

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



**Organizace přejezdů po pozemcích jako opatření
proti nežádoucímu zhutnění půdy**

Diplomová práce

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

Autor práce: Bc. Václav Linda

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Václav Linda

Zemědělská technika

Název práce

Organizace přejezdů po pozemcích jako opatření proti nežádoucímu zhutnění půdy

Název anglicky

Organization of passes as a measure against unfavorable soil compaction

Cíle práce

Cílem diplomové práce je návrh organizace pohybu zemědělské techniky po pozemcích s cílem minimalizovat intenzitu přejezdů. Návrhy budou prakticky ověřeny nasazením techniky a sledováním dopadů opatření na fyzikální vlastnosti půdy a biometrické ukazatele porostů polních plodin.

Metodika

Práce bude rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část bude obsahovat rozbor literárních pramenů, které se týkají problematiky intenzity přejezdů, optimalizace trajektorií, technologiím, redukcí četnosti přejezdů, zhutnění půdy a rizikům s tím spojených. Budou navrženy inovativní postupy pohybu techniky po pozemku s cílem minimalizovat přejezdy a negativní dopady utužení půdy na biometrické ukazatele plodin.

1. Zpracování literární rešerše zaměřené na zpracování půdy, intenzitu přejezdů po pozemcích a optimalizaci jízd.
2. Návrhy pohybu techniky po pozemcích.
3. Realizace polních pokusů s omezenými přejezdy a založení kontrolních ploch se simulací přejezdů.
4. Hodnocení fyzikálních vlastností půdy a infiltračních poměrů při rozdílné organizaci pohybu techniky.
5. Hodnocení biometrických ukazatelů rostlin na základě zátěže půdy přejezdy.
6. Hodnocení výnosových ukazatelů a zhodnocení ekonomických dopadů.
7. Diskuse výsledků a závěr.

Doporučený rozsah práce

55 až 65 stran včetně tabulek, obrázků a grafů

Klíčová slova

Zpracování půdy, přejezdy; utužení půdy; infiltrace; kořenový systém; výnos

Doporučené zdroje informací

- BRANT, Václav; KROULÍK, Milan; KRČEK, Vítězslav; KRÁSA, Josef; KAPIČKA, Jiří; HAMOUZ, Pavel; LUKÁŠ, Jan; ZÁBRANSKÝ, Petr; ŠKEŘÍKOVÁ, Michaela; ŠKEŘÍK, Josef; JOB, Zdeněk; LANG, Jan; PETRUS, David; ČESKO. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, ; AGRA ŘISUTY (FIRMA). *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent, s.r.o., 2020. ISBN 978-80-87111-81-9.
- HEEGE, Hermann J. *Precision in crop farming : site specific concepts and sensing methods: applications and results*. Dordrecht: Springer, 2013. ISBN 978-94-007-6759-1.
- KROULÍK, M. – BRANT, V. – ZÁBRANSKÝ, P. – ŠKEŘÍKOVÁ, M. *Implementace navigačních technologií a aplikací s podporou GPS*. 2019, Praha: Agrární komora České republiky, 56 s. ISBN: 978-80-88351-04-7.
- ZHANG, Qin. *Precision agriculture technology for crop farming*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 9781482251081.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 13. 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 12. 02. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Organizace přejezdů po pozemcích jako opatření proti nežádoucím zhutnění půdy" 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 31.3.2024

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mě bakalářské práce doc. Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, připomínky, pomoc při měření vzorků a trpělivost. Dále bych také rád poděkoval svým blízkým a rodině za podporu a trpělivost.

Organizace přejezdů po pozemcích jako opatření proti nežádoucímu zhutnění

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá organizací přejezdů po pozemcích jako opatření proti nežádoucímu zhutnění. Cílem této práce bylo uplatnění optimalizovaných jízd CTF po pozemcích a následné vyhodnocování rostlin cukrové řepy a ječmene jarního v průběhu vegetace od zasetí až po sklizeň. Posuzování rostlin probíhalo dle počtu přejetí řádku, na kterém rostlina rostla. První část teoretické práce je zaměřena na intenzitu přejezdů po pozemcích, zhutnění půdy a erozi. Druhá část teoretické práce se zaměřuje na optimalizaci trajektorií a systém Control Traffic Farming (CTF). V praktické části jsou vyhodnoceny výsledky jednotlivých odběrů rostlin a jejich porovnání.

Klíčová slova:

Optimalizace jízd, přejezdy; zhutnění půdy; infiltrace; kořenový systém; vývoj rostlin

Organization of passes as a measure against unfavorable soil compaction

Abstract

This thesis deals with organizing crossings over land as a measure against undesirable soil compaction. The aim of this work was to implement optimized Controlled Traffic Farming (CTF) routes across the land and subsequently evaluate the growth of sugar beet and spring barley plants throughout the vegetation period from sowing to harvesting. Plant assessment was conducted based on the number of passes over the row where the plant grew. The first part of the theoretical work focuses on the intensity of crossings over land, soil compaction, and erosion. The second part of the theoretical work focuses on trajectory optimization and the Control Traffic Farming (CTF) system. In the practical part, the results of individual plant samples are evaluated and compared.

Keywords:

Crossings optimization, passes, soil compaction, infiltration, root system, plant development

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce	12
3	Metodika	13
4	Intenzita přejezdů po pozemcích	14
4.1	Intenzita přejezdů	14
4.2	Zhutnění půdy a jeho negativní dopady	15
4.3	Vliv pohybů strojů na zhutnění půdy	17
4.4	Zhutnění půdy v ČR.....	18
4.5	Vliv zhutnění na půdní prostředí.....	19
4.6	Eroze	21
4.6.1	Větrná eroze.....	23
4.6.2	Vodní eroze	24
4.7	Vliv pásových jednotek a pneumatik na půdu	25
4.7.1	Pásové jednotky	25
4.7.2	Pneumatiky	26
5	Optimalizace pohybů zemědělských strojů po pozemcích	28
5.1	Optimalizace trajektorií jízd.....	28
5.2	Control Traffic Farming (CTF).....	30
5.3	CTF na nejvyšší úrovni pomocí traktorového nosiče NEXAT	34
5.4	Protierozní optimalizace trajektorií.....	36
6	Pohyb techniky po pozemcích	38
6.1	Dosavadní pohyb techniky	39
6.2	Optimalizace pohybu techniky.....	41
6.2.1	Pozemek 1	42
6.2.2	Pozemek 2	46
7	Měření vývoje rostlin na jednotlivých pozemcích	50
7.1	Vývoj rostlin pozemek 1	50
7.1.1	Odběr 30.5.2023	53
7.1.2	Odběr 4.8.2023	58
7.2	Vývoj rostlin pozemek 2	65
7.2.1	Odběr 30.5.2023	68
7.2.2	Odběr 17.7.2023	76

7.2.3	Odběr 17.9.2023	84
8	Diskuse.....	90
9	Závěr	91
10	Seznam obrázků.....	92
11	Seznam grafů	95
12	Seznam tabulek.....	97
14	Citovaná literatura	98

1 Úvod

Zemědělství, jakožto základní zdroj obživy pro lidskou populaci po tisíciletí, zůstává klíčovým odvětvím i v dnešní době. Nicméně, paradoxně s rostoucím počtem obyvatel planety, pozorujeme výrazný pokles počtu lidí zaměstnaných v zemědělském sektoru. Tento trend vede k nezbytnosti hledání a implementaci nových technologií, které by mohly nahradit lidskou práci a zefektivnit procesy v zemědělství. Automatizace a vývoj navigačních systémů se stávají stěžejními oblastmi inovací v zemědělském průmyslu, a právě tato oblast může přilákat novou generaci k zájmu o zemědělskou činnost. Důležitost této transformace spočívá nejen ve schopnosti řídit stroje, ale také v dovednosti správně je nastavit, ovládat a analyzovat data, která tyto stroje generují.

Česká republika se vyznačuje pestrou škálou terénních podmínek a klimatických charakteristik, což znamená, že zde není jednotný recept na úspěšné hospodaření. Současné technologie používané v zemědělství vycházejí z dlouhodobých zkušeností a tradic, které se předávaly z generace na generaci. Každá éra přinesla nové výzvy a zemědělci museli neustále konkurovat v těžkých ekonomických podmínkách. V České republice je více než polovina zemědělské půdy ohrožena vodní erozí a desetina z ní je již trvale znehodnocena. Z tohoto důvodu je klíčové uplatňovat opatření, která minimalizují další degradaci cenné půdy a předcházejí nadměrnému zhutňování, které může mít zničující dopady na půdní ekosystémy.

V rámci teoretické části této práce se zaměříme na intenzitu přejezdů po pozemcích a jejich vliv na zhutnění půdy. Začneme rešerší o významu intenzity přejezdů a následně zhutnění půdy a jeho negativních dopadech. Dále se zaměříme na vliv pohybu strojů na proces zhutnění s důrazem na situaci v České republice. Nezapomene se ani na dopady zhutnění půdy na půdní prostředí, včetně problematiky eroze a vlivu pásových jednotek a pneumatik na půdu.

Dále se budeme věnovat optimalizaci pohybů zemědělských strojů po pozemcích. Analyzujeme možnosti optimalizace trajektorií jízd a představíme koncept "Control Traffic Farming" (CTF) a jeho aplikaci na vyšší úrovni pomocí technologie traktorového nosiče NEXAT. Závěr teoretické části této práce bude věnován protierozní optimalizaci trajektorií s cílem minimalizovat negativní vlivy pohybů strojů na půdu.

V praktické části práce provedeme analýzu dosavadního pohybu techniky po pozemcích a navrhujeme optimalizované trajektorie pro konkrétní pozemky. Dále provedeme měření vývoje rostlin na těchto pozemcích v různých časových úsecích. Bude zjišťován vliv podle počtu přejetí pozemku zemědělskými stroji na vývoj rostlin. Na závěr praktické části této práce budou rostliny odebrané z odlišně přejetých řádků porovnávány a vyhodnocovány.

Na závěr práce provedeme shrnutí dosažených poznatků a jejich diskusi, abychom přispěli k lepšímu porozumění problematice pohybů strojů po zemědělských pozemcích a jejich vlivu na zhutnění půdy a následného vývoje rostlin.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je návrh organizace pohybu zemědělské techniky po pozemcích s cílem minimalizovat intenzitu přejezdů. Návrhy budou prakticky ověřeny nasazením techniky a sledováním dopadů opatření na fyzikální vlastnosti půdy a biometrické ukazatele porostů polních plodin.

3 Metodika

Práce bude rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část bude obsahovat rozbor literárních pramenů, které se týkají problematiky intenzity přejezdů, optimalizace trajektorií, technologiím, redukcí četnosti přejezdů, zhutnění půdy a rizikům s tím spojených. Budou navrženy inovativní postupy pohybu techniky po pozemku s cílem minimalizovat přejezdy a negativní dopady utužení půdy na biometrické ukazatele plodin.

