a ekologicky udržitelné zemědělské výroby je nezbytné biologizovat zemědělský proces, což zahrnuje optimalizaci struktury půdní mikroflóry, obnovu přirozené mikrobiologické aktivity půdy a snížení chemické zátěže. Biologizace zemědělství spočívá v kompetentním využití přírodních principů a vědeckých poznatků zaměřených na zlepšení půdy, snížení nákladů a zvýšení kvality zemědělských produktů. Minimální zpracování půdy je klíčový prvek biologizace systému obdělávání. Minimalizace spočívá ve správném střídání různých způsobů a typů zpracování, snižování počtu a hloubky zpracování, nahrazování hlubokého zpracování mělkým. Nahrazování mechanického zpracování mezi řadami řádkových plodin a úhorů pesticidním zpracováním, spojování řady technologických operací a postupů do jednoho procesu pomocí agregátů a kombinovaných nástrojů. Jedním z konkrétních příkladů minimálního zpracování půdy je systém No-Till, kdy se přímý výsev provádí do neošetřené půdy, přičemž je zachováno strniště nebo drcené rostlinné zbytky v podobě mulče na povrchu půdy. Stále více zemědělských producentů se obrací k samo ozdravnému zemědělství, které šetří zdroje. Biologizace zemědělství spočívá ve zvýšení účinnosti vstřebávání základních hnojiv díky ošetření listů růstově stimulujícími léčivy různé povahy (mikrobiologickými, růstově regulačními, na bázi makro a mikro prvků atd.) (Sorokina, et al., 2020).

Dle Surajit, et al., 2019, potravinové zabezpečení zahrnuje udržitelné využívání půdy a půdních zdrojů. Bezorebné zpracování půdy je zastáncem lepšího využití přírodních zdrojů, zlepšení fyzikálního stavu půdy a potenciálního pohlcování atmosférického uhlíku. Dopad se však liší v různých klimatických podmínkách, v průběhu historie této technologie, v systémech pěstování plodin a v hloubce půdy. Byla provedena metaanalýza založená na 4 131 párových datech z 522 studií rozprostřených po celém světě, která hodnotila vliv nulového zpracování půdy ve srovnání s konvenčním zpracováním půdy na fyzikální stav půdy (objemovou hmotnost, průměrnou hmotnostní hmotnost agregátů, obsah vody v polní kapacitě a míru infiltrace v ustáleném stavu), obsah organického uhlíku v půdě a reakci kořenů (hustoty a délky kořenů). Nulové

zpracování půdy významně zlepšilo průměrnou hmotnost agregátů a obsah vody v polní kapacitě v povrchové a podpovrchové vrstvě o 19 – 58 %, a nezpůsobilo žádnou změnu objemové hmotnosti v žádné z vrstev. Infiltrace se zvýšila o 66 %. Povrchové vrstvy 0 až 5 a 5 až 10 cm měly výrazně vyšší obsah organického uhlíku při nulovém zpracování, zatímco v ostatních vrstvách se obsah uhlíku buď snížil, nebo se nezměnil, což vedlo k malému a nevýznamnému kolísání jeho zásoby o ~1,1 % ve prospěch nulového zpracování. Délková hustota kořenů se při metodě přímého setí zlepšila o ~35 % pouze v hloubce 0 až 5 cm. Vliv klimatu, půdního typu nebo systému pěstování nebylo možné obecně rozpoznat, ale vliv přímého setí se v průběhu času jistě zvýšil. Zlepšení agregace a hydraulických vlastností půdy je při zavádění přímého setí velmi přesvědčivé, a proto tento postup vede k lepšímu a udržitelnému využívání půdních zdrojů.



Obrázek 3: Operace přímého setí No-till secím strojem Sly Agrisem a traktor JCB Fastrac (foto autor)

3.2.2. Regenerativní zemědělství

Regenerativní zemědělství je alternativní způsob produkce potravin, který podle jeho zastánců může mít nižší, nebo dokonce čistě pozitivní dopady na životní prostředí anebo společnost. Regenerativnímu zemědělství se v poslední době věnuje značná pozornost ze strany výrobců, maloobchodníků, výzkumníků a spotřebitelů, stejně jako politiků a hlavních médií. Navzdory širokému zájmu o regenerativní zemědělství, neexistuje žádná právní nebo regulační definice pojmu "regenerativní zemědělství" a ani se v běžném užívání neobjevila žádná obecně přijímaná definice (Newton, et al., 2020).

Hledání způsobů, jak hospodařit na zemědělské půdě, je tu od samotného počátku zemědělství. Každý zemědělec má zájem o to, aby jeho půda byla co nejvíce úrodná. Až 20. století přineslo naprosto převratné objevy v podobě výroby průmyslových hnojiv, nebo moderní technologie ve šlechtitelství. Začaly se však objevovat rostoucí problémy se ztrátou živin, erozí, či nedostatkem vody. Tyto problémy museli zemědělci řešit odjakživa, avšak jejich nárůst začal být dramatický. Obdobné problémy se nachází v působení škůdců v monokulturách a se zhutněním půdy. Klimatické změny vedly ke sledování cyklů biogenních prvků a dostupnosti a využití některých živin, například fosforu. Ty nejzásadnější věci se sledují až v posledních desetiletích. Jako například ztráta organického uhlíku v půdě, ztráta životodárné struktury půdy a její celková degradace. Některé intenzivně obhospodařované půdy mnohdy ztratily alarmujících 50 % organického uhlíku. I když jako lidstvo toho mnoho umíme, tak vyrobíme kvalitní půdní strukturu bez půdních organismů nedokážeme. I když se snažíme nahrazovat chybějící schopnosti půdy, jako schopnost zadržet vodu zavlažováním, ztrátu živin stále precizněji dodávanými minerálními hnojivy, utužení speciálními typy hloubkového kypření, tak tato řešení mají společné to, že je zapotřebí jejich stálého opakování a stojí mnoho úsilí, které je energeticky náročné. Jejich absence znamená návrat problému. Z toho důvodu je vhodné hledat jiné postupy, které v rámci možností nebudou nahrazovat chybějící vlastnosti půdy, ale navrátí je. Půdní vlastnosti tak obnoví neboli ZREGENERUJÍ. To je cílem regenerativního zemědělství, které by tak mělo přinést fungování celé sady původních přírodních procesů, které ztracené vlastnosti půdy dokážou znovu vytvořit a dlouhodobě je v podstatě automaticky udržovat. Postupy regenerativního zemědělství

nezávisí na precizním, nebo ekologickém zemědělství. Každý z těchto postupů může být relevantní jak ve „standartním“, tak i regenerativním postupu. Jakýkoliv postup může být cestou, jak zabezpečit regenerativní procesy v půdě. Ač se tyto postupy již řadu let využívají, teprve nedávno se začaly skládat do určitého strategického postupu. Propojení technologií jako například strip-till a no-till, chytrý osevní postup, využívání meziplodin, podpory a využití půdních organismů, kompostování, či agrolesnictví se skládají do propojeného a dobře se doplňujícího systému regenerativního zemědělství (Strickler, 2024).

Jednou z hlavních výzev naší doby je uživit rostoucí a náročnější světovou populaci s menšími vnějšími vstupy a minimálními dopady na životní prostředí, a to vše za proměnlivějších a extrémnějších klimatických podmínek v budoucnosti. Konzervační zemědělství představuje soubor tří zásad hospodaření s plodinami, který získal silnou mezinárodní podporu, aby pomohl tuto výzvu řešit. O konzervačním zemědělství se však vedou rozsáhlé diskuse, a to jak s ohledem na jeho vliv na výnosy plodin, tak na jeho použitelnost v různých zemědělských podmínkách. Na toto téma byla provedena globální metaanalýza s využitím 5 463 párových pozorování výnosů ze 610 studií, aby bylo možné porovnat bezorebné obdělávání půdy, původní a ústřední koncept konzervačního zemědělství, s konvenčními postupy obdělávání půdy ve 48 plodinách a 63 zemích. Celkově výsledky ukazují, že bezorebné obdělávání půdy snižuje výnosy, avšak tato reakce je proměnlivá a za určitých podmínek může bezorebné obdělávání půdy přinést stejné nebo vyšší výnosy než konvenční obdělávání půdy. Důležité je, že pokud se bezorebné obdělávání půdy kombinuje s dalšími dvěma zásadami konzervačního zemědělství, tj. ponecháváním zbytků a střídáním plodin, minimalizují se jeho negativní dopady. Kromě toho bezorebné obdělávání půdy v kombinaci s těmito dvěma zásadami významně zvyšuje produktivitu plodin pěstovaných v suchém podnebí, což naznačuje, že se může stát důležitou strategií přizpůsobení se změně klimatu ve stále sušších oblastech světa.

Jakékoli rozšiřování konzervačního zemědělství by však mělo být v těchto oblastech prováděno s opatrností, protože implementace ostatních dvou principů je často náročná v systémech drobného zemědělství chudých na zdroje. Tím se zvyšuje pravděpodobnost spíše ztrát výnosů než zisků. Přestože zemědělské systémy jsou multifunkční a je třeba brát v úvahu environmentální a socioekonomické faktory tak analýzy ukazují, že potenciální přínos bezorebného obdělávání půdy k udržitelné intenzifikaci zemědělství je omezenější, než se často předpokládá (Pittelkow, et al., 2015).



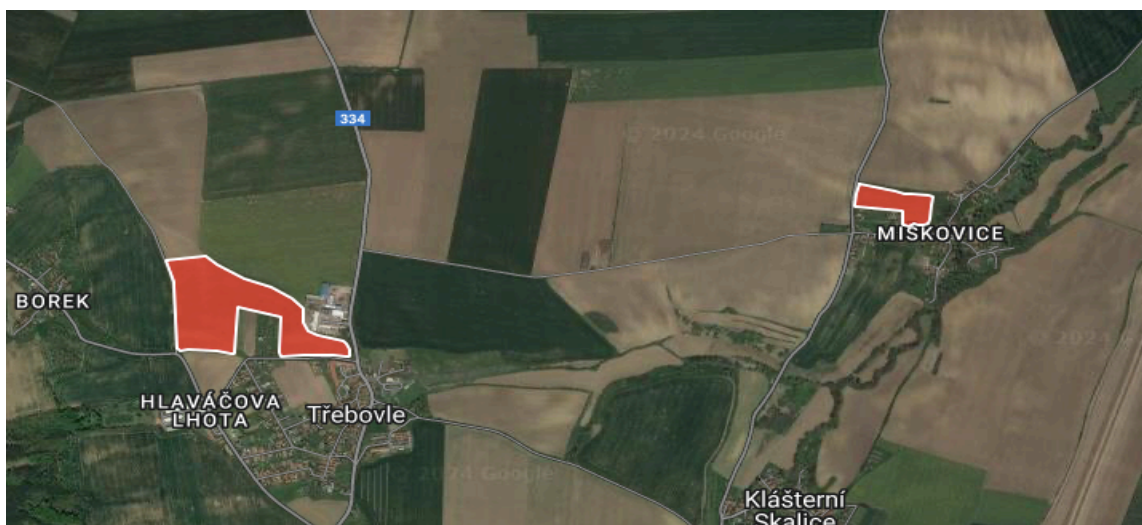
Obrázek 4: Průřez půdy regenerativního zemědělství s kořenovým systémem meziplodin, který má vliv na půdní vlastnosti (localfutures.org)

4. Metodika

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním různých technologií pěstování kukuřice na zrno. Porovnávané technologie jsou metody no-till (setí do nezpracované půdy), strip-till (pásové zpracování půdy) a minimalizace s kypřením. Pro zhodnocení práce bude brán zřetel na půdní vlastnosti, které jsou ovlivňovány danými technologiemi a na výnos samotných plodin.

4.1. Pokusné pozemky

Pro svojí práci jsem zvolil pozemky nedaleko Českého Brodu, ve středočeském kraji, se střední bonitou. Na pozemcích je převládající hnědozem. Celkový úhrn srážek v této oblasti za celý rok byl 650 mm. V průběhu vegetace byl celkový úhrn srážek v této oblasti přibližně 350 mm. Pokusné pozemky se nacházejí v nadmořské výšce od 230 do 280 m.n.m., svažitost pozemků je odlišná. Pozemek zvolený pro metodu minimalizace je posazen na rovině se svažitostí do 2°, pozemek pro metodu strip-till a no-till má proměnou svažitost se stoupající tendencí a to od 2° do 6°. Většina pozemku se však pohybuje v rozmezí 2-4°. První pozemek s kypřením vlastní podnik EKOPROGRES Třebovle s.r.o., který pěstuje kukuřici přibližně na 500 ha orné půdy. Druhý pozemek vlastní soukromý podnikatel, Ing. Lukáš Král, podnikající v zemědělských službách, které se zaměřují na půdoochranné technologie a sklizeň kukuřice na zrno.