4 Intenzita přejezdů po pozemcích

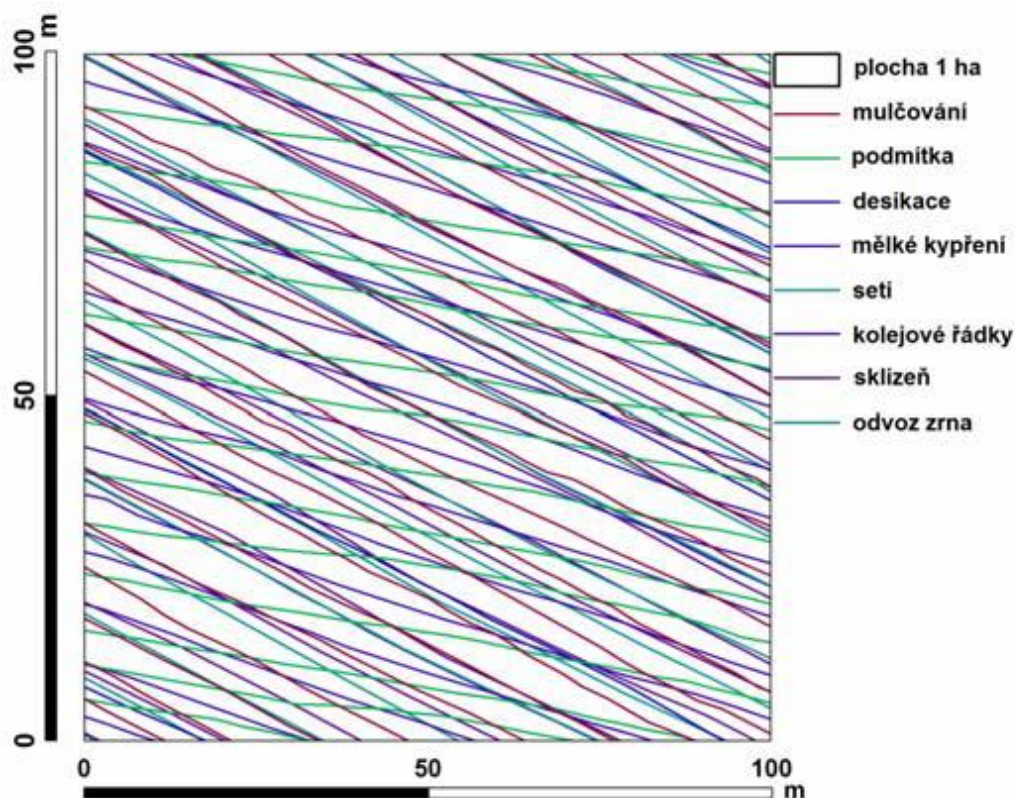
V současné éře lze pozorovat, že stále větší skupina zemědělců projevuje zvýšený zájem o udržitelný přístup k ochraně své zemědělské půdy, což reflektuje rostoucí povědomí o významu trvale udržitelných zemědělských postupů. (Kroulík, 2019) identifikuje mezi hlavními hrozbami pro půdu zejména zhutnění a erozi. V kontextu České republiky vzniká významný problém v podobě vodní eroze, což nese s sebou degradaci obdělávané půdy a negativní dopady na její kvalitu.

Paralelně s vodní erozí, jak zdůrazňuje (Brant et al., 2020), mohou procesy zhutňování půdního profilu na povrchu a utužení v důsledku orby pod povrchem vést k narušení a ztrátě struktury půdy. Tato narušení následně mohou vyvolat celou řadu komplikací, včetně snížené úrodnosti, ztráty živin a obecného poklesu v produktivitě zemědělských ploch. Ve světle těchto skutečností se stává stále naléhavější potřeba, aby zemědělci přijímali aktivní opatření směřující k ochraně své půdy. To zahrnuje nejen používání moderních technologií, ale také pečlivé plánování plodin a implementaci agroekologických postupů. Důležitá je spolupráce s odborníky, kteří mohou přinést odbornou perspektivu, a také využívání osvědčených postupů s cílem dosáhnout efektivního a udržitelného řešení komplexních výzev spojených s ochranou půdy v rámci zemědělského sektoru.

4.1 Intenzita přejezdů

Problematika častých přejezdů zemědělské techniky po pozemku představuje závažný problém, zejména v kontextu zhutňování půdy. Dlouhodobé nežádoucí účinky takového zhutnění lze pozorovat po dobu několika let. Jak ukazuje (Obrázek č. 1), minimalizační technologie zpracování půdy má potenciál snížit negativní dopady. Trajektorie jízd strojů, které tato technologie využívá, dosáhly pokrytí pozemku 65,2 %, což představuje významné zlepšení oproti konvenčnímu zpracování orbou, kde dosahuje pokrytí až 88,2 % půdy. (Kroulík, 2019) zdůrazňuje, že opakovaný přejezd jednoho místa představuje klíčový problém, který může výrazně zvýšit nežádoucí účinky spojené se zhutněním půdy. Je tedy

evidentní, že použití minimalizačních technologií může přispět k udržitelnějšímu zemědělskému hospodaření a snížit negativní environmentální dopady.



Obrázek č. 1 – Pohyb po ploše 1 ha při použití minimalizační technologie (Kroulík, 2019)

4.2 Zhutnění půdy a jeho negativní dopady

Půda představuje klíčový a nezastupitelný zdroj obživy pro celou lidskou populaci, a proto je zásadní jednat s ní šetrně a starat se o ni s odpovědností srovnatelnou s péčí o vlastní tělo. Bohužel, v současné době často podceňujeme význam půdy a nevyjadřujeme jí dostatečnou úctu a respekt, což může mít dlouhodobé negativní důsledky pro kvalitu půdy pro budoucí generace. Každoročně dochází k postupné ztrátě orných půd a polí, které ustupují tlaku průmyslových hal, dopravních komunikací a expanzi městských oblastí, což znamená nenávratnou ztrátu těchto ploch.

V době současného velkovýrobního přístupu jsme stále více závislí na používání rozsáhlých zemědělských strojů s vysokým výkonem motoru, což vede ke zvýšení hmotnosti těchto strojů a negativně ovlivňuje půdu. Tento jev, známý jako technogenní faktor vzniká zhutněním půdy při průjezdu těžkých strojů (Rataj, 2017).

Překročí-li technogenní zhutnění kritickou hranici, může dojít ke snížení výnosu pěstovaných plodin. Zde však hrají roli různé faktory, s důrazem na vlhkost půdy. Na rozdíl od genetického zhutnění, které je determinováno samotnou povahou půdy, je klíčovou příčinou technogenního zhutňování tlak na půdu při průjezdech zemědělských strojů. Rušení struktury půdy může rovněž nastat v důsledku prokluzů kol a pásových jednotek pojezdových mechanismů. Zdrojem technogenního zhutnění může být i narušování struktury půdy pracovními nástroji zemědělských strojů – například čepele pluhů mohou přispět k formování zhutnělé vrstvy pod dnem orby, zejména při opakovaném orání do stejné hloubky (Kumhála et al., 2013).

Abychom minimalizovali negativní dopady zemědělských strojů na půdu, lze uplatnit několik technických opatření, jak uvádí (Rataj, 2017):

- Využití speciálních nízkotlakých pneumatik
- Aplikace variabilního huštění pneumatik
- Rovnoměrné rozložení hmotnosti na více náprav
- Implementace dvojmontážních pneumatik
- Zavedení pásových podvozků.

Zhutnění půdy jako výsledek častých přejezdů po pozemku představuje klíčový problém s potenciálními negativními důsledky pro půdní prostředí, ekonomiku pěstování a energetickou náročnost zpracování půdy. Negativní dopady zhutnění se mohou odrazit ve zhoršení kvality půdy, nárůstu nákladů na pohonné hmoty a energetické náročnosti při obdělávání půdy. Vlivy zhutnění mohou také zasáhnout rostliny, které se vyvíjejí v půdě poškozené tímto způsobem (Javůrek, Vach, 2008).

Dopady zhutnění půdy jsou patrné zejména v obdělávané vrstvě, těsně pod ní a ve větších hloubkách. Vytvořená vrstva zhutněné půdy může dosahovat tloušťky od jednotek do stovek milimetrů a její rozměry jsou ovlivněny zejména hmotností pohybujících se strojů a vlhkostí půdy (Batey, 2009). Tlak, který působí na půdu, a tloušťka vytvořené vrstvy jsou klíčovými faktory ovlivňujícími rozsah a intenzitu zhutnění. Je důležité vědět, že zhutnění půdy může mít širší důsledky na celkovou půdní strukturu a zemědělskou produkci. Abychom minimalizovali tuto problematiku, je nezbytné přijmout vhodná opatření, která budou respektovat potřeby půdy a zároveň umožní udržitelný a efektivní zemědělský přístup (Javůrek, Vach, 2008).

4.3 Vliv pohybů strojů na zhutnění půdy

Vystavení půdy různým vnějším vlivům má značný dopad na její vlastnosti a zemědělskou produktivitu. Jedním z klíčových faktorů ovlivňujících půdu je pojezd zemědělské techniky, který může zhoršovat fyzikální vlastnosti půdy, a nakonec vést k zhutnění známému jako pedokompakce. Tato nežádoucí situace je v rozporu s principy trvale udržitelného zemědělství a přináší vyšší finanční náklady na zpracování půdy, zvýšenou náchylnost k erozi a snížení celkového výnosu. Důsledky zhutnění půdního prostředí patrně ovlivňují kořenový systém rostlin například cukrové řepy, u kterých může dojít k mrcasatění bulv nebo brambor, u kterých se mohou objevit deformace hlíz. Plodiny s kulovým kořenem, jako řepka olejka, sója a slunečnice, pak mohou začít vyvíjet kořenový systém horizontálně a deformovat se, což vede k omezenému příjmu vody a živin a ztrátám výnosu (Polcar et al., 2021).

Negativní důsledky zhutnění půdy se projevují v několika aspektech. Významným problémem je zvýšení energetické náročnosti zpracování půdy a degradace její kvality, což negativně ovlivňuje i kvalitu setí. Zhutnělá půda vykazuje omezenou schopnost absorbovat vodu z dešťových srážek, voda stékající po povrchu zhutnělé půdy rovněž zvyšuje erozní riziko na zemědělských plochách. Při vyhodnocování stavu půdy je nezbytné rozlišovat pojmy zhutnění a utužení. Termín zhutnění označuje nežádoucí stav půdy, charakterizovaný vysokou objemovou hmotností a nízkou celkovou pórovitostí. Utužení se využívá k účelným

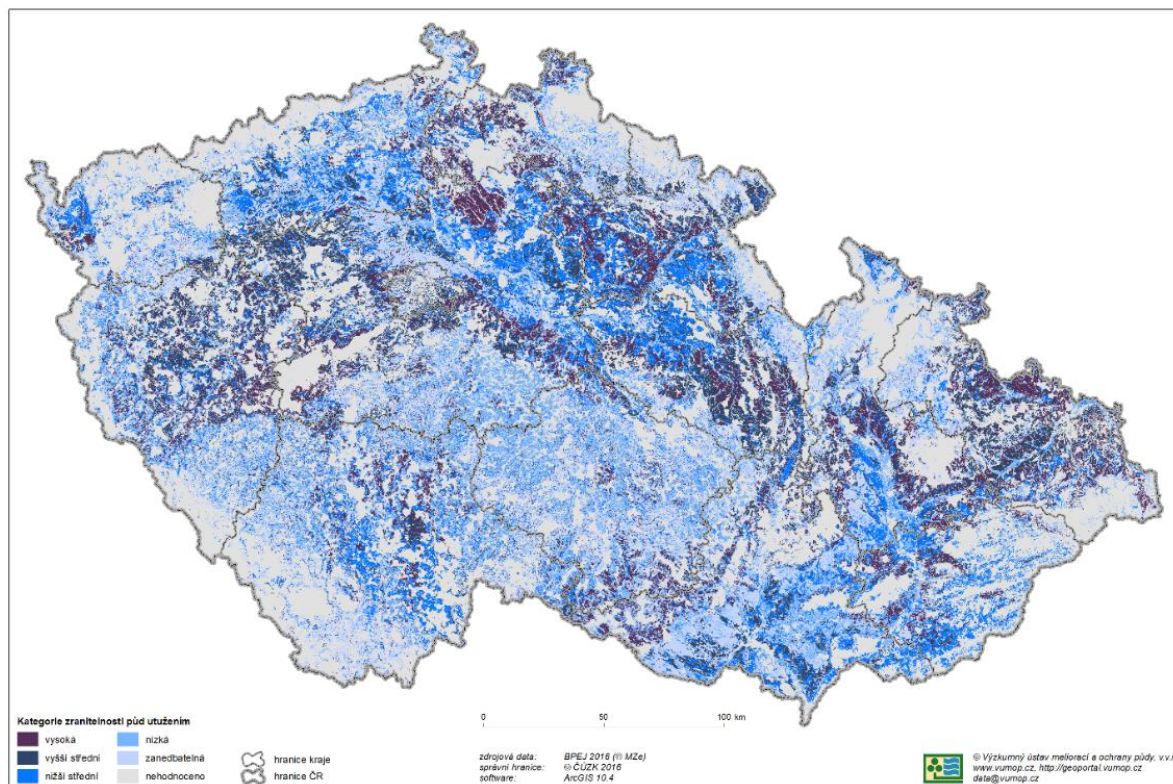
opatření pro zlepšení nadměrně kypré půdy, buď prostřednictvím válení nebo použitím pěchů (Kumhála et al., 2013).