Obrázek 5: Poloha obou pokusných pozemků navzájem na mapě, pozemek č.1 nalevo, pozemek č.2 napravo (Zdroj: Cropsat.com)

4.1.1. Pozemek č.1

Pozemek určený pro metodu minimalizace kypřením o rozloze 15,3 ha je tímto způsobem obhospodařován dlouhodobě, již 20 let. V zimě 2022 v termínu 12.12. bylo provedeno zpracování půdy po předplodině, kterou byla také kukuřice, strojem Horsch Terrano 7 m do hloubky 25 cm. Desikace glyfosátem nebyla provedena z důvodu nedostatku času. Nadále proběhlo na jaře 24.4. 2023 rozmetání slepičího hnoje, které bylo zapraveno pomocí stroje Horsch Joker 12 m do hloubky 10 cm. Před setím proběhla předseťová příprava do hloubky 5 cm pomocí stroje Bednar Swifter 12 m. Setí proběhlo v termínu 26.4. 2023 za pomoci stroje Wadestadt Tempo V, odrůda Kws Kidemos 1,64 VJ (82 000 jedinců) s přihnojením pod patu v podobě NPK 100 kg·ha⁻¹. Sklizeň probíhala pomocí samojízdné sklízecí mlátičky John Deere S685i (s axiálním mláticím ústrojím) v termínu 13. listopadu.

4.1.2. Pozemek č.2

Na pozemku určeném pro metody strip-till a no-till byla již 4 roky po sobě pěstována kukuřice na zrno, z toho 2 roky metodou strip-till s využitím signálu RTK a posunutím kypřeného řádku do prostoru meziřadí z minulého roku. Rozloha pozemku je 3,14 ha. Sklizeň na tomto pozemku byla u obou technologií zajištěna 21. listopadu pomocí samojízdné sklízecí mlátičky Case IH Axial-Flow 8260 (s axiálním mláticím ústrojím).

4.1.2.1. Strip-till

Na tomto pozemku bylo provedeno jarní kypření v termínu 26.4. 2023 strojem Kwerneland Kultistrip do hloubky 25 cm. Při kypření bylo využito uložení hnojiva pomocí čelního tanku do prokypřeného řádku. Hnojivo bylo ve formě granulované močoviny v množství 200 kg·ha⁻¹. Setí probíhalo v termínu 2.5. 2023 pomocí stroje Waderstadt Tempo V, odrůda Pioneer P9400 1,64 VJ (82 000 jedinců·ha⁻¹). Při setí bylo využito přihnojení pod patu v množství 200 kg·ha⁻¹ NPK.

4.1.2.2. No-till

Setí do nezpracované půdy proběhlo také za pomoci stroje Waderstadt Tempo V, odrůda kukuřice Pioneer P9400 1,64 VJ (82 000 jedinců·ha⁻¹). I když tento stroj k tomuto účelu není přímo určený, tak tuto operaci zvládl bez problémů. Na rozdíl od metody Strip till zde nebylo možné podat dávku 200 kg·ha⁻¹ močoviny z důvodu vynechání operace kypření. Přihnojení při setí pod patu však bylo zachováno ve stejné formě jako u metody strip-till a to v množství 200 kg·ha⁻¹ NPK. Setí probíhalo zároveň s metodou setí do prokypřených pásů strip-till, tedy v termínu 2.5.2023.

4.2. Měření půdních vlastností (infiltrační a fyzikální)

Fyzikální charakteristiky půdy mají zásadní dopad na pohyb vody a živin v půdním prostředí. Analýza půdních vlastností v rámci různých parametrů umožňuje plánování efektivního využití půdy a implementaci různých kontrolních opatření. Tím lze dosáhnout optimálního využití půdy a podporovat zdravý růst a výnos plodin (Ramesh, et al., 2008).

Měření probíhalo na jaře v jednom termínu 24.4. 2023 dva dny před setím samotné plodiny, a poté na podzim přímo po sklizni ve dvou termínech, 6.11 a 14.11., z důvodu nepřízně počasí. Byla měřena nasycená hydraulická vodivost. Dále byl měřen penetrační odpor půdy za pomoci penetrometru a nakonec byly odebrány neporušené půdní vzorky. Všechna tato měření probíhala mimo kolejové řádky a místa přejetá od zemědělské techniky.

4.2.1. Penetrační odpor půdy

Pro měření byl použit přístroj PN-10. Měření penetračního odporu se uskutečnilo na deseti místech každého pozemku se třemi vpichy. Měření probíhalo snadně, penetrometr měl minimální odpor a výhodou daného místa byla hluboká půda, kdy se ani jednou z průběhu měření nenarazilo na skálu či kámen, který by zastavil penetrometr a měření přerušil. Měřicí přístroj funguje na principu kužele vnikání známého průřezu a tvaru do půdy. Podrobně je popsáno ve standardu ASABE S313.3. Tento přístroj je vybaven tenzometrem a zařízením měřící pozici hloubky kužele v půdě a tyto informace naráz zaznamenává do paměti. Důležité je dodržet stálou rychlost vnikání kužele do půdy. Po naměření se na přístroji zaznamenalo číslo měření a proces jsem opakoval na dalších místech. Hodnoty uložené v přístroji byly posléze nahrány do stolního počítače, pomocí kterého následně proběhlo zpracování těchto výsledků. Pro vizualizaci výsledků jsou použity spojnicové grafy, na kterých jsou zobrazena měření na jaře a na podzim zvlášť. Grafy ukazují závislost penetračního odporu na hloubce.



Obrázek 6: Proces měření pomocí penetrometru, zatlačování kužele do půdy (foto autor)

4.2.2. Nasycená hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost půdy je vázána na její mechanickou pevnost a řídí se především půdní strukturou.

Místo měření na pozemku bylo vybráno tak, aby byl povrch půdy vizuálně stejný jako na většině výměry pokusného pozemku. Po vybrání vhodného místa bylo místo očištěno od posklizňových zbytků, které by mohly ovlivňovat měření. Poté co byly z místa odstraněny posklizňové zbytky, proběhlo zatlučení válců pro měření do země tak, aby vyčnívaly maximálně 5 cm nad úroveň půdy. Zatloukání probíhalo pomocí 5 kg palice přes dřevěný hranol, aby bylo zajištěno jejich správné a rovnoměrné ukotvení v zemi. Tyto válce mají za úkol vymezovat a usměrňovat vsakování vody do půdy. Při nesprávném zatlučení by mohlo dojít k stékání vody po stěně válce ve vytvořené mezeře mezi půdou a samotnou stěnou válce. Před vlitím vody o objemu 0,5 l byla změřena vlhkost půdy pomocí přístroje Fieldscout TDR spectrum v blízkosti zatlučeného válce, (viz obrázek 7), aby nebyla narušena struktura půdy uvnitř válce. Po vlití vody pomocí odměrky do prostoru válce vyčnívajícího ze země bylo ihned započato měření času, které trvalo do doby, dokud se voda plně nevsákla do půdy. Čas byl zaznamenán, zapsán a zároveň byla změřena vlhkost po infiltraci uvnitř prostoru válce. Hodnoty vlhkosti byly také zaznamenány. Bylo provedeno 10 měření, z toho 2 měření s nejvíce odlišnými hodnotami času byly považovány za chybné, a vymazány. Při měření nastala i situace, kdy se voda téměř vůbec nevsakovala, proto bylo nutné válec přemístit na jiné místo, nebo měření prohlásit za chybné. Bylo provedeno 10 měření na jednom místě pro každý pozemek. Z 10 naměřených hodnot byly 2 nejvíce rozdílné hodnoty odebrány. Výpočet byl proveden dle Bagarello, et al., 2006. Vyhodnocení zaznamenaných hodnot proběhlo pomocí programu Microsoft word Excel a zpracováno do Krabicových grafů. Na pozemku pro no-till a strip-till proběhlo pouze jedno měření, z důvodu stejnorodosti pozemku a měření tak nebylo zapotřebí opakovat.



Obrázek 7: Měření vlhkosti vlhkoměrem mimo válec, před měřením doby infiltrace. (foto autor)

4.2.3. Neporušené půdní vzorky

Pomocí odběru neporušených půdních vzorků lze zjistit základní fyzikální vlastnosti půdy. Analyzují se vodní a vzdušné poměry a provádí se stanovení pórovitosti. Odběry se provádí v předem určených hloubkách především ze středu jednotlivých horizontů do Kopeckého ocelových válečků o známé hmotnosti a přesném objemu 100 cm³. Na neporušených půdních vzorcích se určuje momentální vlhkost, kapilární nasáklivost, maximální kapilární vodní kapacita, celková pórovitost a maximální vodní kapacita podle Nováka. Tyto veličiny se stanovují v jednom postupu práce s neporušeným půdním vzorkem v Kopeckého válečku (Valla, et al., 2004).

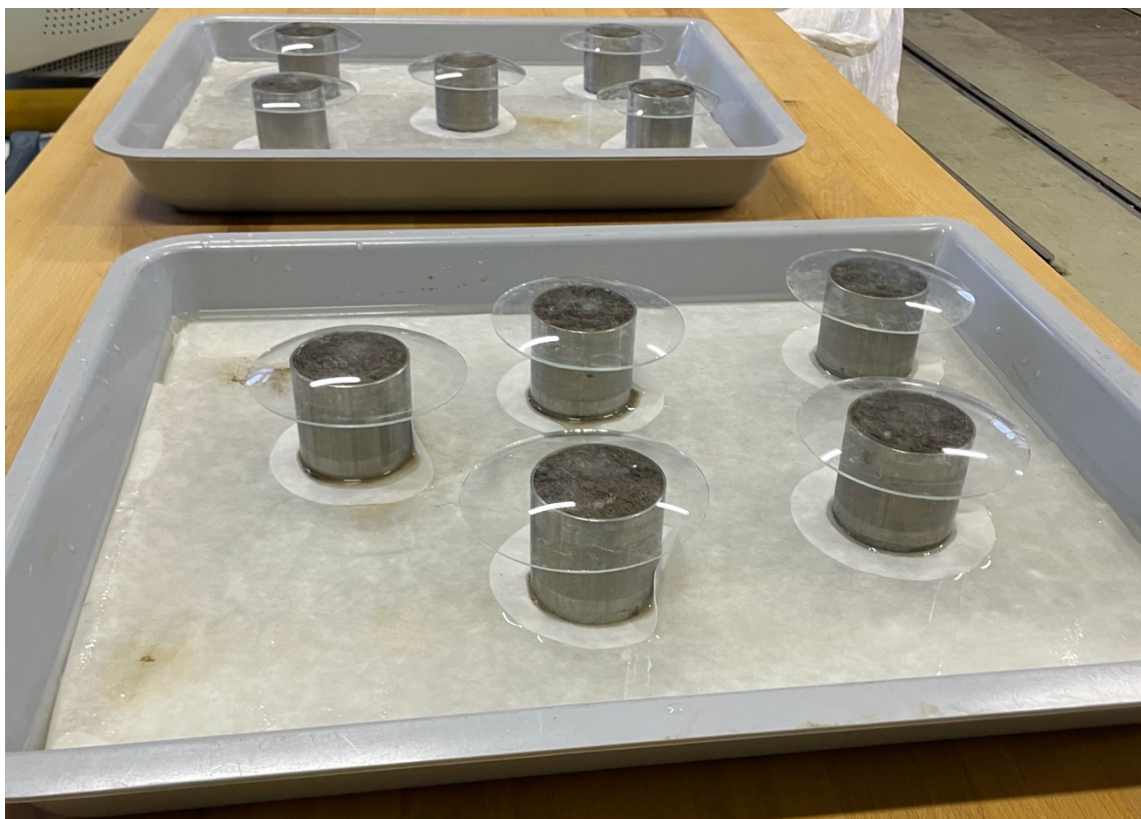
Pro odebrání vzorků byly zvoleny 2 hloubky, 5–10 cm a 10–15 cm. Na každém pozemku bylo provedeno 5 odběrů z každé hloubky. Na pozemku pro strip-till a no-till byly provedeny opět pouze jedny sady odběrů v těchto hloubkách, stejně jako u metody nasycené hydraulické vodivosti, z důvodu stejnorodosti pozemku. Před odebráním vzorků byl povrch očištěn od posklizňových zbytků, aby nekontaminovaly vzorek. Po odstranění nežádoucích částic byla z místa měření odstraněna vrchní vrstva půdy do hloubky určené pro odběr půdních vzorků. Následovalo připravení Kopeckého válečku, zaznamenání jeho čísla, hloubky odběru a vložení do odběrového násadce. Zatlačování násadce probíhalo svisle do půdy, bez viklání. Před odebráním vzorků spadly na pozemek vodní srážky o celkovém úhrnu 5 mm, které nám usnadnily bezproblémové odebrání vzorků. V případě velkého odporu půdy, kdy nebylo možné sondu zatlačit dostatečně hluboko, bylo využito 5kg palice a mírnými údery na vrchní část sondy se docílilo potřebného zatlačení (viz obr.8).