V důsledku zhutnění půdy se ovlivňují navzájem interagující systémy vlastností stroje, pneumatik a půdy. Hmotnost zařízení ovlivňuje zatížení kol, které působí na půdu. Pneumatiky mají významný vliv na konečnou velikost tlaku a jeho rozložení na půdu. Hmotnost stroje je přenášena na půdu omezenou plochou vymezenou pneumatikami. Částečně lze regulovat plochu otisku pomocí změny tlaku v pneumatice. Větší zatížení stroje se projevuje na půdě, zejména pokud je půda v oslabeném stavu, například při vysoké vlhkosti (BOTTA et al., 2008). Dle (Shahgholi, Abuali, 2015) výsledky pokusu ukazují, že se zvyšující vlhkostí půdy lineárně zvyšuje její zhutnění. Zemědělci jsou však často nuceni přizpůsobit své postupy vzhledem k půdnímu typu, vlastnostem půdy a jejímu momentálnímu stavu, zejména v případě vlhkosti půdy.

4.4 Zhutnění půdy v ČR

Aktuální stav zhutnění půdy vznikl v důsledku dlouhodobého uplatňování jednostranných a nevhodných opatření, které vedly ke zvýšení intenzity zemědělské činnosti v minulosti. Příčiny tohoto problému spočívaly především v neúměrných dávkách špatně vybraných minerálních hnojiv, nedostatku organické hmoty v půdě, nadměrném využívání těžké mechanizace a dalších faktorech. Nedostatečné kompenzační opatření, zejména prevence a agrobiologická opatření k prevenci zhutnění půdy, nebyly v minulosti dostatečně aplikovány. V průzkumu zhutnění půdy provedeném v 80. letech minulého století bylo zjištěno, že přibližně 38 % orné půdy bylo nadměrně zhutněno. Aktuální odhady publikované v Situační a výhledové zprávě Ministerstva zemědělství ČR naznačují, že dnes je až 45 % zemědělské půdy nadměrně zhutněno. Z toho 15 % představuje genetické zhutnění způsobené přirozenými vlastnostmi těžkých půd, zatímco zbytek je technogenní zhutnění vyplývající z nevhodného způsobu strojního obdělávání půdy. Hlavní příčiny současného zhutnění půdy jsou stále antropogenního původu, přičemž aktuální situace je komplikovanější kvůli dlouhodobé degradaci půdy kompakcí v podorničních horizontech. Zhutnění v těchto hloubkách je velmi odolné a může být odstraněno pouze v dlouhodobém

horizontu. Nicméně zemědělské podniky se této problematice zatím věnují minimálně. Tendence k rozšíření rozsahu a zesílení charakteru půdní degradace naznačuje, že fenomén půdního zhutnění se nadále rozvíjí (Javůrek, Vach, 2008).



Obrázek č. 2 – Potenciální zranitelnost spodních vrstev zemědělské půdy zhutněním (Utžení půdy ČR - eAgri, 2023)

4.5 Vliv zhutnění na půdní prostředí

Výzkumné zjištění jednoznačně prokázalo, že proces zhutňování půdy má dalekosáhlé dopady na její fyzikální vlastnosti. Tato změna vede k zvýšení objemové hmotnosti půdy, současně snižuje pórovitost, zejména ovlivňující nižší objem nekapilárních pórů. Při vyšším stupni zhutňování dochází k destrukci půdních agregátů, což má za následek negativní vliv na celkové fyzikální charakteristiky půdy (Javůrek, Vach, 2008).

Takové změny zhoršují propustnost půdy pro vodu a způsobují alterace v obsahu vody v rámci půdního horizontu, což ovlivňuje pohyb vody v půdě. Současně ovlivňuje vztahy mezi obsahem vzduchu v půdě, což může způsobit deficit kyslíku v kořenovém prostoru

roślin. (Obrázek č. 3) obsahuje limitní kritické hodnoty některých fyzikálních vlastností půdy. Překročení těchto hodnot nejenže negativně působí na rostliny, ale má také škodlivý dopad na mikroorganismy v půdě (edafon) a omezuje efektivní využití aplikovaných hnojiv. Je třeba zdůraznit, že tyto výsledky mají dalekosáhlé důsledky pro udržitelnost půdního ekosystému a správné zemědělské praktiky (Lhotský, 2000).

Fyzikální vlastnost	Půdní druh (obsah částic pod 0,01 mm v %)					
	J > 75	JV-JH 75 - 46	H 45 - 39	PH 30 - 21	HP 20 - 11	P < 10
Objemová hmotnost po vysoušení (g.cm⁻³)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost (% objem)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Penetrační odpor půdy MPa	2,8 - 3,2	3,3 - 3,7	3,8 - 4,2	4,5 - 5,0	5,5	> 6,0
Při vlhkosti % hmot.	28 - 24	24 - 20	18 - 16	15 - 13	12	10

Legenda : J – jíł, JV – půda jílovitá, JH – půda jílovitohlinitá, H – půda hlinitá, PH – půda písčitohlinitá, HP – půda hlinitopísčitá, P – půda písčitá

Obrázek č. 3 – Limitní hodnoty fyzikálních vlastností půdy (Lhotský, 2000)

Při vysokém zhuťnění půdy je především omezena aktivita půdního mezoedafonu, jako jsou dešťovky, chvostokoci a další členovci. Tito tvůrci drobtovité struktury půdy vytvářejí chodbičky a produkují látky, které stabilizují půdní drobtý. Tím se zvyšuje pórovitost a propustnost půdy pro vodu a vzduch. Mikroedafon, tvořený jednobuněčnými organismy jako bakterie a prvoci, převažujícím způsobem patří mezi aerobní organismy. Jejich prosperita je ovlivněna dostatkem organických látek, provzdušněním a vlhkostí půdy. Půdní mikroedafon hraje klíčovou roli v procesech transformace organických a minerálních látek, včetně humifikace, oxidace amoniaku a rozkladu látek jako železo, síra, mangan, sírany, dusičnany atd. Ve stlačených a nedostatečně provzdušněných půdách je aktivita mikroedafonu výrazně omezena. To má za následek sníženou kvalitu půdního humusu, acidifikaci půdního prostředí a kontaminaci agrochemikáliemi. Biologicky aktivní půda je klíčová pro efektivní a vyvážený příjem živin a jejich mobilizaci rostlinami. Přebytné stlačení půdy, zejména při hodnotách objemové hmotnosti nad 1,6 g.cm⁻³ u středně těžkých půd, vede ke snížené efektivitě hnojení s výrazným projevem nedostatku dusíku. Nadměrné zhuťnění půdy zvyšuje odpor půdy během zpracování, což způsobuje energetickou náročnost při běžných

polních pracích, zejména při orbě. Studie ukazují, že v posledních 30 letech se v důsledku stlačení středně těžkých a těžkých půd zvýšil orební odpor v průměru o 30 % a na souvratích až o 80 %. To má přímý dopad na zvýšenou spotřebu paliva a náklady na orbu. Při odstraňování půdního zhutnění, zejména v podorniční vrstvě půdy pomocí hloubkových kypřících metod se energetická náročnost ještě více zvyšuje. Spotřeba paliva na hloubkové meliorační kypření do hloubky 0,65 m může dosáhnout přibližně 45 l. ha⁻¹ (Javůrek, Vach, 2008).

Zhutnění půdy má škodlivý dopad na půdní fyzikální, chemické a biologické charakteristiky. Ovlivňuje její strukturu tím, že vytváří velké homogenní bloky, což snižuje množství pórů, skrze které může voda a vzduch pronikat do hlubších vrstev půdy. Tyto transformace mají za následek omezení dostupnosti podpovrchových vodních zdrojů, omezení povrchového odtoku vody a následnou erozi. Tato poslední změna může v případě intenzivních dešťových srážek způsobit záplavy v obydlených oblastech a problémy na pozemních komunikacích (Batey, 2009).

4.6 Eroze

Zvýšená eroze zemědělských půd představuje vážné ohrožení jak produkčních, tak mimoprodukčních funkcí půdy, a to s dopadem na intravilány měst a obcí. Tato problematika je především spojena s povrchovým odtokem a smyvem půdy, přičemž zemědělská území hrají klíčovou roli v tomto procesu. Nelze rovněž opomenout časté škody způsobené větrnou erozí, která zvyšuje komplexnost této výzvy. Eroze půdy vede k postupné degradaci zemědělských půd, zejména ztrátou nejurodnější části a to ornice. Tento proces negativně ovlivňuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, redukuje mocnost půdního profilu, zvyšuje obsah šterku, snižuje hodnoty živin a humusu. Následně dochází k poškozování plodin a kultur, což může mít za následek ekonomické ztráty. Navíc, pohyb strojů po poškozených pozemcích se stává obtížnějším, což přináší další technické a provozní problémy. Transport půdních částic a s nimi spojených látek způsobuje znečištění vodních zdrojů. Tyto částice se ukládají do akumulacních prostorů nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků a vedou k zakalení povrchových vod. To vše má negativní dopad na životní prostředí vodních organismů a zvyšuje náklady na úpravu vody a odstranění sedimentů. Při výskytech velkých

povodňových průtoků pak dochází k poškození infrastruktury, budov, komunikací a koryt vodních toků. V případě větrné eroze se hlavním důsledkem stává poškozování klíčících rostlin, znečištění ovzduší a škody způsobené navátím ornice. Tato forma eroze představuje další výzvu pro udržitelné zemědělské praktiky a ochranu půdního fondu. Celkově lze konstatovat, že eroze zemědělských půd má rozsáhlý a multidimenzionální dopad, který vyžaduje komplexní přístup k ochraně a obnově půdního prostředí (Janeček, 2005).

V naší zemi čelí asi polovina orné půdy riziku vodní eroze a téměř desetina je vystavena větrné erozi. Značná část těchto erozí ohrožených oblastí však bohužel nedisponuje systematickými ochrannými opatřeními, která by efektivně snižovala ztráty půdy na přijatelné úrovni. Ještě méně je implementována ochrana na úrovni, která by zamezila dalšímu úbytku půdního profilu a negativnímu vlivu na kvalitu vod, jež by mohly být následkem neustálého erozního procesu. Je zapotřebí aktivněji prosazovat ochranná opatření a udržitelné zemědělské praktiky, aby se omezily negativní dopady vodní a větrné eroze na zemědělskou půdu. V současné době se ztráty půdy nekontrolovaně zvyšují, což může mít závažné důsledky nejen pro produkci plodin, ale i pro kvalitu půdy a vodních zdrojů. Je nezbytné přijmout opatření, která zajistí udržitelnost a ochranu půdního fondu, aby nedocházelo ke stále se zhoršujícímu úbytku půdy na erozí ohrožených oblastech. Zavedení efektivních ochranných opatření a osvěta zemědělců o udržitelných postupech jsou klíčovými faktory pro omezování erozních procesů a zachování dlouhodobé udržitelnosti naší zemědělské krajiny (Janeček, 2012).

Během období transformace zemědělských družstev a privatizace zemědělství po roce 1989 se očekávaly pozitivní změny v přístupu k využívání a ochraně zemědělské půdy. Předpokládalo se, že dojde k trendu šetrnějšího hospodaření a vytvoření menších výrobních a územních celků. Nicméně privatizace zemědělské výroby nepřinesla očekávané zmenšení ploch pozemků a tím pádem ani zvýšení diverzity polních plodin. Ochrana zemědělské půdy před erozí se v této situaci stává klíčovým tématem. Hlavní strategií pro ochranu půdy před erozí je implementace pozemkových úprav, zejména komplexních pozemkových úprav v rámci plánu společných zařízení. Tyto pozemkové úpravy by měly zohledňovat vlastnické, ekologické, hospodářské, vodohospodářské a dopravní aspekty. Jsou považovány za

základní opatření, kde lze efektivně prosazovat zásady protierozní ochrany. Plán společných zařízení pozemkových úprav umožňuje navrhnout a realizovat různá protierozní opatření. Klíčovým prvkem v této ochraně je také aktivní spolupráce zemědělců působících na erozí ohrožených pozemcích. To zahrnuje respektování principů správného hospodaření, vhodnou volbu pěstovaných plodin a ochotu přijímat návrhy komplexních protierozních opatření organizačního, agrotechnického a technického charakteru. Tímto způsobem lze efektivně předcházet další erozi a zabezpečit udržitelné využívání zemědělské půdy (Janeček, 2005).