Obrázek 8: Odebírání vzorků do Kopeckého válečku pomocí násadce (foto autor)

Po dosažení potřebného zatlačení sondy tak aby byla celá zaplněna půdou, následovalo pootočení násadcem doprava, (z důvodu zámku pouzdra násadce) aby bylo zajištěno oddělení sondy od půdy a bylo možné její neporušené vytažení. Po vytažení násadce se vyjmul Kopeckého váleček a přebytečná půda byla postupně od krajů seříznuta, aby byl odebraný vzorek zarovnan zároveň s válečkem. Poté se váleček zavičkoval a uložil do chladicího boxu, aby se zamezilo odparu vody a tak změně vlhkosti vzorku. Po odebrání všech vzorků následovalo v laboratoři jejich vyhodnocení. Měření probíhalo na laboratorní váze značky Kern s přesností na 0,001 g. Postup vyhodnocení probíhal dle Valla, et al., 2004. Začalo se vážením vzorků v syrovém stavu hned po příjezdu z pozemku. Následovalo uložení vzorků na kulatý filtrační papír a naplnění nádoby destilovanou vodou. Do nádoby s vodou se vložila perforovaná distanční deska přikryta filtračním papírem tak, aby se mezi deskou a filtračním papírem nenacházely žádné vzduchové bubliny. Hladina vody v nádobě přesahovala filtrační papír zhruba o 1 mm.

Vzorky se na hladině vody přes filtrační papír nechávali kapilárně nasakovat po dobu 24 hodin přikryty hodinovým sklem, aby bylo zamezeno odparu vody. Druhý den byla nasycená půda na povrchu lesklá.



Obrázek 9: Neporušené půdní vzorky v Kopeckého válečcích ve fázi nasákání na filtračním papíru přiklopené hodinovým sklem (foto autor)

Následovalo zvážení kapilárně nasyceného vzorku a vzorek byl uložen na 4 vrstvy filtračního papíru, zakrytý hodinovým sklem z důvodu začátku procesu odsávání vody. Hmotnost byla změřena po 30 minutách odsávání, poté po dvou hodinách od začátku odsávání a nakonec po 24 hodinách odsávání vody. Po vysušení vzorku na filtračním papíru byl vzorek ještě vysušen v sušárně Memmert UFB 500 při 105 °C po dobu 24 h. Nakonec z vysušeného vzorku byla oddělena navážka 10 g, která se vložila do ultrazvukové lázně, kde byla hlína vlivem ultrazvukových vln rozmělněna. Pyknometr se naplnil destilovanou vodou a byl ohřátý na 20°C. Poté se ohřátý pyknometr zvážil. Po slítí vody z ultrazvukové lázně byla suspenze vpravena do pyknometru a byla opět změřena hmotnost pyknometru. Specifická hmotnost byla dopočítána. Výpočty a postup byl proveden dle (Valla, et al., 2004). Hodnoty jsou vyhodnoceny pomocí programu Microsoft Excel.

4.2.3.1. Momentální vlhkost

Momentální vlhkost je vlhkost půdy v momentě, kdy byla odebrána. Udává se v % objemových. Pro nejpřesnější určení vlhkosti je vzorek třeba zvážit ihned po odebrání. Vlhkost půdy je velice proměnlivá a její hodnota pro vegetaci je dána hodnotou dostatečného provzdušnění. K zamokření orné půdy dohází při hodnotách převyšujících 70 % a u luk 90 %. Přitom optimální vlhkost pro vegetaci kukuřice je 55 % vlhkosti (Valla, et al., 2004).

4.2.3.2. Objemová hmotnost reduková

Je hmotnost jednotkového objemu vysušené půdy a používá se ke stanovení kyprostí. Ve svrchních půdách by se hodnota měla pohybovat od 1,2 – 1,5 g·cm³. Kritické hodnoty objemové hmotnosti jsou v tabulce 1. (Pokorný, et al., 2007)

Půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
pd kritické (g.cm ³)	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70

Tabulka 1: kritické hodnoty objemové hmotnosti redukové vyjadřující škodlivé utužení půd (Lhotský et al., 1984)

4.2.3.3. Retenční vodní kapacita

Retenční vodní kapacita vyjadřuje dosti ustálený stav vlhkosti. Voda v půdě je udržována v kapilárních pórech kapilárními silami. Proto lze retenční vodní kapacitu ztotožnit s obsahem kapilárních pórů. Tyto hodnoty jsou doplňkem vodních charakteristik do hodnoty pórovitosti, protože vzdušné charakteristiky úzce souvisejí s vodními (Valla, et al., 2004).

4.2.3.4. Pórovitost

Pórovitost dle Valla, et al., 2004, udává kolik procent z jednotkového objemu půdy v přirozeném stavu připadá na póry. Ty se dělí na kapilární, nekapilární a semikapilární. Kapilární póry jsou totožné s hodnotou retenční vodní kapacity. Semikapilární póry jsou přechodné póry mezi kapilárními a nekapilárními póry. Voda z nich gravitačně téměř okamžitě odtéká. Podle hodnoty pórovitosti se posuzuje ulehlost půdy (viz Tab. 2.).

Ornice	Lehké půdy [%]	Středně těžké a těžké půdy [%]
Kyprá	Nad 65	Nad 65
Mírně ulehlá	50–65	55–65
Ulehlá	40–50	45–55
Velmi ulehlá	Do 40	Do 45

Tabulka 2: Hodnoty pórovitosti pro ulehnutí půd (Valla, et al., 2004)

4.2.3.5. Specifická hmotnost půdy

Je hmotnost pevné složky půdy bez pórů. Tato hodnota je ovlivněna poměrným zastoupením jednotlivých minerálů různé specifické hmotnosti, jichž je vlastně průměrem. Pomocí specifické hmotnosti lze také určit do jaké míry je v půdě zastoupen organický podíl. Odhad zastoupení organického podílu je možné najít v tabulce 3 (Valla, et al., 2004).

< 2,0	Rašelinné horizonty
2,0 – 2,4	Zrašeliněné horizonty
2,4 – 2,5	Silně humózní horizonty
2,5 – 2,6	Povrchové humózní horizonty
2,6 – 2,7	Hlinité horizonty s cca 1 % humusu
2,7 – 2,8	Železem obohacené iluviální horizonty

Tabulka 3: Hodnoty odhadu zastoupení organického podílu podle specifické hmotnosti (Valla, et al., 2004)

4.3. Rozvoj kořenového systému a průběh vegetace

V termínu 31.5. byla provedena vizuální kontrola pozemku s fotodokumentací. Zároveň byly odebrány vzorky rostlin za pomoci rycích vidlí pro porovnání jejich vývoje a rozvoje kořenového systému. Při vytahování rostliny se bral ohled na co nejmenší poškození kořenového systému. Z důvodu velkého sucha byl největší problém odebrat vzorek pro no-till, kde byla vrchní část půdy vlivem sucha ztvrdlá a bylo složité touto vrstvou proniknout. Dále u této metody bylo problematické vytáhnout neporušený kořenový systém z důvodu velké soudržnosti půdy. Nakonec tyto vzorky musely být vyrýpnuty s balem zeminy, který se následně nechal v nádobě s vodou, aby půda změkla a bylo možné ji odstranit. Nadále byly rostliny vyfoceny na bílém podkladu, a zpracovány pomocí grafického programu (pixlr X), aby bylo možné snadné vizuální porovnání.



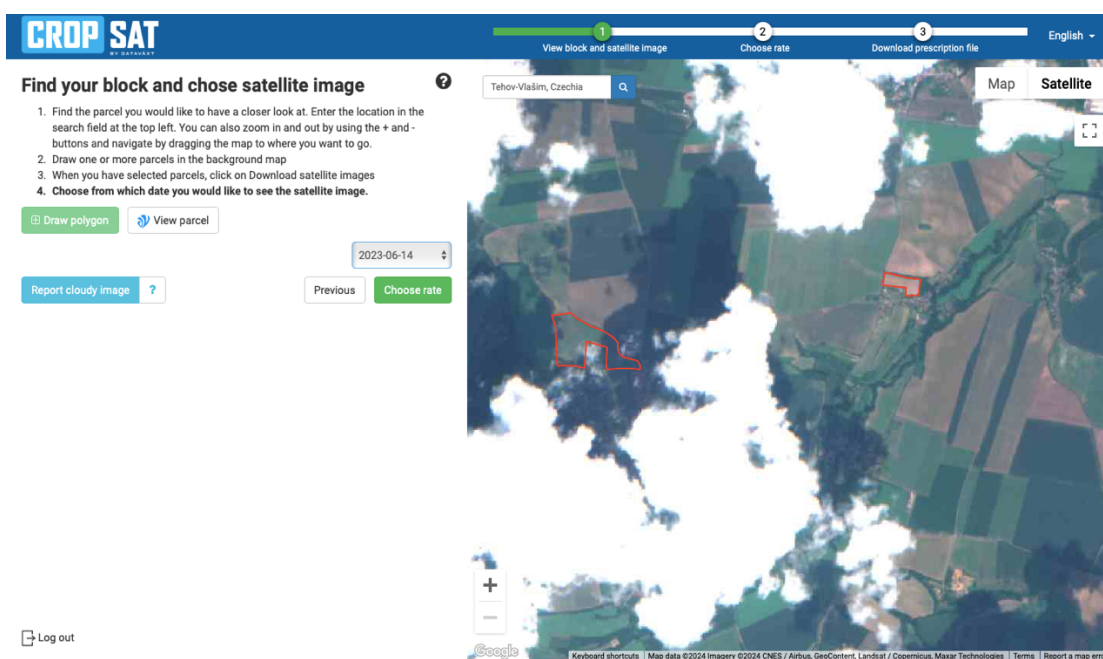
Obrázek 10: Odebraný vzorek rostliny z pozemku pro no-till s balem půdy okolo kořenového systému (foto autor)

4.4. Vegetační index (NDVI)

V oblasti aplikací dálkového průzkumu Země byly vyvinuty vegetační indexy pro kvalitativní a kvantitativní hodnocení vegetačního krytu pomocí spektrálních měření. Spektrální odezva vegetačních ploch představuje komplexní směs vegetace, jasu půdy, vlivů prostředí, stínu, barvy půdy a vlhkosti (Bannari, et al., 1995).

Pro Sledování plodin v průběhu sezóny byl využit systém CropSAT. Je to nástroj, který pomocí satelitních snímků zobrazuje změny biomasy na polích. Pomocí systému CropSAT lze sledovat vývoj plodin v průběhu sezóny a vytvářet alokační soubory pro optimalizaci hnojení a postřiků podle potřeb plodin.

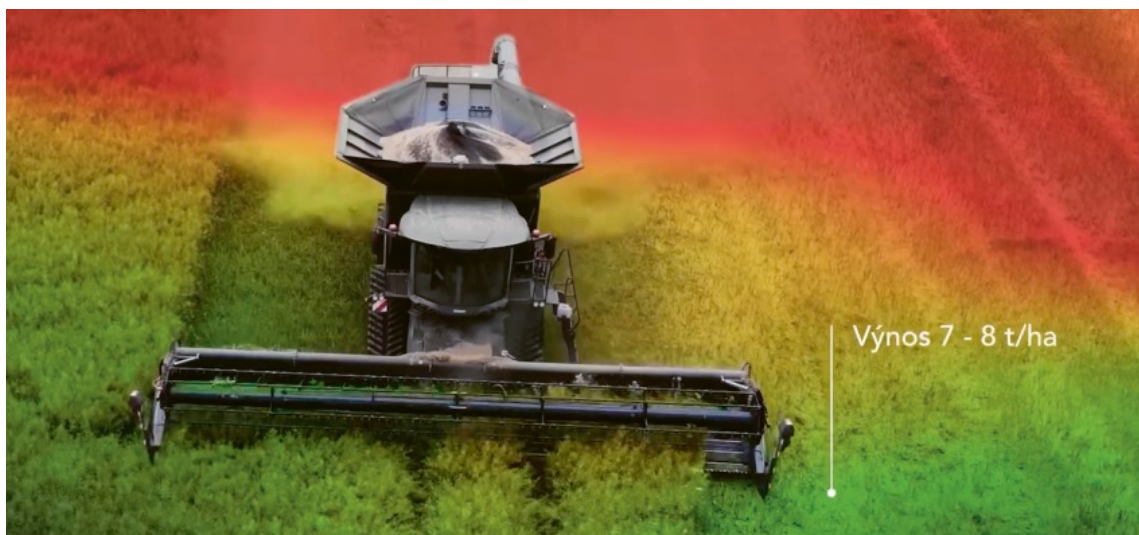
V první řadě bylo potřeba ohraničit zvolené pozemky a na základě toho vybrat datum pořízeného družicového snímku. Termíny se musely pečlivě vybrat z důvodů oblačnosti, která znemožňovala dohled družice na oba pozemky zároveň. U snímků je důležité dodržet, aby na zvolený pozemek nedopadal ani stín mraku. To by ovlivnilo měření. Poté už jen stačilo potvrdit vybraný termín, a software vypočítal mapu vegetačního indexu NDVI, která je primárně určena pro tvorbu aplikačních map pro variabilní hnojení, avšak lze prostřednictvím něj pozorovat i určité rozdíly mezi jednotlivými pozemky.