4.6.1 Větrná eroze

Mechanická eroze způsobená větrem se projevuje rozrušováním povrchu půdy (abraze), odnášením půdních částic větrem (deflace) a jejich ukládáním na jiných místech (akumulace). Tento jev, známý jako větrná eroze je přímým důsledkem fyzikálních vlastností půdy. Vyskytuje se zejména v oblastech s nízkými a proměnlivými srážkami, vysokou rychlostí větru, častým suchem, extrémními teplotními změnami a vysokým výparem. V podstatě může větrná eroze postihovat oblasti po celý rok s největší škodlivostí v období jara, následujícího po suché a málo sněhové zimě. V tomto období silný vítr odnáší suchou ornici z holých nebo málo pokrytých polí. Další zvýšení výskytu větrné eroze se pozoruje na podzim, kdy již není povrch půdy chráněn rostlinami. Eroze obvykle postihuje oblasti bez vegetace nebo s málo vyvinutým rostlinným krytem. Statistiky ukazují, že 90 % větrné eroze nastává na půdě, která byla zemědělsky obdělávána. Během větrné eroze dochází k selektivnímu působení větru na půdní částice různých velikostí. Jemné částice jsou buď nesené do dálky ve formě suspenze nebo jsou skákáním a sunutím přemísťovány do jiných částí území. Zůstávají na místě pouze hrubé a kamenité částice, což vede ke zhoršení fyzikálních vlastností půdy. Větrná eroze způsobuje škody na zemědělské půdě nejen odnosem půdních částic, ale také odnášením hnojiv a chemikálií určených k ochraně. Dále dochází k obnažování kořínků rostlin a přerušování jemných stonků mladých rostlin, které jsou unášeny větrem s sebou nesoucími částičky půdy. Větre přenášená půda dále zanáší příkopy, komunikace a další oblasti. (Rožnovský, Litschmann, 2008)

4.6.2 Vodní eroze

Rozdělení vodní eroze podle formy zahrnuje erozi plošnou, rýhovou, výmolvou a proudovou. Při plošné erozi dochází k téměř rovnoměrné erozi půdy na celé ploše pozemku nebo jeho části. Čím je povrch půdy na svahu více vyrovnaný, tím jsou menší možnosti soustředování vody. Nicméně i dokonale vyrovnaný povrch nedokáže zamezit soustředování vody do rýžek, a proto je obtížné odlišit plošnou erozi od rýhové.

Prvním stádiem plošné eroze je tzv. splash erosion (Fernández-Raga et al., 2017), kdy kapičky dopadají na nekrytý povrch půdy. Tyto nárazy rozbíjejí půdní agregáty na menší částičky, které jsou dále rozptýleny po půdním povrchu. Výška odskoku půdních částic nad povrchem může dosahovat až 1,5 metru, a vzdálenost od místa dopadu k původní pozici může být více než 5 metrů za pomoci větru. Tyto částičky poté zaplňují mezery mezi agregáty a mohou způsobit krustaci půdy, která brání infiltraci a zvyšuje povrchový odtok.

Dalším stádiem je eroze při pohybu vody po nakloněné ploše půdního povrchu, kdy jsou při malé kinetické energii vody vyplavovány nejjemnější půdní částice, což má silný selektivní účinek. Tento jev se týká především horních svahových partií, kde půda může být hrubozrnnější a s nižším obsahem živin, zatímco půdy obohacené splavením na úpatí svahů jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny (Ryžak et al., 2015).

Soustředováním plošného odtoku vzniká rýžková a rýhová eroze, přičemž rýžky mají hloubku a šířku v řádech centimetrů. Při zvýšeném soustředění vody a postupném prohlubování preferenčních cest mohou vzniknout erozní rýhy. Nejvyšší formou vodní eroze jsou hluboké výmoly a erozní strže, jejichž příčný profil má rozměry větší než 1 metr. Proudová eroze se odehrává ve vodních tocích pod vlivem vodního proudu. Když je rozrušováno pouze dno, jedná se o erozi dnovou a pokud jsou rozrušovány břehy, jde o erozi břehovou. Nejvíce se proudová eroze projevuje v bystřinách, které obvykle unášejí velké množství splavenin (Janeček, 2012).

4.7 Vliv pásových jednotek a pneumatik na půdu

Podobně jako každý aspekt zemědělské technologie i pneumatiky procházejí neustálým vývojem a zdokonalováním. Výrobci neustále investují do výzkumu a inovací, aby vylepšili své nejrozšířenější typy pneumatik, které jsou navrženy pro různé kategorie zemědělských strojů, včetně traktorů, sklízecích mlátiček a dalších. Tato snaha je motivována nejen potřebou zvyšování výkonu zemědělských strojů, ale také neustále se měnícími podmínkami půdy. S technologickým pokrokem se zvyšuje výkonnost pneumatik a je klíčové přizpůsobovat jejich konstrukci novým výzvám. V tomto kontextu nabývají na popularitě radiální a nízkotlaké pneumatiky, které se stále více preferují před pneumatikami diagonálními. Tyto inovativní druhy pneumatik se osvědčují v různých výkonnostních skupinách zemědělských strojů, a to i v náročných podmínkách zemědělské praxe (Brennensthal, Cholenský, 2015).

Tento trend reflektuje nejen snahu zemědělců o efektivnější práci, ale také rostoucí důraz na šetrnost k půdě a optimalizaci celkového výkonu zemědělských operací. S postupujícím vývojem technologií pneumatik je výrazně přispíváno ke zvyšování udržitelnosti a efektivity moderního zemědělství.

4.7.1 Pásové jednotky

Měrný tlak na půdu, který kolové traktory vyvíjejí, zpravidla přináší problémy jako větší prokluz a menší tahovou sílu. Těmto provozním nevýhodám lze však efektivně předcházet pomocí pásových podvozků u traktorů. Historicky byly pásové traktory vybaveny výhradně ocelovými pásy, avšak v dnešní době jsou tyto nahrazovány pryžovými variantami. Pásový podvozek představuje jedno z řešení, jak lépe přenést výkon motoru na podložku, přičemž pásové provedení je v porovnání s koly mnohem ohleduplnější a šetrnější k půdě. Dodržení požadavku na udržení transportní šířky pod hodnotou 3 metry se týká zejména traktorů s kolovým podvozkem dvoumontáží, což lze nyní efektivně vyřešit právě s použitím pásových variant (Jílek et al., 2016).

V dnešní době nejsou na pásech pouze traktory, ale také sklízecí mlátičky, sklízeče polních plodin, překládací vozy a další stroje, včetně samojízdných či tažených postřikovačů. Existují dvě základní koncepce pásových podvozků: koncepce se dvěma nebo se čtyřmi pásy. Hnací síla motoru je přenášena na hnací kolo pásu a poté na samotný pás. Pásová jednotka zahrnuje vodící napínací kladky spolu s mechanismem jejich uchycení. Pásky jsou poháněny pomocí pryžových bloků, jež zapadají do výřezů hnacího kola, nebo třením mezi pásem a hnacím kolem. Současné pásové pásy jsou vyráběny z pryžových směsí s ocelovými vlákny. Ocelový kord umístěný v pásu má za úkol udržet jeho pevnost a zabránit vytahování, celkově zvyšující tak odolnost pásového podvozku proti mechanickým poškozením. Pásky pásových jednotek disponují šípovým dezénem na vnější straně a pryžovými bloky ve střední části vnitřní strany, což zlepšuje vedení pásu a brání příčnému posuvu při otáčení stroje. Velká kontaktní plocha pásu s podložkou efektivně snižuje tlak na půdu. Ačkoli širší pásy nabízejí lepší průchodnost terénem, je důležité volit šířku gumového pásu s ohledem na udržení dobré ovladatelnosti stroje. Chování pásu je ovlivněno nejen šířkou, ale také roztečí stop. Krátké rozteče, kde je zapojen každý zub ozubeného hnacího kola, zajistí plynulou jízdu, zatímco dlouhé rozteče s "ob zuby" mohou vést k méně plynulému pohybu. Správné napnutí pásu po celou dobu provozu je klíčové pro optimální výkon. Na rozdíl od pneumatik nelze gumové pásy opravovat, a v případě vážnějšího poškození je nutné je vyměnit. Ochrana pásů před dlouhodobým vlivem slunečního záření, mrazu a deště je stejně důležitá jako u pneumatik (Jílek et al., 2016).

4.7.2 Pneumatiky

V současné době jsou pneumatiky většinou bezdušové, avšak v oblasti zemědělství se zdá, že se vrací zájem o pneumatiky s duší. Důvodem je předpokládaná výhoda v lepším přenosu hnací síly a menším namáháním na skluzu. Zemědělské stroje s neustále zvyšující hmotností a výkonem motoru, kladou zvláštní důraz na kvalitu styčné plochy pneumatik. Tato kvalita je klíčová pro efektivní přenos hnací síly na kola a dosažení optimální tahové účinnosti, která se pohybuje kolem 70–72 %. Každý typ a velikost pneumatiky lze snadno rozpoznat pomocí metody vícenásobného otisku.

Metoda vícenásobného otisku není pouze rozpoznávacím nástrojem, ale také poskytuje spolehlivé informace o styčné ploše, která má významný vliv na zhutnění půdy. Velikost této styčné plochy lze upravovat změnou tlaku v pneumatice. Tento tlak by měl být přizpůsoben specifickým pracovním operacím a měnící se vlhkosti půdy, což ovlivňuje výkonnost a efektivitu zemědělských strojů. V praxi to znamená, že volba mezi bezdušovými a pneumatikami s duší v zemědělství má spojitost s hledáním optimálního kompromisu mezi přenosem hnací síly, minimálním skluzem, a efektivním využitím pneumatiky v různých půdních podmínkách. Změna tlaku v pneumatikách se tak stává klíčovým faktorem pro dosažení optimálního výkonu zemědělských strojů při zachování udržitelnosti a šetrnosti k půdě (Prikner, 2012).

5 Optimalizace pohybů zemědělských strojů po pozemcích

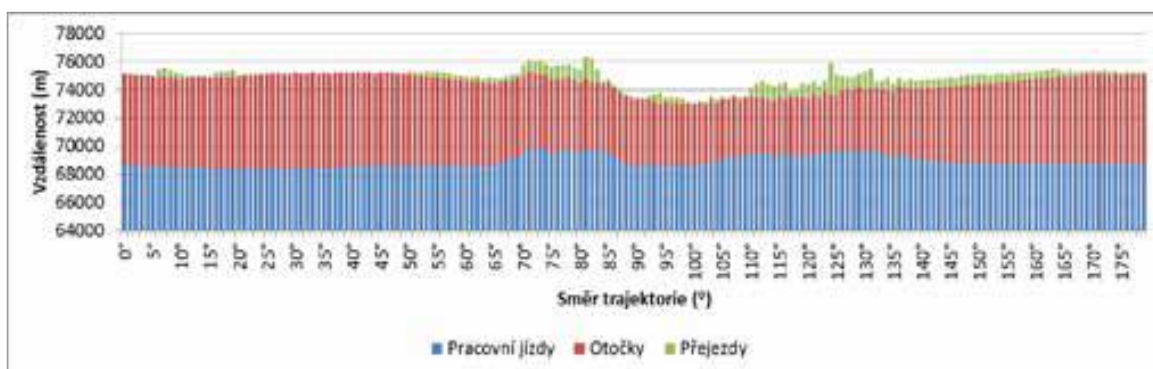
V dnešní době hraje přesná znalost polohy klíčovou roli v různých odvětvích a nelze opomenout její význam ani v zemědělství, kde se stala nezbytným prvkem. Vstup satelitních navigací do zemědělství představoval zásadní krok směrem k preciznímu zemědělství. Mnoho agrárních prací je nyní závislých právě na těchto navigačních systémech a bez nich by nebylo možné provádět takto specializované úkony. Významným prvkem v této oblasti je použití satelitních navigací s precizním korekčním signálem RTK (Real-Time kinematic). Tento signál zajišťuje opakovanou přesnost v řádu několika milimetrů, což umožňuje strojům opakovaně vykonávání prací ve stejných trajektoriích po delší dobu. Využívání satelitních navigací umožňuje až o 30 % nižší pokrytí plochy, kterou zemědělská technika přejetím zahušťuje. Tímto způsobem se přispívá k optimalizaci pracovních trajektorií, což přináší pozitivní vliv na náklady na pohonné hmoty, dobu vykonávání prací a minimalizaci poškození půdy neúčelnými přejezdy (Zhang, 2016).