Obrázek 11: Ukázka programu CropSat s nevhodným snímkem družice pro vytvoření mapy vegetačního indexu s červeně označenými pozemky (cropsat.com)

4.5. 4.5. Výnosové mapy

Výnosové mapy jsou tvořeny za pomoci samojízdné sklízecí mlátičky Case IH Axial-Flow 8260. K tomu, aby byla mlátička schopna generovat výnosové mapy, je zapotřebí její určitá vybavenost různými senzory. Základním vybavením pro tvorbu výnosových map je výpočetní jednotka implementována do telemetrie sklízecí mlátičky spolu s výnosoměrem a přijímačem polohového signálu. Toto vybavení bohužel není samozřejmostí každé mlátičky. Dnes je vybavenost mlátiček výnosoměrem u mnoha výrobců standardem, avšak v praxi se s využitím zatím moc neseťkáme. Na mnoha mlátičkách je tato funkce buď vypnuta, nebo daná obsluha tuto funkci neumí využívat. Pro správnou funkci je zapotřebí kalibrace výnosoměru a dalších čidel pro měření různých dat. Tyto mapy jsou schopny zaznamenávat i více dat při sklizni, například pokud je sklízecí mlátička vybavena i vlhkoměrem, lze získat mapu vlhkosti sklizené plodiny. Dále je možné získat mapu pro zatížení motoru či spotřeby paliva, obsah dusíku v plodině a další. Tyto výnosové mapy poté mohou sloužit k tvorbě aplikačních map pro další operace na daném pozemku.

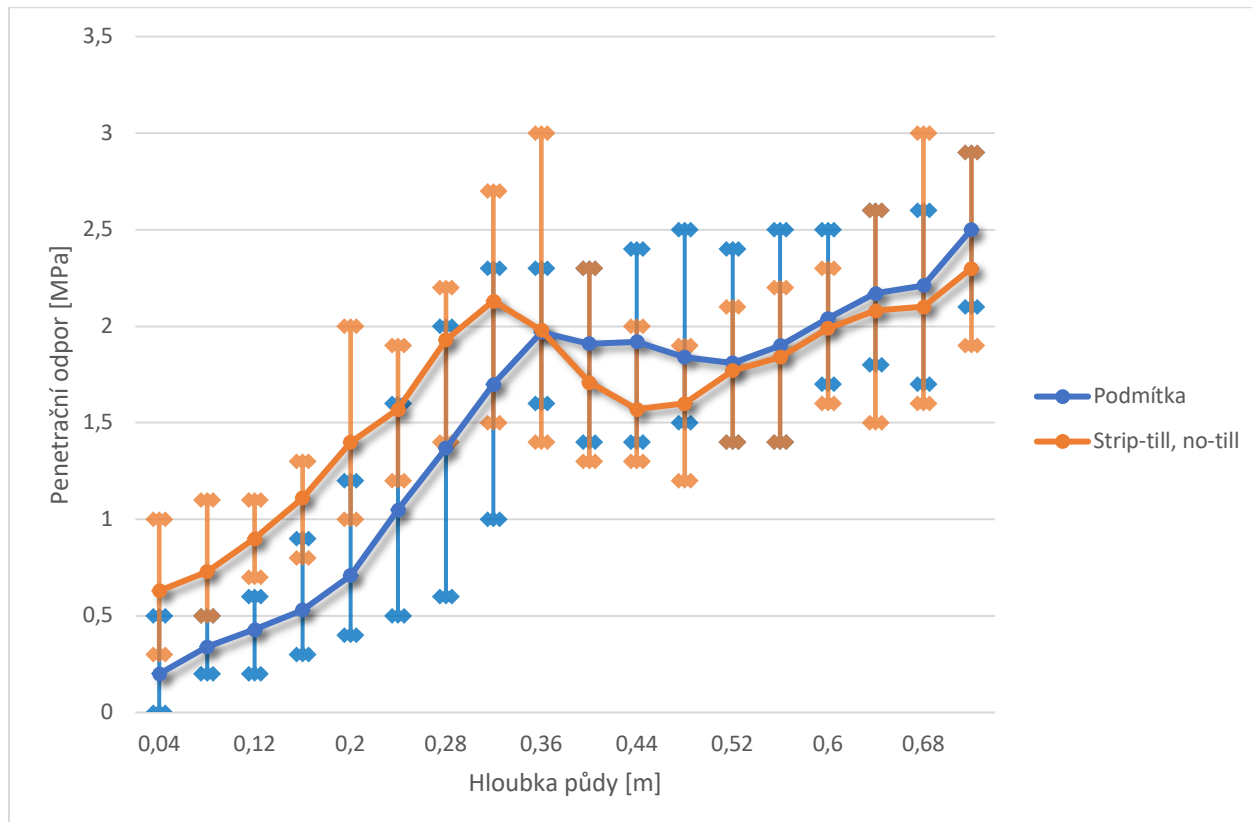


Obrázek 12: Obrázek sklízecí mlátičky Fendt Ideal s ilustrací výnosové mapy v pozadí (technickytydenik.cz)

5. Výsledky

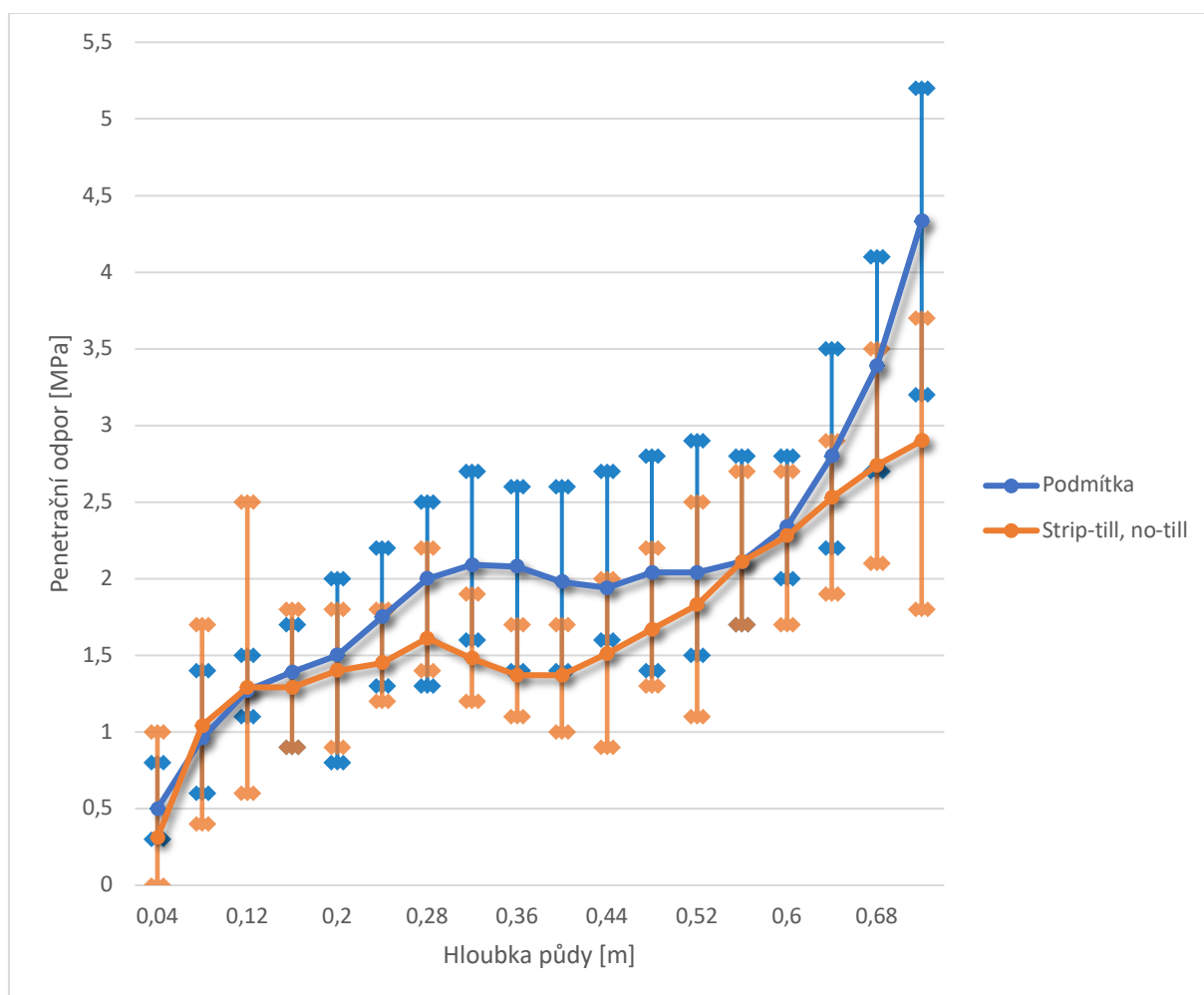
5.1. Penetrační odpor půdy

Z grafu (Obrázek 13) 1. jarního měření je vidět, že vrchní vrstva půdy u metody plošného kypření má až do hloubky 0,36 metru menší penetrační odpor, než pozemek pro metodu strip-till a no-till. To je dáno zimním kypřením, které nám zajistilo provzdušněnost půdy a dehomogenizovalo půdní strukturu. Propad hodnot penetračního odporu okolo hloubky 0,3 m může být zapříčiněn půdní strukturou, kdy v této hloubce může být například písčité ložisko. Penetrační odpor ve vrchní vrstvě půdy nestoupá tak strmě jako u podzimního měření z důvodu vymrzání půdy přes zimu, kdy voda obsažená v půdě přes zimu zmrzne, tím zvýší svůj objem a krystalky ledu rozruší půdní strukturu. Ta po roztání ledu zůstává do určité míry zachována. Mráz také tvoří mrazové trhliny i do větších hloubek, kde napomáhá rozrušování hrud a vytváří nekapilární póry v utužených půdních vrstvách, jak popisuje (Huislová, et al., 2017).



Obrázek 13: Graf závislosti penetračního odporu na hloubce půdy z jarního měření

Z druhého grafu (Obrázek 14), vytvořeného z hodnot nasbíraných na podzim, je na první pohled zřejmé, že pozemek, kde byla provedena podmítka, je oproti jaru utuženější, než pozemek pro metodu strip-till a no-till. Dále lze pozorovat, že jarní hodnoty nedosáhly výš než 2,5 MPa, oproti podzimním hodnotám, které atakují hranici 4,5 MPa. Nadále lze pozorovat, že na pozemku pro metodu strip-till a no-till hodnoty penetračního odporu celkově klesly oproti jarním hodnotám až do hloubky 0,44 m. Celkové snížení penetračního odporu lze přisuzovat tvorbě stálé půdní struktury, kdy se o strukturu půdy starají organismy a mikroorganismy obsažené v půdě. U metody plošného kypření naopak hodnoty oproti jarnímu měření vzrostly. To lze přisuzovat přirozenému sléhávání půdy. Proces hloubkového kypření přerušuje vazby mezi mikroorganismy a tím se narušuje jejich struktura. Ty poté nemohou tvořit přirozenou strukturu půdy a půda je tak náchylnější na utužení. Mikroorganismy podrobněji popisuje (Krsek, 2014).



Obrázek 14: Graf závislosti penetračního odporu na hloubce půdy z podzimního měření

5.2. Nasycená hydraulická vodivost

Z obou měření je zřejmé, že u metody plošného kypření je nasycená hydraulická vodivost mnohem větší, než u pozemku pro metody strip-till a no-till. Pro ověření statisticky významného rozdílu byl použit (Studentův T-test pro dva nezávislé soubory), který prokázal, že rozdíly jsou statisticky významné. Tomuto jevu přispělo zimní kypření, které provzdušnilo půdu a vytvořilo tak nekapilární póry, které pojmu velké množství vody. V případě použití většího množství vody pro infiltraci, by se dalo očekávat snížení této hodnoty, z důvodu nasycení prokypřené vrstvy. I když prokypřená půda pojme více vody, tak v případě, kdy půda nedokáže pojmout dostatečné množství vody, například v případě přivalových dešťů, může dojít k vodní erozi a smyvu části ornice z pozemku. U metody strip-till a no-till, vodní erozi a smyvu půdy brání kořenový systém předplodiny, soudržnost půdy a rostlinné zbytky na povrchu půdy, které mimo jiné brání také kapkové erozi. Dále lze pozorovat statisticky významný rozdíl ověřený pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) mezi podzimním měřením a jarním měřením u metody plošného kypření, kdy se nasycená hydraulická vodivost zhoršila o 250 %. U pozemku pro strip-till a no-till, nelze dle metody (ANOVA) pozorovat statisticky významný rozdíl.