I když nelze zcela eliminovat veškeré přejezdy zemědělské techniky po pozemku, je možné je co nejvíce optimalizovat. To přináší pozitivní dopad na celkové náklady, zejména s ohledem na nárůst hmotnosti zemědělských souprav a zvýšení cen pohonných hmot. Zkušení řidiči zemědělských strojů sami nedokážou dosáhnout takové úrovně úspory a efektivity, jakou mohou poskytnout optimalizované trajektorie. Rozhodujícími faktory pro určení optimální trajektorie jsou tvar a velikost pozemku, terénní členitost, přítomnost překážek a rozměry zemědělských strojů. Moderní stroje jsou schopny zaznamenávat tyto parametry a poskytovat data o obdělávaném pozemku, což umožňuje ještě lepší optimalizaci zemědělských operací a pracovních trajektorií (Brant et al., 2020)

5.1 Optimalizace trajektorií jízd

Určení optimální trasy pohybu po zemědělském pozemku není v současné době nijak problematické. Existuje několik softwarových nástrojů umožňujících vytvoření optimálních tras přímo z pohodlí domova na osobním počítači. Mezi tyto programy patří například SMS Basic od společnosti Ag Leader Technology (USA), OptiTrail od společnosti

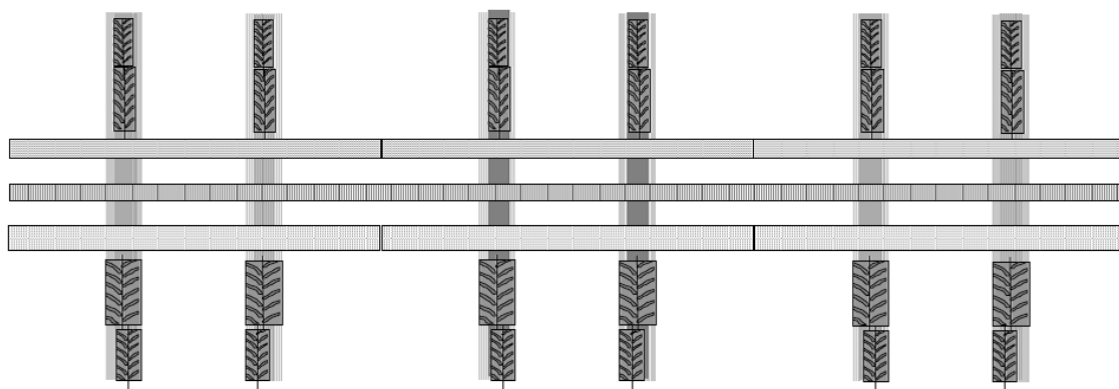
LeadingFarmers a.s. (Česká republika) či Geo-Bird od společnosti AGCO Corporation. Někteří výrobci navigačních systémů a traktorů začínají do svých programů integrovat možnost vytváření těchto optimálních tras. Tyto aplikace slouží k efektivní správě dat a monitoringu zemědělských strojů. Pro vytvoření optimální trasy je nezbytná informace o hranicích pozemku, kterou lze získat buď přímo ze satelitní navigace vestavěné v traktoru, nebo z webových stránek systému LPIS (Land Parcel Identification System) farmáře. Získané informace, obvykle ve formátu SHP (Shapefile), jsou následně načteny do výše uvedených programů spolu s údaji o pracovním záběru, poloměru otáčení stroje a počtu jízd na souvrati. Software pak automaticky vytváří 180 různých tras, každou s postupnou změnou azimutu o 1° a následně vybírá tu nejvhodnější pro konkrétní pozemek. Podle studie provedené (Kroulík, 2019) věnující se optimalizaci tras bylo analyzováno všech 180 možných tras. (Obrázek č. 4) znázorňuje délky pracovních a nepracovních jízd pro každý stupeň azimutu. Z tohoto obrázku lze vyčíst, že volba správné trasy má výrazný vliv na celkovou vzdálenost, kterou zemědělský stroj ujede po pozemku, a také na opakovaně přejetou plochu. Při rozhodování o optimální trase je třeba zohlednit i směr vrstevnic a vybrat trasu s optimálním poměrem mezi směrem vrstevnic a ujetou vzdáleností.



Obrázek č. 4- Délky pracovních a nepracovních jízd stanovené pro jednotlivé azimuty trajektorií pro hodnocený pozemek, zdroj: (Kroulík, 2019)

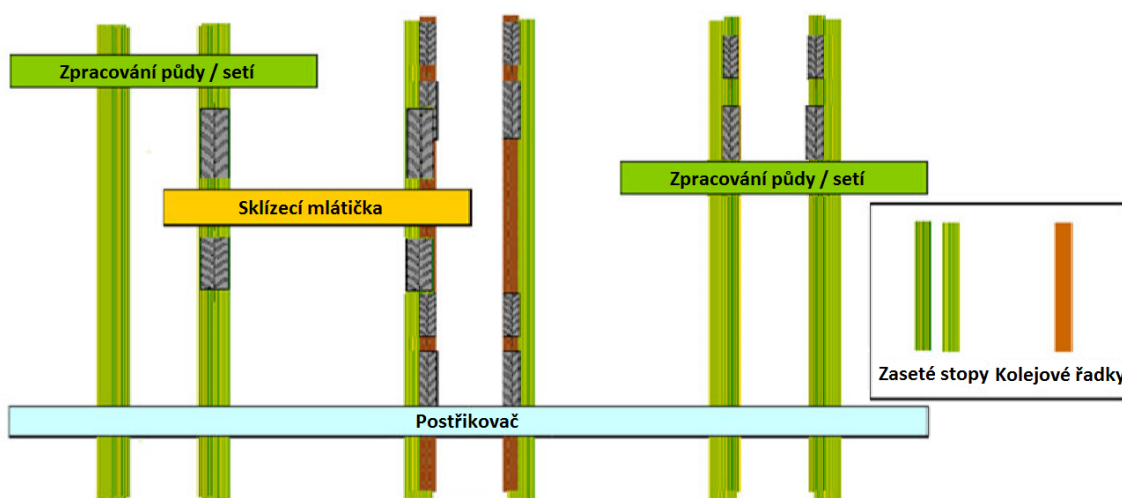
5.2 Control Traffic Farming (CTF)

V současné době nelze vyhnout se pohybu zemědělských strojů po pozemku, což však bohužel přináší negativní důsledek v podobě zhutňování půdy. Intenzita tohoto zhutnění je přímo závislá na počtu a náhodnosti přejezdů po daném území. I když byl systém kontrolovaného pohybu strojů po pozemku představen již v minulém století, nedostatečná technická vyspělost bránila jeho praktické realizaci. V dnešní době však disponujeme pokročilými technologiemi, které umožňují přesnou navigaci a efektivní využití těchto systémů. Jedním z hlavních technologických pokroků v oblasti kontrolovaného pohybu po pozemku je systém CTF (Controlled Traffic Farming), který navrhuje, aby všechny zemědělské stroje sledovaly stejné trasy (Vermeulen et al., 2010). Tato technologie již dlouhodobě osvědčila svůj příznivý vliv v mnoha zemích a stále častěji se implementuje i v České republice. Přestože zavedení tohoto systému vyžaduje rozsáhlé zemědělské plochy a moderní stroje, počáteční investice se dlouhodobě vyplácí zlepšením kvality orné půdy. Systém CTF lze rozdělit do různých kategorií, přičemž každá má svá specifická pravidla pro pohyb strojů po pozemku. Jednou z úspěšných kategorií je systém ComTrac (Obrázek č. 5), kde všechny stroje v určeném podniku sledují stejný rozchod kol a mají podobné pracovní záběry (např. diskový kypřič a sklízecí mlátička oba s pracovním záběrem 9 metrů). Přestože je tento systém finančně náročný, vyžadující počáteční investice do úprav všech zemědělských strojů (Kroulík, 2019), přináší dlouhodobé výhody v podobě optimalizace intenzity přejezdů po pozemku.



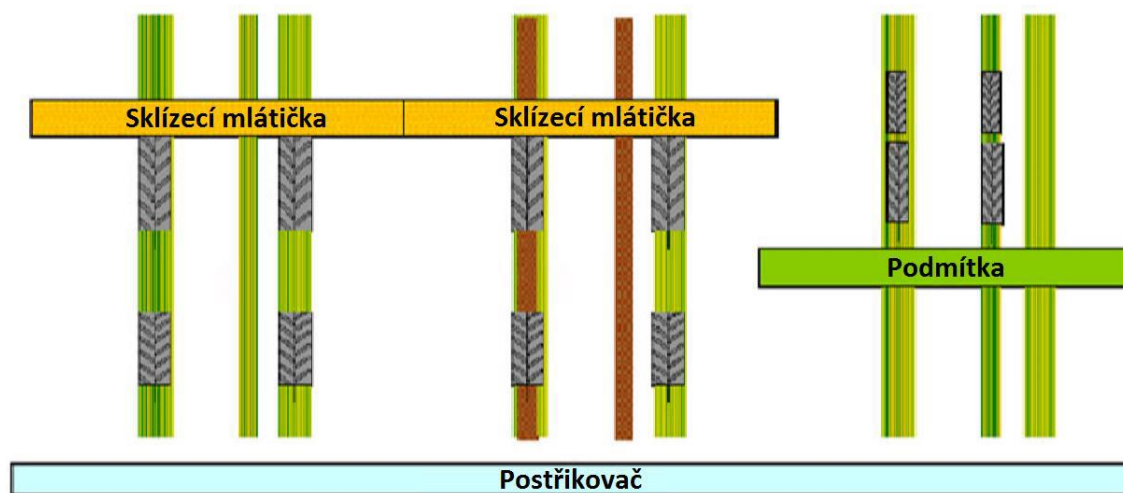
Obrázek č. 5 - CTF se systémem ComTrac (Kapička, Brant, 2017)

Jiným přístupem k řešení výzvy v oblasti technického zpracování plodin (CTF) v zemědělském sektoru, zejména pro podniky s omezeným pracovním rozsahem strojů, je implementace systému TwinTrac, jak je znázorněno na (Obrázek č. 6). Tento inovativní systém kapitalizuje na omezeném pracovním rozsahu těchto strojů a umožňuje sklízecí mlátičce využívat kolejové stopy vedlejších jízd k optimalizaci svého pohybu. Tím dochází k efektivnějšímu využití technologií při zemědělských operacích s omezeným pracovním rozsahem.



Obrázek č. 6 - Schéma CTF systému TwinTrac, (Kroulík, 2019)

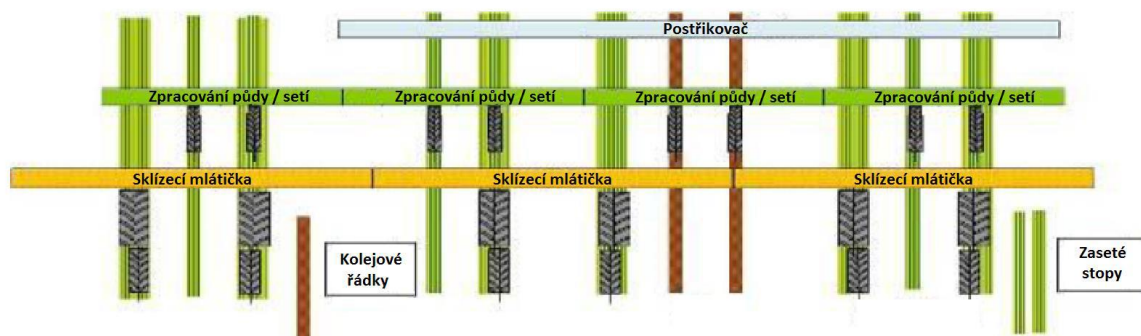
Dalším systémem, který není omezen malým pracovním záběrem je AdTrac (Obrázek č. 7). Tento systém umožňuje využívat širší pracovní záběr bez potřeby přestavby traktorů na rozchod kol kvůli využívání společné kolejové stopy navíc, která se nachází mezi rozchodem kol sklízecí mlátičky. Zemědělské stroje s odlišným rozchodem kol, než sklízecí mlátička využívají tuto dodatečnou kolejovou stopu spolu s jednou stopou za sklízecí mlátičkou. Nutnost dodržení stejných pracovních záběrů zemědělských strojů je klíčová, což platí i pro tento systém (Kroulík, 2019), stejně jako bylo uvedeno u předchozích systémů.