Anova: Single Factor		Strip till, no till				
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
podzim	8	40,9152603	5,114407541	79,84148273		
jaro	8	41,7250739	5,215634242	4,005941554		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,04098738	1	0,04098738	0,000977666	0,97549748	4,60010994
Within Groups	586,93197	14	41,92371214		>0,05	
				není statisticky významný rozdíl		
Total	586,972957	15				

Tabulka 4: Analýza rozptylu ANOVA pro jarní a podzimní měření na pozemku strip-till a no-till

Anova: Single Factor		Plošné kypření					
SUMMARY							
Groups	Count	Sum	Average	Variance			
Jaro	8	1514,29181	189,286476	2400,71167			
Podzim	8	604,663996	75,5829995	1311,25032			
ANOVA							
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	
Between Groups	51713,92244	1	51713,9224	27,8633901	0,00011662	4,60010994	
Within Groups	25983,73392	14	1855,98099		<0,05		
					je statisticky významny rozdíl		
Total	77697,65635	15					

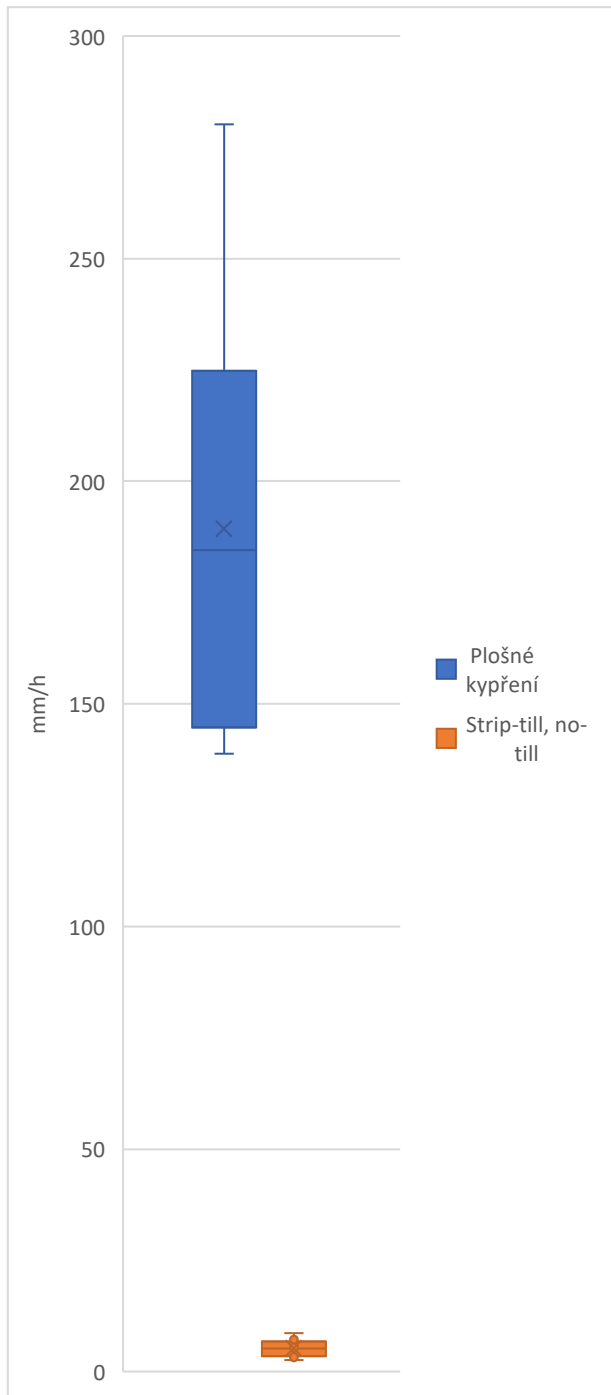
Tabulka 5: Analýza rozptylu ANOVA pro jarní a podzimní měření na pozemku s plošným kypřením

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances			podzim
	Variable 1	Variable 2	
Mean	75,5829995	5,11440754	
Variance	1311,25032	79,8414827	
Observations	8	8	
Hypothesized	0		
df	8		
t Stat	5,34395376		
P(T<=t) one-	0,00034542		
t Critical one	1,85954804		
P(T<=t) two-	0,00069085	<0,05	Je statisticky významný rozdíl
t Critical two	2,30600414		

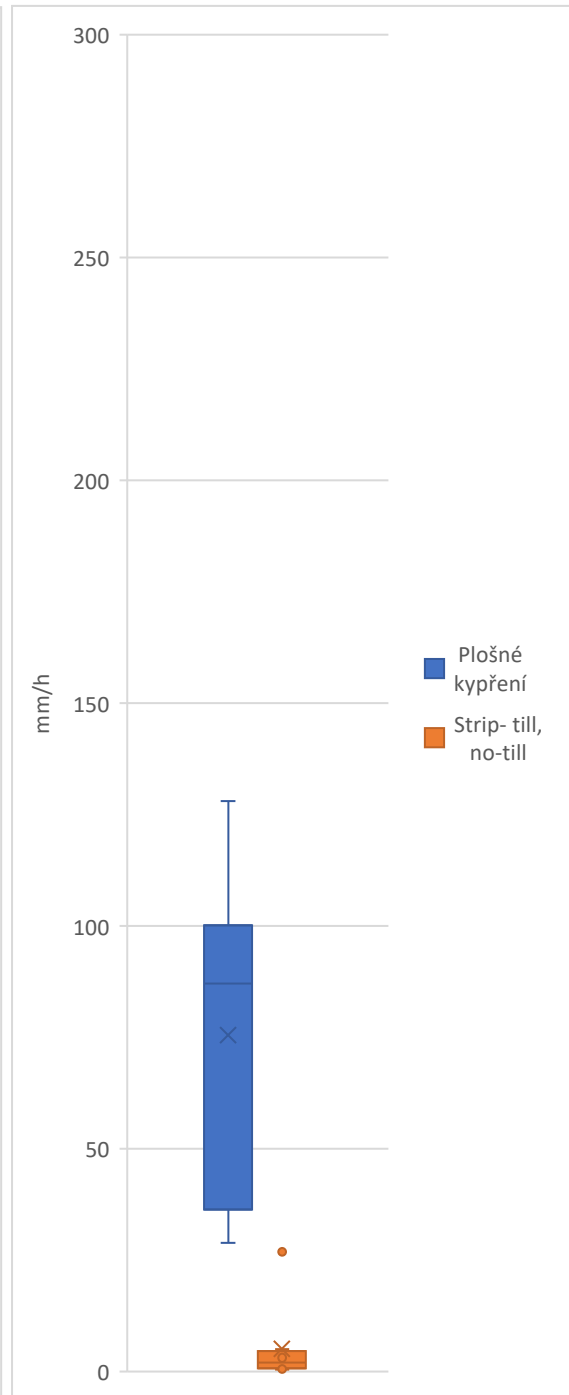
Tabulka 6: Studentův T test prokazující statisticky významný rozdíl mezi měřením metod na podzim

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances			jaro
	Variable 1	Variable 2	
Mean	189,286476	5,21563424	
Variance	2400,71167	4,00594155	
Observations	8	8	
Hypothesized	0		
df	7		
t Stat	10,6169055		
P(T<=t) one-	7,1995E-06		
t Critical one	1,89457861		
P(T<=t) two-	1,4399E-05	<0,05	Je statisticky významný rozdíl
t Critical two	2,36462425		

Tabulka 7: Studentův T test prokazující statisticky významný rozdíl mezi měřením metod na jaře



Obrázek 15: Krabicový graf nasycené hydraulické vodivosti z jarního měření

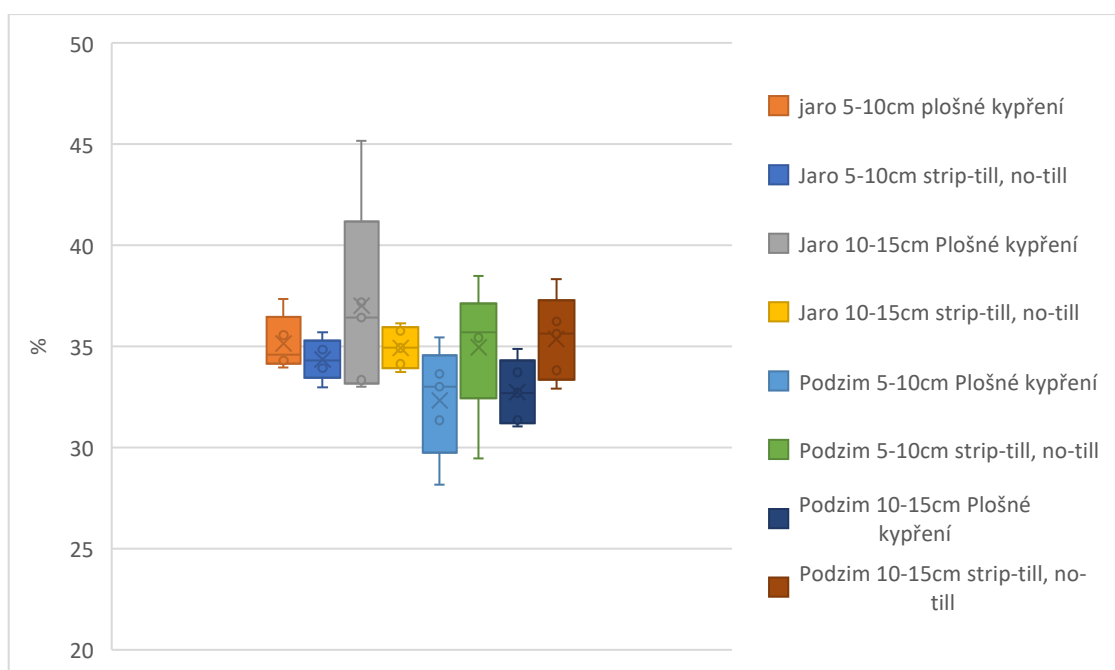


Obrázek 16: Krabicový graf nasycené hydraulické vodivosti z podzimního měření

5.3. Neporušené půdní vzorky.

5.3.1. Momentální vlhkost

Valla, et al., 2004 uvádí, že optimální vlhkost pro pěstování kukuřice se pohybuje okolo 55 % relativní vlhkosti. Nejbližší této hodnotě je měření z hloubky 10 – 15 cm u plošného kypření na jaře (viz obr.17) Avšak dle statické analýzy rozptylu (ANOVA) zde nelze pozorovat významné statistické rozdíly (viz tab. 8).



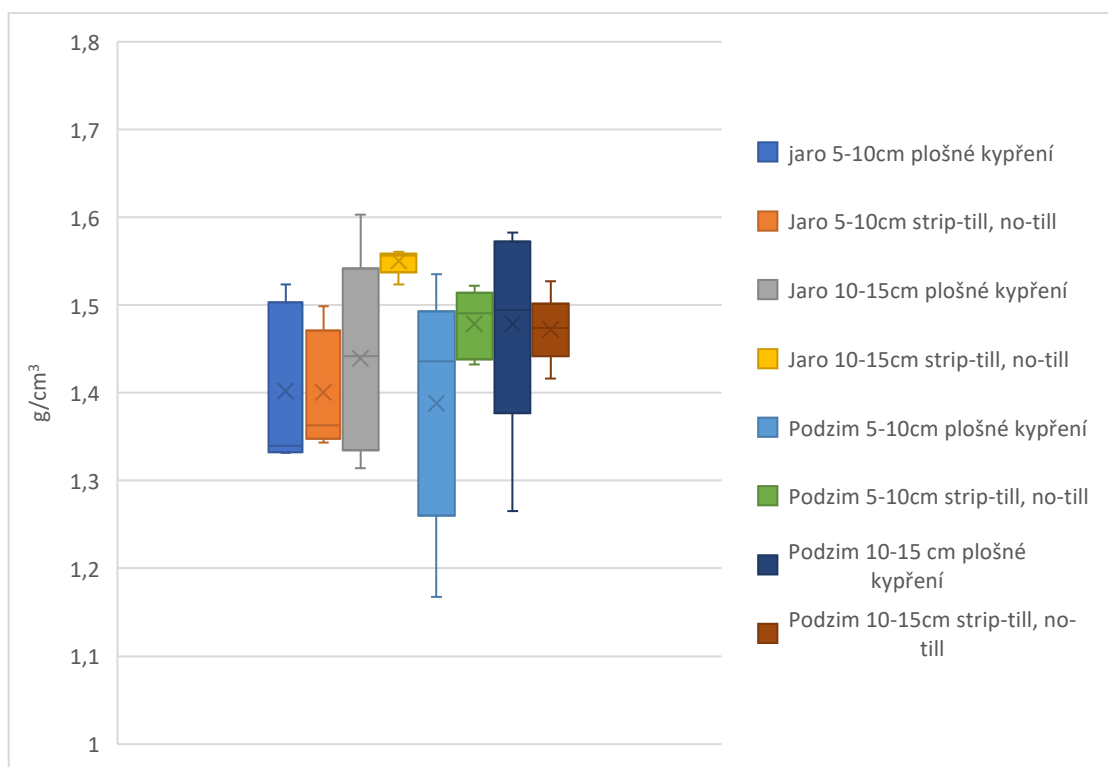
Obrázek 17: Krabicový graf naměřených hodnot momentální vlhkosti

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
jaro 5-10cm podmítka	5	185,153	37,0306	24,0662343		
Jaro 5-10cm strip-till,	5	174,704	34,9408	1,0650052		
Jaro 10-15cm podmítka	5	185,153	37,0306	24,0662343		
Jaro 10-15cm strip-till	5	174,704	34,9408	1,0650052		
Podzim 5-10cm podm	5	161,639	32,3278	7,5545627		
Podzim 5-10cm strip-t	5	174,854	34,9708	10,9865017		
Podzim 10-15 cm pod	5	163,724	32,7448	2,5725997		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	101,6714366	6	16,94523943	1,661853259	0,167505045	2,445259395
Within Groups	285,5045724	28	10,19659187			
Total	387,176009	34			>0,05	není statistický rozdíl

Tabulka 8: Analýza rozptylu ANOVA pro naměřené hodnoty momentální vlhkosti

5.3.2. Objemová hmotnost redukována

Objemová hmotnost redukována slouží k určení kyprosti nebo zhutnění půd. Tato hodnota by měla s hloubkou stoupat. Na obrázku 18 je možné pozorovat, že hodnota u jarního měření na pozemku pro strip-till a no-till z hloubky 10-15 cm atakuje kritickou hranici písčito-hlinitých půd (dle tabulky 1. viz metodika). Avšak mezi hodnotami dle statistické analýzy rozptylu (ANOVA), není významný rozdíl (viz tab. 9).



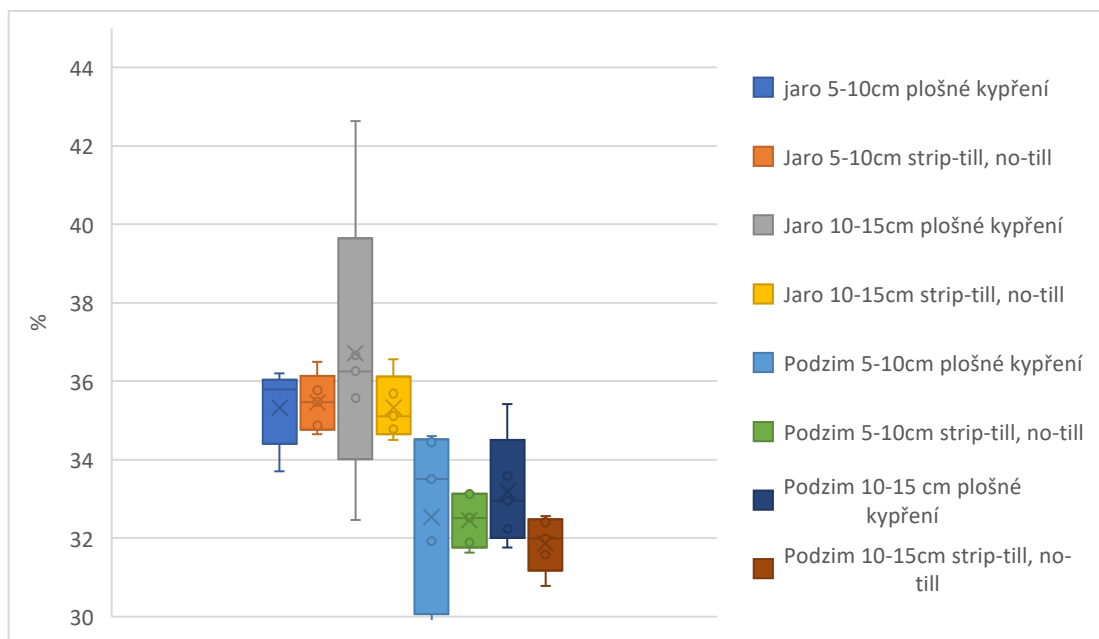
Obrázek 18: Krabicový graf naměřených hodnot objemové hmotnosti redukováne

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
jaro 5-10cm plošné ky	5	7,01039	1,402078	0,008681976		
Jaro 5-10cm strip-till,	5	7,00163	1,400326	0,004620919		
Jaro 10-15cm plošné k	5	7,19482	1,438964	0,01280867		
Jaro 10-15cm strip-till	5	7,74976	1,549952	0,000232625		
Podzim 5-10cm plošné	5	6,94256	1,388512	0,019442718		
Podzim 5-10cm strip-t	5	7,39482	1,478964	0,001514129		
Podzim 10-15 cm ploš	5	7,39281	1,478562	0,015908195		
Podzim 10-15cm strip	5	7,36128	1,472256	0,001535456		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,103977356	7	0,014853908	1,835382452	0,114396626	2,312741187
Within Groups	0,258978751	32	0,008093086		>0,05	není statistický rozdíl
Total	0,362956107	39				

Tabulka 9: Analýza rozptylu ANOVA pro naměřené hodnoty objemové hmotnosti redukováne

5.3.3. Retenční vodní kapacita

Tato hodnota vyjadřuje množství vody, které je schopna půda zadržet v kapilárních pórech a postupně ji pro potřeby rostlin uvolňovat. Tuto hodnotu lze ztotožnit s kapilárními póry. Na obrázku 19 lze pozorovat statisticky významný rozdíl (dle ANOVA - tab. 10). Rozdíl se nachází mezi jarním a podzimním měřením, kde podzimní hodnoty významně klesly.



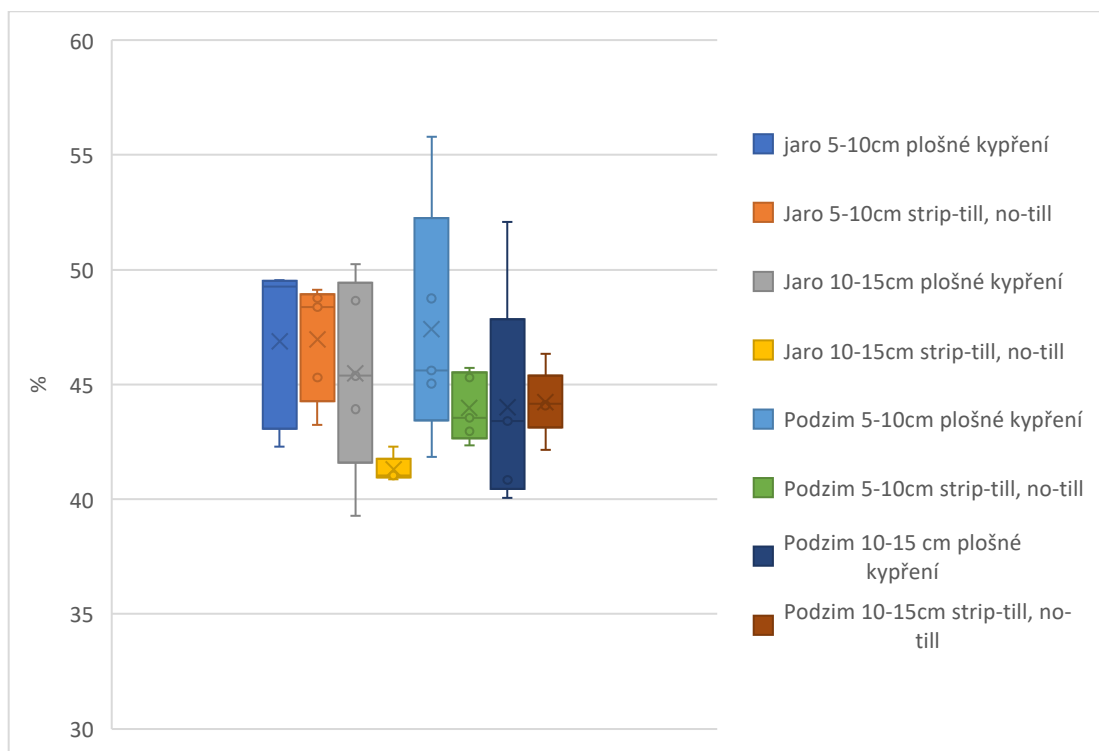
Obrázek 19: Krabicový graf naměřených hodnot retenční vodní kapacity

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
jaro 5-10cm plošné ky	5	176,649	35,3298	0,9960522		
Jaro 5-10cm strip-till,	5	177,257	35,4514	0,5451133		
Jaro 10-15cm plošné k	5	183,561	36,7122	13,6495112		
Jaro 10-15cm strip-till	5	176,624	35,3248	0,6616327		
Podzim 5-10cm plošné	5	162,663	32,5326	7,0087683		
Podzim 5-10cm strip-t	5	162,303	32,4606	0,4810428		
Podzim 10-15 cm ploš	5	165,944	33,1888	2,0296652		
Podzim 10-15cm strip	5	159,301	31,8602	0,5101327		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	113,2666123	7	16,18094461	5,001466851	0,000658724	2,312741187
Within Groups	103,5276736	32	3,2352398		<0,05	
					je statisticky významny rozdíl	
Total	216,7942859	39				

Tabulka 10: Analýza rozptylu ANOVA pro hodnoty měření retenční vodní kapacity

5.3.4. Pórovitost

Na obrázku 20 je krabicový graf s naměřenými hodnotami pórovitosti na kterých lze pozorovat pórovitost půdy. Z grafu je možné vyčíst, že hodnoty na obou pozemcích se řadí mezi ulehle půdy (viz metodika – tab. 2). Mezi hodnotami dle statistické analýzy (ANOVA) nelze pozorovat statisticky významné rozdíly (viz tab. 11).



Obrázek 20: Krabicový graf naměřených hodnot pórovitosti

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
jaro 5-10cm plošné ky	5	234,4549242	46,89098485	12,45692209		
Jaro 5-10cm strip-till,	5	234,7867424	46,95734848	6,630105788		
Jaro 10-15cm plošné k	5	227,4689394	45,49378788	18,37791226		
Jaro 10-15cm strip-till	5	206,4484848	41,28969697	0,33377112		
Podzim 5-10cm plošné	5	237,0242424	47,40484848	27,89646138		
Podzim 5-10cm strip-f	5	219,8931818	43,97863636	2,172476297		
Podzim 10-15 cm ploš	5	219,9693182	43,99386364	22,82511883		
Podzim 10-15cm strip	5	221,1636364	44,23272727	2,20307669		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	149,1869774	7	21,31242534	1,835382452	0,114396626	2,312741187
Within Groups	371,5833778	32	11,61198056			
Total	520,7703552	39			>0,05	není statistický rozdíl

Tabulka 11: Analýza rozptylu ANOVA pro naměřené hodnoty pórovitosti

5.3.5. Specifická hmotnost půdy

Specifická hmotnost půdy na pozemku pro strip-till a no-till byla vypočtena 2,64 g·cm³ a na pozemku s plošným kypřením vyšla 2,65 g·cm³. Podle tabulky 3 (viz metodika) se dá prohlásit, že oba tyto pozemky spadají do kategorie s hlinitými horizonty s cca 1 % humusu.

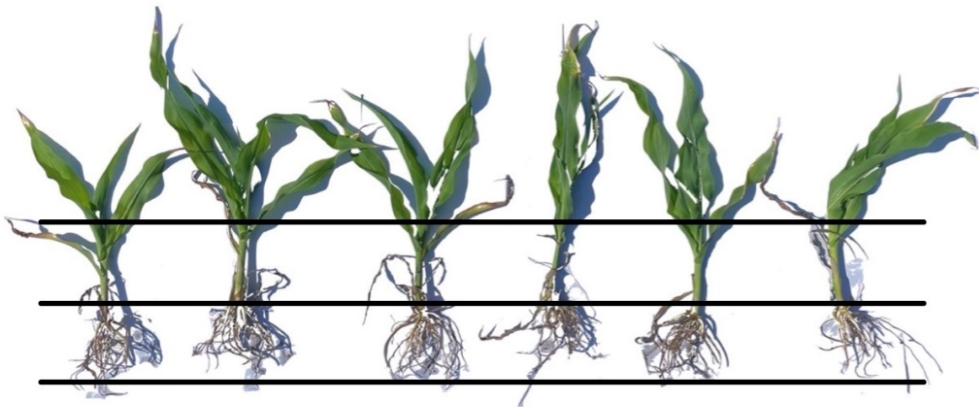
5.4. Rozvoj kořenového systému a průběh vegetace

Na obrázku 21 je možné pozorovat rozdíly mezi výškou rostlin a kořenovým systémem. U metody no-till lze pozorovat rostliny s nejvyšší vegetací. Tento rozdíl může být způsobený tím, že průměrný úhrn srážek v období května se pohyboval pouze okolo 8,9 mm a rostliny zaseté metodou no-till měli lepší přístup k vodě a živinám. Lepší přístup živin mohou obstarávat mykorrhizní houby, které jsou při pěstování kukuřice hlavně v suchém období velkým přínosem. Kypření právě přerušuje funkci mykorrhizy. Ta v průběhu vegetace zmenšuje stres rostlin při absenci vlhkosti a zlepšují dostupnost živin pro rostliny. (Janoušková, 2017).

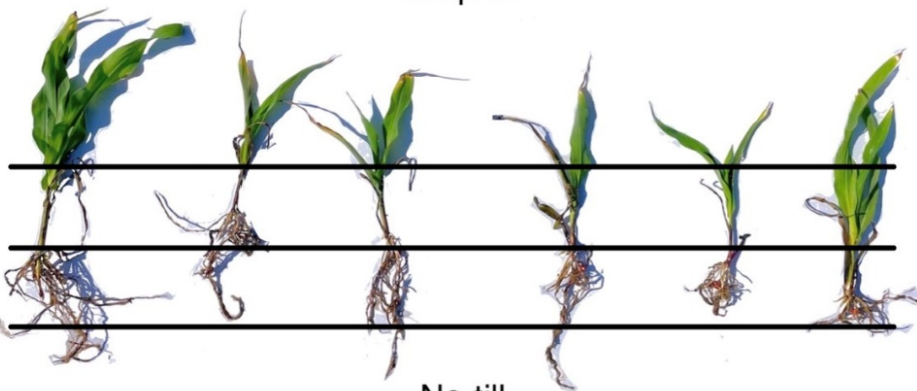
U Metody strip-till je na první pohled možné pozorovat, že rostliny jsou oproti ostatním technologiím nejmenší. To mohlo zapříčinit sucho po zasetí a pozdější termín setí oproti metodě s plošným kypřením. Dále je možné pozorovat kořenový systém, který má tendenci jít do větší hloubky. Tento jev by se dal vysvětlit uložením hnojiva při pásovém kypření do spodu prokypřeného pásu a rostlina tak měla tendenci se k tomuto hnojivu dostat. Ve větší hloubce by měla mít rostlina lepší přístup k vláze a živinám.