Obrázek č. 7 - CTF se systémem AdTrac (Kroulík, 2019)

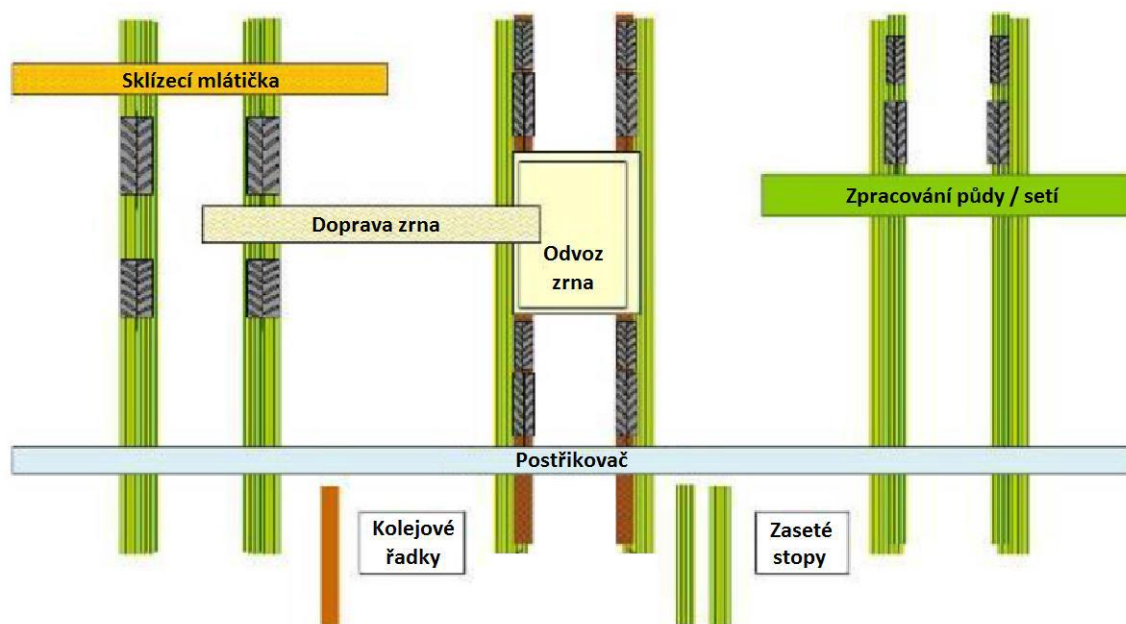
V experimentech sledování pohybu zemědělských strojů po pozemku byly využity systémy usměrňované přejezdy. Proces zpracování půdy probíhal stejným způsobem jako pohyb zemědělských strojů náhodnými přejezdy. Tyto přejezdy dosahovaly pokrytí plochy přibližně 63 %. Po implementaci těchto řízených přejezdů byl zaznamenán pokles přejete plochy. Při využití systému AdTrac s pracovním záběrem 8 metrů došlo k redukci plochy přejezdu pneumatik na 31 %. Systém TwinTrac, který měl pracovní záběr 4 metry, zaznamenal menší pokles plochy přejezdu na 37 % ve srovnání s náhodnými přejezdy. Tyto výsledky naznačují, že implementace těchto CTF systémů má význam, aniž by bylo nutné investovat do úpravy zemědělských strojů, což tyto systémy činí ještě atraktivnějšími. Každý zemědělský podnik vlastní a provozuje širokou škálu zemědělských strojů od různých výrobců, což znamená, že pracovní záběry těchto strojů mohou vykazovat různé rozměry. Navíc může mít změna způsobu zpracování půdy vliv na tyto pracovní záběry. Například při použití diskového kypřiče s pracovním záběrem 8 metrů a hloubkou práce 5–10 centimetrů je obtížné dosáhnout podobného pracovního záběru, jaký by byl dosažen radličkovým kypřičem pracujícím do hloubky 25–30 centimetrů. Tím pádem není možné využít systémy CTF, které vyžadují shodný pracovní záběr. Z tohoto důvodu existují alternativní CTF systémy, schopné řešit tato omezení a vhodné pro různé pracovní záběry. Jeden z těchto inovativních přístupů se nazývá systém HalfTrac (Obrázek č. 8). Tento systém lze aplikovat na zemědělské stroje, které mají rozdílné šířky svých náprav. Při pohybu stroje po pozemku

využívá HalfTrac polovinu kolejových stop sklízecí mlátičky a zároveň polovinu vlastních paralelních jízdních stop. Významným benefitem systému HalfTrac je možnost volby ze tří různých rozměrů pracovních záběrů, což poskytuje flexibilitu a přizpůsobení se specifickým potřebám (Kapička, Brant, 2017).



Obrázek č. 8 – CTF se systémem HalfTrac (Kroulík, 2019)

Další možností v rámci systémů CTF, která nevyžaduje úpravy rozchodů náprav zemědělských strojů je systém OutTrac (Obrázek č. 9). Tento systém vyžaduje, aby byly používány stejné pracovní záběry nebo jejich násobky. Šířka jízdních stop v tomto případě závisí na maximálním rozchodu náprav jednoho stroje a minimálním rozchodu náprav druhého stroje. I přes to, že tento systém má nevýhodu v širokých jízdních stopách, přináší výhody, jelikož plocha přejetá pneumatikami se výrazně zmenší oproti náhodným přejezdům. Tento systém představuje jednoduchý způsob, jak začít implementovat CTF bez výrazných počátečních investic. Je však nutné mít k dispozici a využívat přesnou satelitní navigaci (Kroulík, 2019).



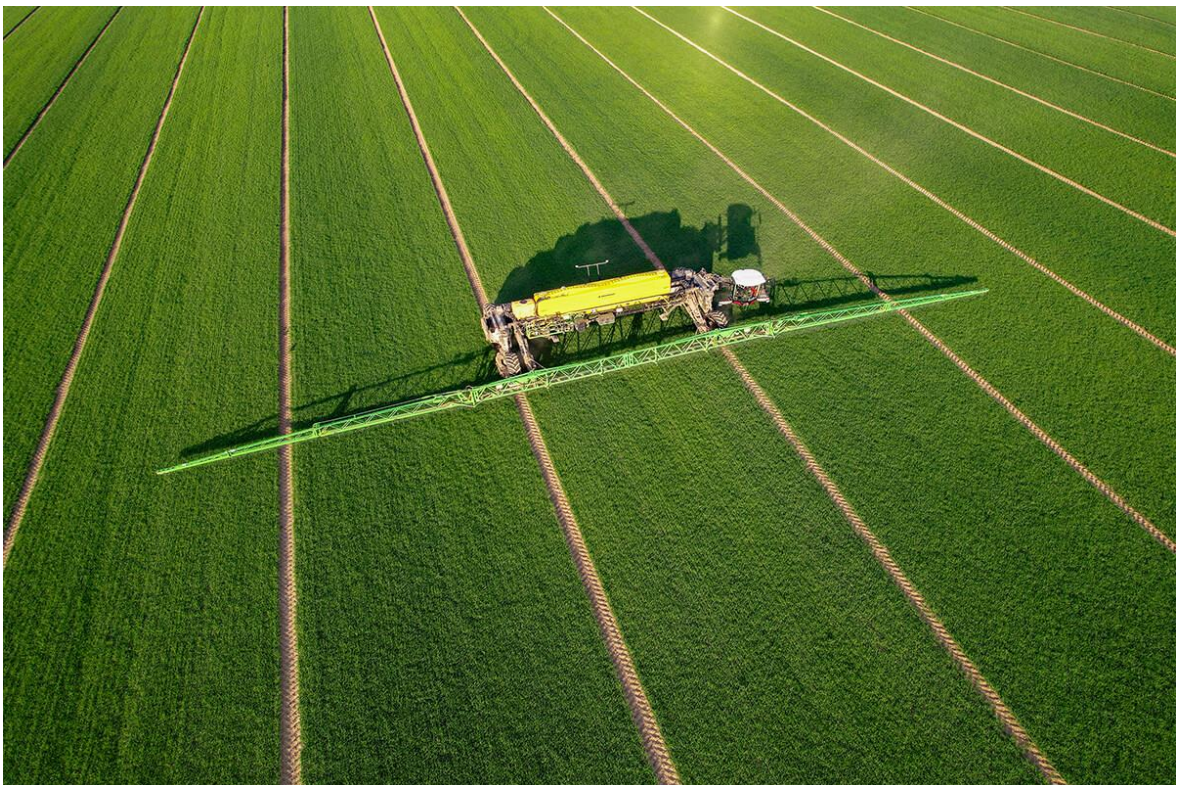
Obrázek č. 9 – CTF se systémem OutTrac (Kroulík, 2019)

5.3 CTF na nejvyšší úrovni pomocí traktorového nosiče NEXAT

Všechny předešlé implementace CTF systémů využívaly zemědělské stroje, které nemusely být většinou výrazně upravovány. V tomto případě je ovšem použit traktorový nosič s širokým rozchodem kol, známý též jako agrotechnický most, místo tradiční zemědělské techniky. Tento přístup k dosažení optimální hustoty půdy a intenzity průjezdů po pozemku dosahuje nejlepších výsledků. Při využití tohoto systému je přejetá plocha obvykle v rozmezí 5–10 %. Myšlenka využití agrotechnického mostu sahá až do minulého století, kdy byl několikrát testován. Kvůli nedostatečné technologické vyspělosti však nikdy nebyl plně implementován. Konstrukce tohoto traktoru umožňuje umístění jednotlivých párů kol na každé straně od sebe vzdáleně několik metrů. Pracovní nástroj, který lze libovolně měnit, je umístěn mezi těmito páry kol, přičemž kabina stroje se nachází pouze na jedné straně traktoru (Bulgakov et al., 2017)

V roce 2021 představila německá společnost Nexat nejnovější řešení agrotechnického mostu (Obrázek č. 10). Tento stroj nabízí širokou škálu možností v oblasti zemědělských prací díky schopnosti rychlé a efektivní výměny pracovních nástrojů. NEXAT může být

vybaven kultivátorem pro zpracování půdy, secím strojem, zařízením pro ochranu rostlin, přesným secím strojem, aplikátorem minerálních hnojiv, a dokonce i sklízecí mlátičkou. Jeho unikátní konstrukce zahrnuje traktorový nosič se širokým rozchodem kol, známým též jako agrotechnický most. Tato struktura umožňuje efektivní práci a optimální zhutnění půdy při minimálním přejezdu plochy, což přispívá k udržitelnějšímu a efektivnějšímu zemědělství. Stroj NEXAT je výsledkem pokročilé technologie a inovací, které přináší moderní řešení pro současnou potřebu efektivity a udržitelnosti v zemědělství.



Obrázek č. 10 – Nosič nářadí NEXAT zdroj: <https://www.nexat.de/en/media-library/>

5.4 Protierozní optimalizace trajektorií

Při volbě optimálních trajektorií lze zvážit strategii respektování odtokových linií na pozemku, které mají výrazný vliv na vodní erozi, což umožňuje efektivní omezení tohoto fyzikálního jevu. Jeden přístup k tomu spočívá ve využití protierozních pásů, které následují odtokové linie na pozemku. Tyto pásy bývají často osázeny rostlinami odolnými proti erozi, jako jsou různé druhy trav, což poskytuje možnost využití těchto rostlin pro sečení. S pokrokem v oblasti přesných navigačních systémů a řízení sekcí se stává možné obdělávat pole jako celek bez potřeby obcházet tyto protierozní pásy (Kroulík, 2019).

Další strategií pro ochranu před vodní erozí je zavedení tzv. pásových střídání plodin (Obrázek č. 11). Tato metoda zahrnuje vytváření trajektorií podle vrstevnic na pozemku a následné rozdělení pole na pruhy obsahující dvě různé plodiny. Tento vrstevnicový přístup k ochraně proti erozi je efektivní při sklonu terénu mezi 12 až 18 %. Při vyšších sklonech již není tato metoda tak účinná při prevenci vodní eroze. Při tvorbě trajektorií je důležité zajistit, aby odchylka od vrstevnice nepřesáhla 30 % (Mistr, Janoušek, 2021).



Obrázek č. 11 - Pásově střídání plodin, zdroj: <https://www.lifetreecheck.eu/cs/Inspiration/Blog/Pasove-stridani-plodin-muze-byt-remenim-eroze>

Výběr plodin pro střídání je klíčovým pravidlem této metody. Je nutné střídat plodiny odolné vůči vodní erozi (např. ozimé obilniny, vojtěška, hrách, řepka ozimá, jetel, travní porost) s plodinami náchylnějšími k erozi. Dále je důležité přizpůsobit šířku pruhů podle sklonu svahu, délky svahu, typu půdy, schopnosti přijímat vodu, odolnosti vůči erozi a pracovních záběrů zemědělských strojů. Šířka pruhů by měla být násobkem pracovních záběrů, obvykle v rozmezí 20–50 metrů. Pro efektivní využití této technologie je však nutné disponovat dostatečně velkým pozemkem, aby byla tato metoda ekonomicky výhodná. Pro úspěšné provádění pásového střídání plodin je také nezbytné, aby všechny zemědělské stroje byly vybaveny satelitními navigačními systémy s korekčním signálem RTK (Janeček, 2012)

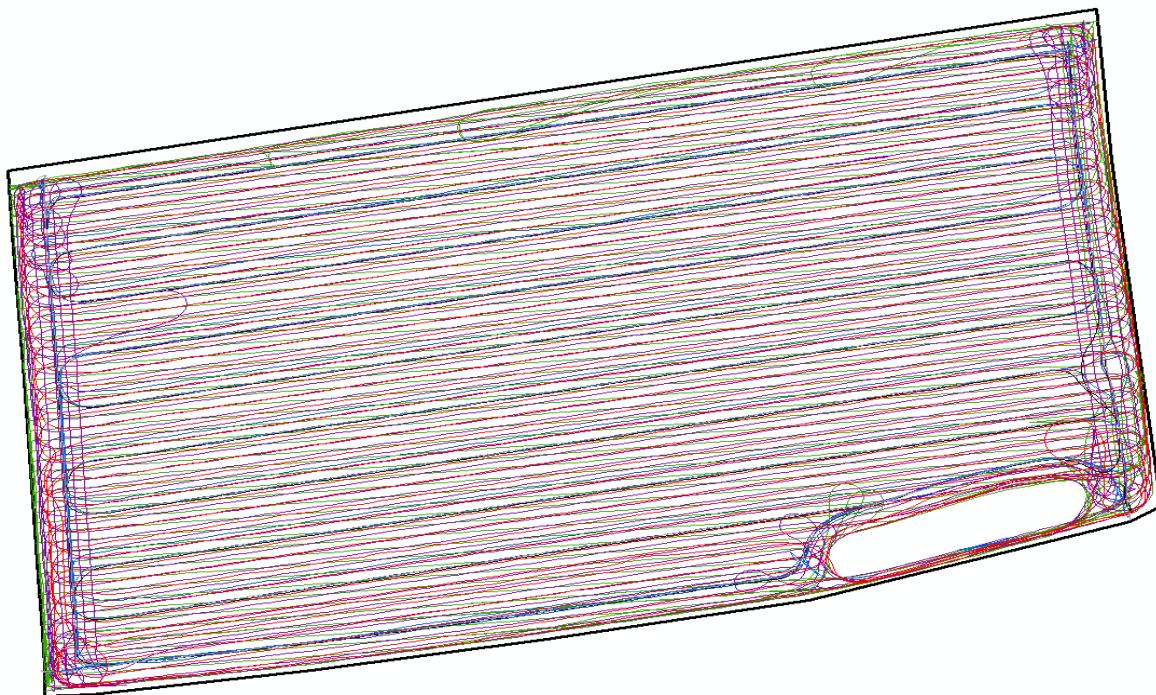
6 Pohyb techniky po pozemcích

Praktická část této diplomové práce navazuje na předchozí bakalářskou práci, která se detailně zabývala problematikou hodnocení intenzity přejezdů zemědělskou technikou na pozemcích. V rámci této bakalářské práce byl sledován pohyb zemědělských strojů na dvou vybraných pozemcích během jednoho zemědělského roku. Oba pozemky byly vybrány s ohledem na svou reprezentativnost a byla na nich aplikována technologie minimalizace přejezdů během zpracování půdy. Data získaná z těchto pozorování byla pečlivě vyhodnocena a následně byla vypočítána intenzita přejeté plochy. Na základě těchto analýz byla navržena opatření, která měla za cíl snížit tuto intenzitu přejezdů a optimalizovat tak provoz na pozemcích. Navržená opatření byla poté aplikována v praxi a jejich účinnost je nyní důkladně ověřována v rámci této diplomové práce.

Součástí této práce bylo také měření navigační přesnosti dvou různých navigačních zařízení od různých výrobců. Tyto zařízení využívala zdarma dostupné korekční signály. Získané výsledky měření jednoznačně ukázaly, že přesnost těchto signálů není dostačující pro potřeby zemědělských operací. V rámci bakalářské práce byl proto navržen přechod na placené korekční signály RTK, které nabízejí výrazně vyšší přesnost. V dalším zemědělském období byly tyto návrhy implementovány a nové korekční signály RTK byly nasazeny do praxe. To umožnilo nejen zvýšit přesnost navigace zemědělské techniky, ale také aplikovat již předem zmíněná opatření na snížení intenzity přejezdů na pozemcích s větší efektivitou a účinností.

6.1 Dosavadní pohyb techniky

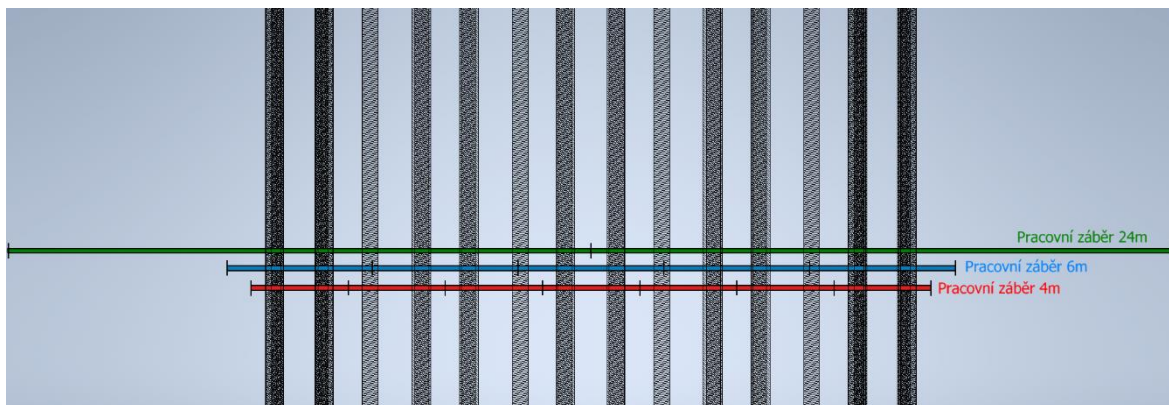
Doposud probíhal pohyb strojů po pozemku značně náhodně. Optimální trajektorie jízdy byla volena dle úsudku řidiče daného zemědělského stroje, který se zrovna na pozemku nacházel. Tento přístup často vedl k neefektivnímu využití plochy a neoptimálnímu rozložení přejezdů. V rámci měření provedených v rámci bakalářské práce bylo zjištěno, že přejetí během jednoho zemědělského roku (viz Obrázek č. 12) je značně náhodné a není řízeno žádným systematickým plánem. Při sledování pohybu po pozemku o výměře 10 ha bylo zaznamenáván opakovaný pohyb tří traktorů. Tento postup vyústil v neefektivní využití času, paliva a zdrojů, což má negativní dopad jak na ekonomiku provozu, tak i na celkovou udržitelnost zemědělských postupů. Tato nekoordinovaná praxe vede k nadměrnému přejezdu určitých oblastí, zatímco jiné části pozemku zůstávají nedostatečně zpracované. Takový nekoordinovaný pohyb strojů může vést k nerovnoměrnému rozložení hnojiv, pesticidů a jiných agrochemikálií, což může negativně ovlivnit růst a výnos plodin. Proto je klíčové implementovat systematický přístup k řízení pohybu zemědělských strojů, který bude optimalizovat využití plochy, minimalizovat přejezdy a přispět ke zvýšení efektivity a udržitelnosti zemědělských operací.



Obrázek č. 12 – Dosavadní pohyb zemědělských strojů během roku po pozemku (Linda, 2022).

Na pozemku (viz Obrázek č. 12) byl v zemědělském roce 2021 zaset ječmen jarní. Tato skutečnost představuje klíčový prvek, který byl zahrnut do této diplomové práce, a vedla k provádění měření růstu ječmene jarního na pozemku, který byl podroben optimalizovaným přejezdům zemědělskými stroji. Dosavadní analýza ukázala, že plocha pozemku přejetá zemědělskými stroji během roku činila 61,95 % ve středu pole a 84,39 % na souvrati pozemku.

Na základě principů navržených v předchozí bakalářské práci a implementace optimalizovaných jízd v rámci systému CTF (Controlled Traffic Farming) bude možné dosáhnout výrazného snížení přejeté plochy zejména ve středu pozemku (viz Obrázek č. 13). Očekává se, že díky těmto opatřením bude přejetá plocha ve středu pozemku snížena až na 38 %. Na souvrati pozemku, kde přejetá plocha dosahuje relativně vysokých hodnot, se očekává pouze minimální snížení přejeté plochy systémem CTF. Významnější snížení přejeté plochy na souvrati bude dosaženo při optimalizovaném otáčení a najíždění do dalších linií ob jízd. Tato opatření mají za cíl maximalizovat efektivitu využití plochy, minimalizovat negativní vlivy zemědělské činnosti na půdu a zvýšit celkovou udržitelnost zemědělských operací na daném pozemku.



Obrázek č. 13 – Návrh systému CTF HalfTrac (Linda, 2022)

6.2 Optimalizace pohybu techniky

V praktické části této diplomové práce bylo provedeno měření, které mělo za úkol ověřit navržené opatření z bakalářské práce. Pro měření byly vybrány dva pozemky, na kterých byla aplikována technologie CTF (Controlled Traffic Farming). Tyto pozemky byly pečlivě vybrány s ohledem na svou reprezentativnost a dostupnost. Během sledování růstu rostlin na řádcích s různou mírou přejetí bylo provedeno systematické měření na obou pozemcích během celého zemědělského roku. Na jednom z vybraných pozemků byl zaset ječmen jarní, zatímco na druhém byla pěstována cukrová řepa. Volba těchto plodin byla motivována jejich vhodností pro jarní setí a zároveň představovaly relevantní reprezentaci pro sledované oblasti. Kromě sledování růstu rostlin bylo rovněž provedeno měření zhutnění půdy pomocí penetrometru na obou pozemcích. Tato opatření byla provedena s cílem získat důležité informace o stavu a struktuře půdy v různých oblastech s různým přejetím, což nám umožnilo zhodnotit efektivitu aplikované technologie CTF na celkové zdraví a produktivitu půdy.

6.2.1 Pozemek 1

Na první pozemku, na kterém bylo uskutečněno měření byl v zemědělském roce 2023 zaset ječmen jarní odrůdy Bojos. Na (Obrázek č. 14) jsou vidět hranice pozemku 1 o výměře 18,28 ha. Pozemek se nachází v okrese Kladno. Půda na pozemku je středně těžká černozem a nachází se téměř na rovině, a proto spadá do erozní skupiny NEO (neohrožen erozí).



Obrázek č. 14 – Hranice pozemku 1 (zdroj: vlastní zpracování)

Ještě před sklizní předcházející plodiny byla pro pozemek vypočítána optimální trajektorie CTF pomocí softwaru Geo-Bird (Obrázek č. 15). Pozemek má značně nerovnoměrné hranice, takže takto optimalizované pojezdové linie mají velký vliv na počet ujetých kilometrů po pozemku. Do softwaru se zadají jednotlivé pracovní záběry zemědělských strojů, které se budou po pozemku pohybovat a program vytvoří tyto linie pro každý jednotlivý stroj. Pro tento pozemek byly použity tři pracovní záběry strojů a to 4, 6 a 24 metrů. Systém CTF byl na pozemku použit okamžitě pro sklizni předešlé plodiny pšenice ozimé.