U metody plošného kypření je možné si všimnout mohutnějšího prokořenění, ale v celku by se rostliny pěstované pomocí této metody dali zařadit jako průměrné mezi metodami strip-till a no-till. Avšak tato metoda měla výhodu v dřívějším termínu zasetí a náskok této doby oproti ostatním metodám nelze na těchto rostlinách pozorovat.

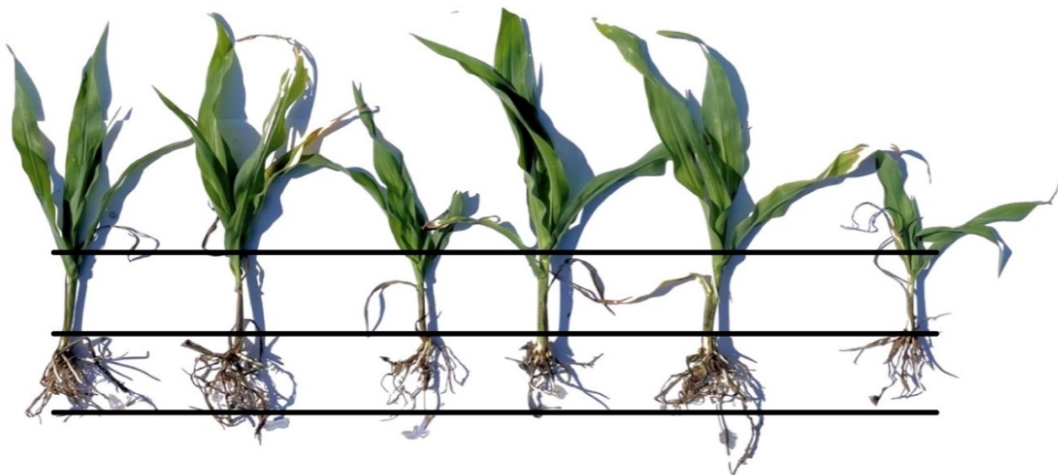
Plošné kypření



Strip-till



No-till



Obrázek 21: Rozdíl vegetace rostlin u jednotlivých metod

5.5. Vegetační index (NDVI)

Na mapách vegetačního indexu NDVI, na obrázku 22 lze pozorovat, že v termínu 28.5. 2023 má pozemek s plošným kypřením větší vegetační index oproti pozemku strip-till a no-till. Na pozemku pro strip-till a no-till nelze pozorovat rozdíl mezi těmito dvěma technologiemi. Příčinou může být pozdnější termín zasetí plodiny, nebo snaha rostliny o tvorbu kořenového systému namísto vegetace.



Obrázek 22: NDVI snímek pozemků z data 28.5 (cropsat.com)

Z druhé mapy z data 7.7. 2023 na obrázku 23 je možné pozorovat vegetační index, který snížil rozdíly a porost na pozemku pro strip-till a no-till vyrovnal rozdíly mezi těmito technologiemi. Naopak rostliny na pozemku s plošným kypřením začaly na části pozemku trpět určitým stresem. Ten by se dal přisuzovat suchu. Na pozemku pro strip-till a no-till opět nelze pozorovat významný rozdíl mezi těmito dvěma technologiemi.



Obrázek 23: NDVI snímek pozemků z data 7.7. (cropsat.com)

5.6. Výnosové mapy a průměrný výnos

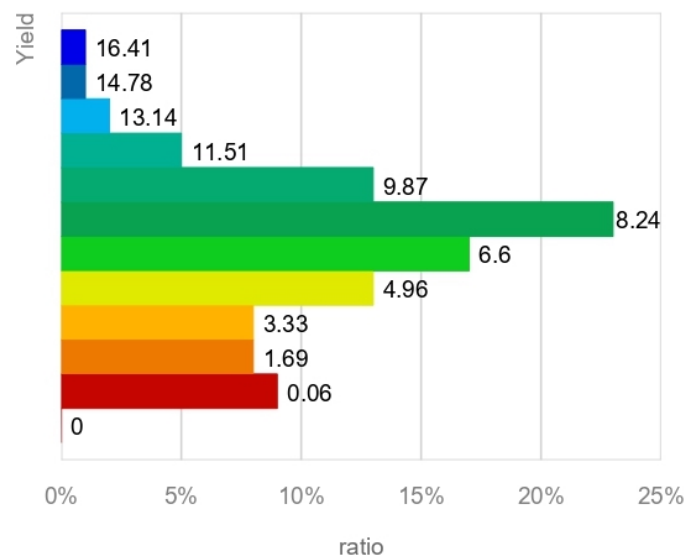
Na pozemku pro plošné kypření se bohužel nepodařilo získat výnosovou mapu, avšak je k dispozici průměrný výnos. Ten je spočítán z váhy zrna z posklizňové linky, kde se zrno sušilo. Průměrný výnos dosahoval $10,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ v mokřém a po vysušení na 14 % vlhkosti vycházel průměrný výnos na $9,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. U metody strip-till se průměrný výnos pohyboval okolo $8,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ u metody no-till byl výnos o $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ nižší.

Dle výnosových map na obrázcích 23 a 24 je možné pozorovat u metody no-till nevyrovnaný porost, kde na určitých místech výnos klesl až ke $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a místy dosahoval až $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.



Centroid (Lat,Lon) : 50.03544, 14.99061

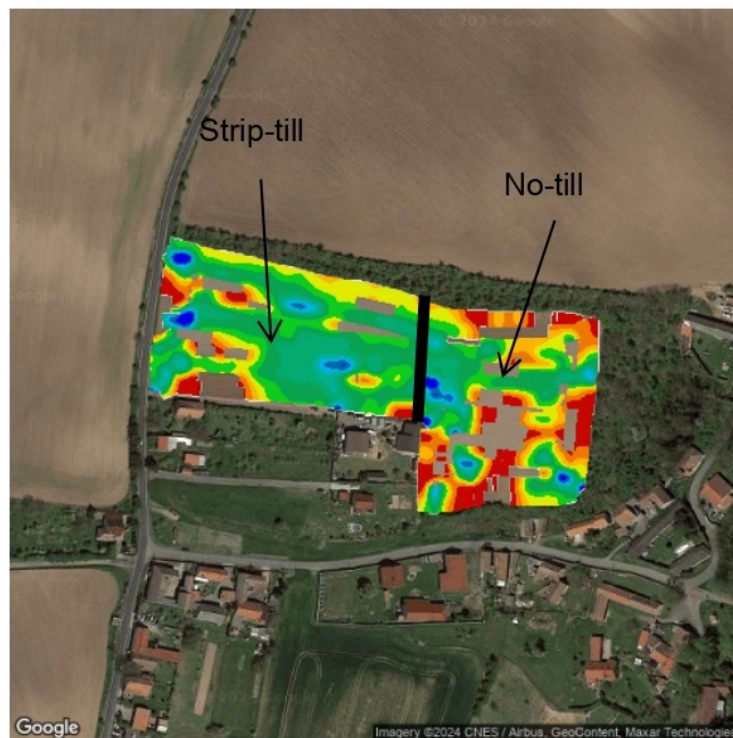
Legend



Units t/ha

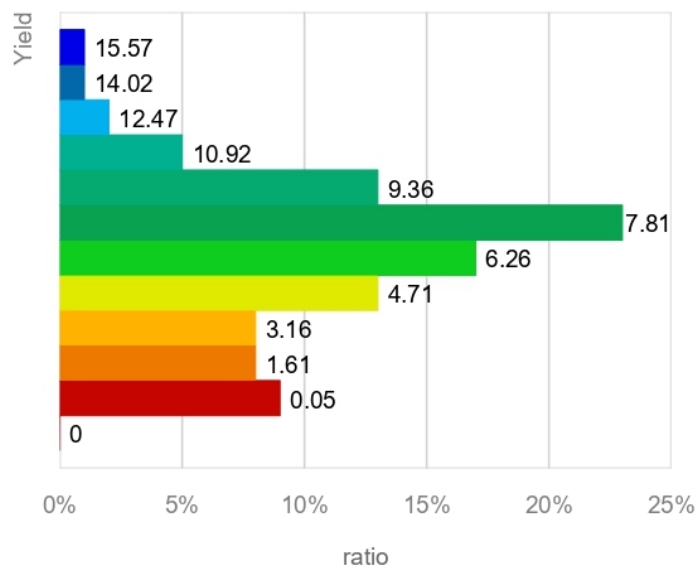
Legend specific to this report only

Obrázek 24: Výnosová mapa pozemku strip-till a no-till, pro výnos zrna v aktuální vlhkosti



Centroid (Lat,Lon) : 50.03544, 14.99061

Legend



Units t/ha

Legend specific to this report only

Obrázek 25: Výnosová mapa pozemku strip-till a no-till, pro výnos zrna v suchém stavu.

6. Diskuse

Výsledky tohoto měření z hlediska výnosu vycházejí ve prospěch metody plošného kypření. Pro potvrzení výsledků a dlouhodobého vlivu těchto technologií na půdu a výnos by bylo za potřebí provést opakování měření ve více letech ideálně s rozdělenými půdními bloky v rámci jednoho pozemku, aby byla zajištěna variabilita v rámci různorodosti půd.

Vyn a Raimbault, 1992, ve svém tříletém měření v Ontariu uvádějí, že významný rozdíl ve výnosu na písčito hlinitých půdách mezi plošným kypřením a pásovým zpracováním půdy strip-till není. Na těžších a jílovitých půdách tyto metody zaostávaly. Metoda strip-till vykazovala opožděný růst a mírné snížení výnosu. Metoda no-till ve dvou letech ze tří vykazovala nižší výnos, než metoda strip-till. Výsledky tohoto měření jsou spíše ve prospěch metody plošného kypření, avšak s tvrzením, že u metody no-till oproti metodě strip-till jsou výnosy nižší, lze souhlasit.

Dle Janouškové, 2017, mají pozitivní vliv na výnos u pěstování kukuřice mikorhizní houby, které zlepšují dostupnost živin pro rostliny hlavně v sušších obdobích. Kypření přerušuje vazby mezi těmito organismy a tak by se dalo očekávat jejich přínos hlavně u metody no-till. Míru rozvinutí těchto organismů silně ovlivňuje i způsob obhospodařování pozemku v minulých letech a pěstování meziplodin. Na pozemcích není známo organické složení půdy a tak tento přínos nelze potvrdit.

Rozdíl metod strip-till a no-till ve výnosu je nejspíše dán tím, že u metody no-till nebylo zapraveno oproti metodě strip-till hnojivo do prokypřeného pásu v podobě 200 kg·ha⁻¹ močoviny. Dále se nedá zjistit rozdíl mezi hnojením organickým slepičím hnojem u metody plošného kypření a minerálním hnojením u ostatních dvou metod. Špatný vliv na výnos může mít také opakované pěstování kukuřice (již 4 rokem) na pozemku pro strip-till a no-till.

Nevyrovnaný porost, který se nacházel u metody no-till, se nedá jednoduše zdůvodnit z mnoha aspektů, které hrají roli u metody přímého setí no-till. Tento jev by se mohl přisuzovat špatné dostupnosti živin v určitém místě, špatnému vzcházení z důvodu příliš velkého množství posklizňových zbytků, které bránili růstu plodin, nebo kontaktu semínka s půdou. Zakládání porostu kukuřice metodou no-till bylo prováděno prvním rokem, a tak se dá předpokládat, že je zde prostor pro zlepšování.

6.1. Vliv Technologií na půdu

Tyto technologie, na rozdíl od klasické orby, potřebují pro likvidaci plevelů více chemické ochrany, avšak vliv těchto technologií oproti orbě by měl zajišťovat lepší půdní strukturu. U metody plošného kypření byla prokázána lepší infiltrace vody, což je prospěšné v období, kdy je dostatek srážek. Naopak výhodou metody strip-till a no-till je hlavně na svažitých pozemcích zabránění vodní erozi a tím zabránění degradace půdy. U metody striptill a no-till by se dalo dosáhnout lepší infiltrace využitím meziplodin, které by zlepšovali půdní strukturu.

Během jednoho roku se nedaly pozorovat významné statistické rozdíly ve fyzikálních vlastnostech půdy, avšak penetrační odpor u pozemku, kde se metoda strip-till využívá již druhým rokem prokazatelně klesl. Tomu mohli pomoci půdní mikroorganismy, které tvoří kvalitní strukturu půdy. Náhlý pokles penetračního odporu v hloubce okolo 30 cm by se dal vysvětlit půdním profilem z dostupné fotografie půdního řezu viz. (obr. 25), kde se viditelně mění struktura půdy. Dalším aspektem pro změnu penetračního odporu může být počet přejezdů zemědělské techniky od provedení operace hloubkového kypření, jako rozmetání hnoje, zapravování hnoje a předset'ová příprava, které nakypřenou půdu opět utužují.



Obrázek 26: Řez půdou na pozemku pro strip-till a no-till (foto autor)

Dle Surajit, et al., 2019, vliv nulového zpracování půdy ve srovnání s konvenčním zpracováním půdy nemá vliv na fyzikální stav půdy, objemovou hmotnost a obsah vody v polní kapacitě. Toto tvrzení se je v souladu s naměřenými hodnotami.

Při odebírání půdních vzorků bylo možné pozorovat zvýšený výskyt žížal na pozemku pro strip-till a no-till. To je ukazatelem zlepšování půdní struktury. Toto tvrdí i Jaskulska, et al., 2020, který porovnával metodu strip-till oproti orbě. Uvádí, že hmotnost žížal v půdě se zvedla až 5x.

7. Závěr

V předložené práci byly porovnávány tři technologie. Pásové zpracování půdy strip-till, setí do nezpracované půdy no-till a plošné kypření. Z porovnávaných technologií vykazovala nejvyšší hodnoty z hlediska výnosu metoda plošného kypření. Její průměrná hodnota výnosu byla $9,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Metoda strip-till dosáhla průměrného výnosu $8,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a metoda no-till $7,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Kypření zajistilo lepší infiltraci vody a jemnější seťové lože zajistilo snazší vzcházení rostlin. Avšak na pozemku s plošným kypřením byly před zasetím provedeny 3 operace pro zpracování půdy, oproti metodě strip-till, kde byla provedena pouze jedna operace zpracování půdy pro nakypření pásů, při které bylo zapraveno hnojivo. U metody no-till pak žádné zpracování půdy neproběhlo. Sice nebylo možné před setím zapravit hnojivo do půdy, ale oproti metodě strip-till se snížily vstupní náklady na založení porostu, a to i u metody strip-till oproti metodě s plošným kypřením. Toto může být důležitý argument k používání těchto technologií. Dalším přínosem technologií strip-till a no-till je ochrana proti erozi půdy, hlavně na svažitých pozemcích. Tyto metody zabraňují smyvu úrodné ornice z pozemku a tím brání degradaci půdy, která je v dnešní době čím dál tím více probíraným tématem. Pěstování širokořádkových plodin je na erozně ohrožených pozemcích povoleno pouze těmito metodami. Toto by mělo být cílem každého zemědělce, který si chce udržet pole úrodné i pro budoucí generace. Navíc využívání těchto technologií s využitím meziplodin a látek podporujících půdní strukturu, může vést k zúrodnění těchto pozemků. U každé technologie je potřeba sledovat dění na pozemku, kde je daná plodina pěstována, sledovat její potřeby a dbát o zdravou strukturu půdy. Při využívání správných postupů by pěstování rostlin metodami strip-till a no-till mohlo časem dosahovat stejných výnosů jako u metody s intenzivním zpracováním půdy. Při pěstování kukuřice v sušších měsících lze očekávat lepší výsledky od metod strip-til a no-till, avšak podnebí v české republice zatím není tak nepříznivé, aby tyto technologie dosahovaly větší výnosnosti, jako je tomu například v suchých oblastech severní Ameriky. Je otázkou, zda technologie strip-till a no-till se jednou nerozvinou do takové míry, že budou schopny plnohodnotně nahradit technologii plošného kypření tak, jako tato technologie ve velké míře nahradila orbu. K tomu je potřeba tyto technologie zkoušet, zlepšovat a upravovat je pro podmínky našeho podnebí.

8. Citovaná literatura

- Štěpánek, P., 2023. *Regenerativní zemědělství je návrat k přírodě a jejím přirozeným vztahům*. [Online] Available at: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/management-a-legislativa/management/regenerativni-zemedelstvi-je-navrat-k-prirode-a-jejim-prirozenym-vztahum> [Přístup získán 2024].
- Bagarelo, V., Elric, D. E., Iovino, M., Sgroi, A., 2006. A laboratory analysis of falling head infiltration procedures for estimating the hydraulic conductivity of soils. *Geoderma*, Issue 135, pp. 322-334.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, Huete, A. R., 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2), pp. 95-120.
- Bouma, D., 2022. *Regulace plevelů v kukuřici*, Profi Press: Úroda.
- Brant, V., 2021. (Brant, *Základy zpracování půdy* (8): Zhutnění půdy a kypření podorničních vrstev půdního profilu, 2021). *Agromanual*.
- Brant, V., Bečka, D., Cihláč, P., Fuksa, P., Hakl, J., Holec, J., Chyba, J., Jursík, M., Kobzová, D., Krček, V., Kroulík, M., Kusá, H., Novotný, I., Pivec, J., Prokinová, E., Růžek, P., Smutný, V., 2016. *Pásové zpracování půdy (strip Tillage)*. Praha: Profi Press s. r. o..
- Huislová, P., Vopravil, J., Khel, T., Matoušková, Š., Havelková, L, 2017. *Mrazy a jejich vliv na půdní vlastnosti*. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.,
- Hůla, J. a Procházková, B., 2008. *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press.
- Janoušková, M., 2017. Může arbuskulární mykorhiza pomoci v zemědělské produkci?. *Živa*, Issue 5, pp. 237-240.
- Jaskulska, I., Romaneckas, K., Jaskulski, D., Wojewódzki, P., 2020. A Strip-Till One-Pass System as a Component of Conservation Agriculture. *Agronomy*.
- Kovaříček, P., Hůla, J., Nýč, M., Abrham, Z., Pražan, R., Čedík, J., Gerndtová, I., Stehlík, M., Vlašková, M., 2017. *Užití kypřičů v technologiích zpracování půdy bez orby*. Praha 6-Ruzyně: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Drnovská 507.
- Krsek, M., 2014. *Význam půdních mikroorganismů*, Telč: Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita.

- Kumhála, F., Heřmánek, P., Mašek, J., Kvíz, Z., Honzík, I., 2007. *Zemědělská technika stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. Praha.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Křen, J., Neudert, L., Procházková, B. a Smutný, V., 2015. *OBEČNÁ PRODUKCE ROSTLINNÁ – 1. ČÁST.* Brno: Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta .
- Lhotský, J., Váchal, J., Ehrlich, P., 1984. *Soustava opatření k zúrodnování zhutněných půd.* Praha: ÚVTIZ.
- Licht, M. A. a Al-Kaisi, M., 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, pp. Pages 233-249.
- Mentges, M. I., Reichert, J. M. Rodrigues, M.F., Awe, G. O., Mentges, L. R., 2016. Capacity and intensity soil aeration properties affected by granulometry, moisture, and structure in no-tillage soils. *Geoderma*, Issue 263, pp. 47-59.
- Morris, N. L., Miller, P., Orson, J. a Froud-Williams, R., 2007. Soil disturbed using a strip tillage implement on range of soil types and the effects on sugar beet establishment. *Soil Use and Management*, p. 428–436.
- Newton, p., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., Colleen, J., 2020. *What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes.* [Online], [cit. 2024–3–11] Dostupné z: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.577723/full?&utm_source=Em
- Novák, P. a Mašek, J., 2017. Zpracování půdy a založení porostů. *Agrojournál*.
- Pittelkow, C. M., Pittelkow, C. M., Liang, X., Linqvist, B. A., van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R. T., van Kessel, Ch., 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, pp. 365-368.
- Pokorný, E, Šarapatka, B., Hejátková, K., *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka.* Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2007. ISBN 80-903548-5-8.
- Ramesh, V., Balloli, S.S., Sharma, K.L., Ramachandran, K., Korwar, G.R., Ramakrishna, Y.S., 2008. Characterization of Soil for Physical Properties under Different Land Use Systems. *Dryland Agricultural Research and Development*, pp. 102-109.
- Richter, R., 2005. *Kukuřice*, Brno: Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně.

- Sorokina, S. Y., Sorokin, N. S., Sychev, S. M. a Okorokova, O. A., 2020. Effectiveness of preparations for increasing the activity of plant growth processes at NO-TILL technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Strickler, D., 2024. *Manuál regenerativního zemědělství*. 1. české vydání editor Praha: Walden Press.
- Surajit, M., Debashis, Ch., Kalikinkar, B., Pramila, A., Dharamvir, S. R., 2019. A global analysis of the impact of zero-tillage on soil physical condition, organic carbon content, and plant root response. *Land Degradation and Development*, pp. 557-567.
- Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., Drábek, O., 2004. *Pedologické praktikum*. dotisk 2. vydání editor Praha: Česká zemědělská univerzita, katedra pedologie a geologie AF.
- Vyn, T. J. a Raimbault, B. A., 1992. Evaluation of strip tillage systems for corn production in ontario. *Soil and Tillage Research*, pp. 163-176.
- Zimolka, J., 2008. *Kukuřice - hlavní a alternativní užitkové směry*. 1. editor Praha: Profi Press.
- Zimolka, J., 2008. *Speciální produkce rostlinná – rostlinná výroba (Polní a zahradní plodiny, základy pícninářství)*. 2. editor Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Souprava traktoru CASE IH Quadtrac s kypričem Horsch Terrano FM (Zdroj: Horsch.com)..	9
Obrázek 2: Souprava traktoru Case IH Puma a Kverneland kultistrip	11
Obrázek 3: Operace přímého setí No-till secím strojem Sly Agrisem a traktor JCB Fastrac (foto autor)..	15
Obrázek 4: Průřez půdy regenerativního zemědělství s kořenovým systémem meziplodin, který má vliv na půdní vlastnosti (localfutures.org).....	18
Obrázek 5: Poloha obou pokusných pozemků navzájem na mapě, pozemek č.1 nalevo, pozemek č.2 napravo (Zdroj: Cropsat.com)	19
Obrázek 6: Proces měření pomocí penetrometru, zatlačování kužele do půdy (foto autor)	22
Obrázek 7: Měření vlhkosti vlhkoměrem mimo válec, před měřením doby infiltrace. (foto autor).....	24
Obrázek 8: Odebírání vzorků do Kopeckého válečků pomocí násadce (foto autor)	26
Obrázek 9: Neporušené půdní v zorky v Kopeckého válečcích ve fázi nasákání na filtračním papíru přiklopené hodinovým sklem (foto autor).....	27
Obrázek 10: Odebraný vzorek rostliny z pozemku pro no-till s balem půdy okolo kořenového systému (foto autor)	30
Obrázek 11: Ukázka programu CropSat s nevhodným snímkem družice pro vytvoření mapy vegetačního indexu s červeně označenými pozemky (cropsat.com).....	31
Obrázek 12: Obrázek sklízecí mlátičky Fendt Ideal s ilustrací výnosové mapy v pozadí (technickytydenik.cz)	32
Obrázek 13: Graf závislosti penetračního odporu na hloubce půdy z jarního měření	33
Obrázek 14: Graf závislosti penetračního odporu na hloubce půdy z podzimního měření	34
Obrázek 15: Krabicový graf naměřených hodnot momentální vlhkosti	38
Obrázek 16: Krabicový graf naměřených hodnot objemové hmotnosti redukované.....	39
Obrázek 17: Krabicový graf naměřených hodnot retenční vodní kapacity.....	40
Obrázek 19: Krabicový graf naměřených hodnot pórovitosti.....	41
Obrázek 20: Rozdíl vegetace rostlin u jednotlivých metod	43
Obrázek 21: NDVI snímek pozemků z data 28.5 (cropsat.com)	44
Obrázek 22: NDVI snímek pozemků z data 7.7. (cropsat.com)	45
Obrázek 23: Výnosová mapa pozemku strip- till a no-till, pro výnos zrna v aktuální vlhkosti.....	47
Obrázek 24: Výnosová mapa pozemku strip- till a no-till, pro výnos zrna v suchém stavu.....	48
Obrázek 25: Řez půdou na pozemku pro strip-till a no-till (foto autor)	51

10. Seznam Tabulek

Tabulka 1: kritické hodnoty objemové hmotnosti redukované vyjadřující škodlivé utužení půd (Lhotský et al., 1984)	28
Tabulka 2: Hodnoty pórovitosti pro ulehnutí půd (Valla, et al., 2004).....	29
Tabulka 3: Hodnoty odhadu zastoupení organického podílu podle specifické hmotnosti (Valla, et al., 2004)	29
Tabulka 4: Analýza rozptylu ANOVA pro jarní a podzimní měření na pozemku strip-till a no-till	35
Tabulka 5: Analýza rozptylu ANOVA pro jarní a podzimní měření na pozemku s plošným kypřením.....	36
Tabulka 6: Studentův T test prokazující statisticky významný rozdíl mezi měřením metod na podzim	36
Tabulka 7: Studentův T test prokazující statisticky významný rozdíl mezi měřením metod na jaře	36
Tabulka 8: Analýza rozptylu ANOVA pro naměřené hodnoty momentální vlhkosti	38
Tabulka 9: Analýza rozptylu ANOVA pro naměřené hodnoty objemové hmotnosti redukované	39
Tabulka 10: Analýza rozptylu ANOVA pro hodnoty měření retenční vodní kapacity	40
Tabulka 11: Analýza rozptylu ANOVA pro naměřené hodnoty pórovitosti	41