Obrázek č. 15 – Optimalizované linie CTF pro všechny stroje pohybující se po pozemku.1 (zdroj: vlastní zpracování)

První vstup na pozemek byl v podobě traktoru Xerion 4200 a diskovým podmítačem Vaderstad Carrier 625XL o záběru 6 metrů. Traktor Xerion 4200 o výkonu 461 koní váží 16 400 kilogramů a je osazen pneumatikami 710/85 R38 Michelin AXIOBIB, které je možné odpusťt až na 0,8 baru a snížit tak zhutnění půdy. Diskový podmítač je vybaven jednotkou BioDrill 360, která umožňuje setí meziplodiny rovnou při podmítce. Takto byla na pozemek zasetá meziplodinová směs skládající se ze svazenky vratičolisté a řeřichy seté. Podmítka se zasetím meziplodin proběhla 28.7.2022. Takto včasné setí umožnilo velký nárůst rostlinné hmoty. Meziplodina byla následně ukončena stejnou diskovou kombinací 2.10.2022. Při ukončení meziplodiny bylo zvoleno jen mělké kypření, a to na hloubku 5 cm díky tomu většina rostlinných zbytků meziplodiny zůstala na povrchu a tím se urychlilo její rozkládání. Poslední práce na pozemku proběhla dva týdny po ukončení meziplodiny. Pozemek byl kypřen na zimu pomocí traktoru Xerion 4200 a kombinovaného kypříče Vaderstad TopDown400 o záběru 4 metry. Kypření proběhlo na hloubku 30 centimetrů a tím se dosáhlo dobrého zapravení už tak téměř rozložených rostlinných zbytků meziplodiny.

Následnou první jarní prací na pozemku bylo hnojení minerálními hnojivy pomocí traktoru Deutz-Fahr M410 a rozmetadla na minerální hnojiva Amazone ZA-M 2400. Traktor Deutz-Fahr M410 disponuje motorem o výkonu 130 hp a hmotnost traktoru je 5610 kilogramů. Traktor je obut na pneumatikách Continental o rozměru předních pneumatik 480/70 R24 a zadních 520/70 R38. Tato souprava má pracovní záběr 24 metrů a bylo aplikováno minerální hnojivo Timac Eurofertil TOP 45 NP. Toto předseťové hnojení proběhlo 13.3.2023. Následně na to 17.3.2023 byl pozemek srovnán a připraven na setí pomocí traktoru Deutz-Fahr Agrottron 250TTV a kompaktoru Farnet Kompaktomat K600 o záběru 6 metrů. Traktor Deutz-Fahr 250TTV dosahuje provozní hmotnosti 9100 kilogramů a jeho motor má výkon 250 hp. Pneumatiky na tomto traktoru jsou značky Mitas o rozměrech 600/70 R30 vpředu a 710/70 R38 vzadu. Předseťová příprava připravila osevní lůžka na 3 centimetry a zároveň zamíchala minerální hnojivo do půdy. Setí ječmene jarního proběhlo 21.3.2023 a to pomocí traktoru Deutz-Fahr Agrottron 180.7 a secího stroje Horsch Pronto 4DC o záběru 4 metry a velikosti zásobníku 2800 litrů. Traktor Deutz-Fahr 180.7 motor o výkonu 180 hp a jeho hmotnost je 6750 kilogramů. Traktor využívá pneumatiky značky Pirelli o rozměrech 540/65 R30 vpředu a 650/65 R38 vzadu. Hloubka uložení osiva se pohybovala okolo 2 centimetrů. Poslední tři operace na pozemku před sklizní byl postřik látek na ochranu rostlin, a to pomocí traktoru Deutz-Fahr M410, ale tentokrát obutým na úzkých pneumatikách. Za tímto traktorem byl připojen tažený postřikovač Amazone UX3200. Objem nádrže taženého postřikovače je 3200 litrů a pracovní záběr 24 metrů. Jednotlivé aplikace pesticidů proběhly 30.4.2023, 19.5.2023 a 25.5.2023. Poslední operací na pozemku byla sklizeň pomocí vytrásadlové sklízečky mlátičky Claas Lexion 650. Sklizeň mlátičky se také po pozemku pohybovala po optimalizovaných liniích, ale nebyla už zahrnuta do výsledků měření. Odběry rostlin a měření půdy proběhly na pozemku jednou v průběhu růstu 30.5.2023 a jednou těsně před sklizní 4.8.2023.

Všechny tyto pracovní operace se probíhaly na pozemku podle optimalizovaných linií a všechny stroje byly osazeny navigací s korekčním signálem RTK pro dosažení požadované přesnosti (Obrázek č. 16).

Suggestion 1					
173	85.24 km	1.317 ha	43.7%	8:47	
Aplikace postřiků a hnojení (24m, 16/km/h)			<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization	
94	46.23 km	0.000 ha	32.7%	3:55	
Setí (4m, 14/km/h)			<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization	
63	31.04 km	0.401 ha	22.0%	3:45	
Zpracování půdy (6m, 12/km/h)			<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization	
16	7.97 km	0.917 ha	5.7%	1:06	

Obrázek č. 16 – Údaje k optimalizovaným liniím na pozemku 1 (zdroj: vlastní zpracování)

6.2.2 Pozemek 2

Druhý pozemek, na kterém bylo uskutečněné měření se rovněž nachází v okrese Kladno. Na pozemku 2 (Obrázek č. 17) o rozloze 19,23 ha byla v roce 2023 zaseta cukrová řepa. Půda na pozemku je středně těžká černozem stejně jako u pozemku 1. Pozemek 2 se nachází na mírném svahu a od roku 2025 dle nových vyhlášek spadá do erozní skupiny MEO (Mírně erozně ohrožený).



Obrázek č. 17 – Hranice pozemku 2 (zdroj: vlastní zpracování)

Stejně jako u pozemku 1 tak i u pozemku 2 byly vytvořeny optimální linie pojezdu pomocí programu Geo-Bird (Obrázek č. 18). Takto vytvořené linie byly použity pro všechny stroje s navigací pohybující se po pozemku. Z důvodu využití zemědělských služeb u několika operací nebylo tak jednoduché sjednotit jednotlivé záběry strojů. Proto zde nebyl použit úplný systém CTF, ale i tak se dosáhlo snížení přejeté plochy díky tomu, že se všechny zemědělské stroje pohybovali po liniích. Na pozemku 2 byly použity záběry pracovních strojů 4, 6 a 24 metrů a k tomu navíc pracovní záběry strojů služeb a to 8 a 5,4 metru. Stejně jako u pozemku 1 tak do měření není zahrnuta sklizeň, která u cukrové řepy tvoří téměř 100% přejeté plochy z důvodu využití krabího chodu u samojízdného sklízeče.



Obrázek č. 18 – Optimalizované line pohybu po pozemku 2 v programu Geo-Bird (zdroj: vlastní zpracování)

První operace na pozemku po sklizni předplodiny ječmene jarního byla podmínka, která proběhla 28.7.2022. Podmínku prováděl traktor Deutz-Fahr 250TTV s diskovým podmíněčem Vaderstad Carrier 625XL o záběru 6 metrů, a to na hloubku 5 centimetrů. Poté následovala další podmínka a to 16.8.2022 stejnou soupravou. Tato druhá podmínka měla za úkol zlikvidovat výdrol ječmene jarního, který je vždy velice agresivní a zároveň proběhlo zasetí meziplodiny. Hloubka zpracování byla 10 centimetrů a meziplodinová směs se skládala z jetele alexandrijského, lničky seté a svazenky vratičolisté. Díky dostatečnému množství srážek vytvořila meziplodina dost rostlinné hmoty a ta byla následně ukončena mechanicky a to dne 31.10.2022. Ukončení meziplodiny proběhlo pomocí pracovní soupravy Deutz-Fahr 250TTV s diskovým podmíněčem Vaderstad Carrier 625XL, a to na hloubku 5 centimetrů. Dne 20.11.2022 byl na pozemek rozmetán slepičí hnůj. K této operaci byly využity zemědělské služby. Hnůj byl rozmetán traktorem John Deere 7810 a rozmetadlem RUR 10 o pracovním záběru 8 metrů. Traktor John Deere 7810 disponuje motorem o výkonu 175 hp a provozní hmotností 8300 kilogramů. Na traktoru byly pneumatiky o rozměrech 480/70 R24 vpředu a 520/70 R38 vzadu. Tato souprava jako jediná

nedisponovala satelitní navigací, a tak pro udržení přesnosti v optimalizovaných liniích byla trajektorie v oblasti měření vyznačena kolíky podle, kterých se souprava pohybovala. Takto rozmetaný slepičí hnůj a zbylá rostlinná hmota po meziplodně byly následující den a to 21.11.2022 zapraveny do půdy pomocí pracovní soupravy Deutz-Fahr 250TTV a Horsch Terrano 3FX do hloubky 30 centimetrů.

První jarní operace na pozemku 2 proběhla 21.3.2023 v podobě rozmetání minerálního hnojiva před setím, a to pomocí traktoru Deutz-Fahr M410 a rozmetadla na minerální hnojiva Amazone ZA-M 2400 o záběru 24 metrů. Poté následovala příprava před setím traktorem Xerion 4200 a kompaktozemědělským strojem Farnet Kompaktomat K600 o záběru 6 metrů. Z důvodu měření byla vyhrazena plocha, kde byla tato příprava vynechána a bylo tak možné zkoumat vývoj rostlin bez předsetěvé přípravy. Po této operaci následovalo setí cukrové řepy, které proběhlo 22.3.2023. K setí byly také využity zemědělské služby. Setí vykonával traktor Fendt 720 Vario a přesný secí stroj Vaderstad Tempo V12 (Obrázek č. 19). Traktor Fendt 720 Vario je poháněný motorem o výkonu 200 hp a provozní hmotnost traktoru je 8800 kilogramů. Traktor byl obut na dvoumotažních pneumatikách o rozměrech 320/85 R38 vpředu a 320/90 R46 vzadu. Vaderstad Tempo V12 je dvanácti řádkový přesný secí stroj. Rozteč jednotlivých řádků byla nastavena na 45 centimetrů, a tak celkový pracovní záběr secí kombinace dosahoval 5,4 metru. Osivo cukrové řepy bylo ukládáno do hloubky 3 centimetrů.



Obrázek č. 19 – Fendt 720 Vario a Vaderstad Tempo V12 (zdroj: Agro HD – photography)

Po zasetí cukrové řepy probíhalo na pozemku už jen chemické ošetření rostlin traktorem Deutz-Fahr M410 s taženým postřikovačem Amazone UX3200 o záběru 24 metrů. Chemické ošetření cukrové řepy proběhlo celkem 6-krát a to: (22.4.2023, 10.5.2023, 19.5.2023, 29.5.2023, 8.6.2023 a 3.7.2023). Tyto všechny pracovní operace po pozemku, mimo sklizně, měly za důsledek, že přejetá plocha na pozemku dosahovala 60,6% (Obrázek č. 20). Sklizeň cukrové řepy proběhla 17.9.2023 pomocí sklízěče Holmer Terra Dos T3. Sklizeň není do měření zahrnuta.

Suggestion 1					
181	152.13 km	2.870 ha	60.6%	14:40	
Aplikace postřiků a hnojení (24m, 16/km/h)		<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization		
59	48.78 km	0.000 ha	32.8%	3:42	
Rozmetání hnoje (8m, 15/km/h)		<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization		
10	8.47 km	1.182 ha	5.7%	0:46	
Setř cukrová řepa (5.4m, 13/km/h)		<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization		
29	24.50 km	0.000 ha	16.5%	2:37	
Zpracování půdy (4m, 14/km/h)		<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization		
43	37.46 km	1.085 ha	25.0%	3:43	
Zpracování půdy (6m, 12/km/h)		<input checked="" type="checkbox"/>	CTF Optimization		
40	32.92 km	0.603 ha	22.1%	3:50	

Obrázek č. 20 – Údaje o optimalizovaných přejezdech na pozemku 2 (zdroj: vlastní zpracování)

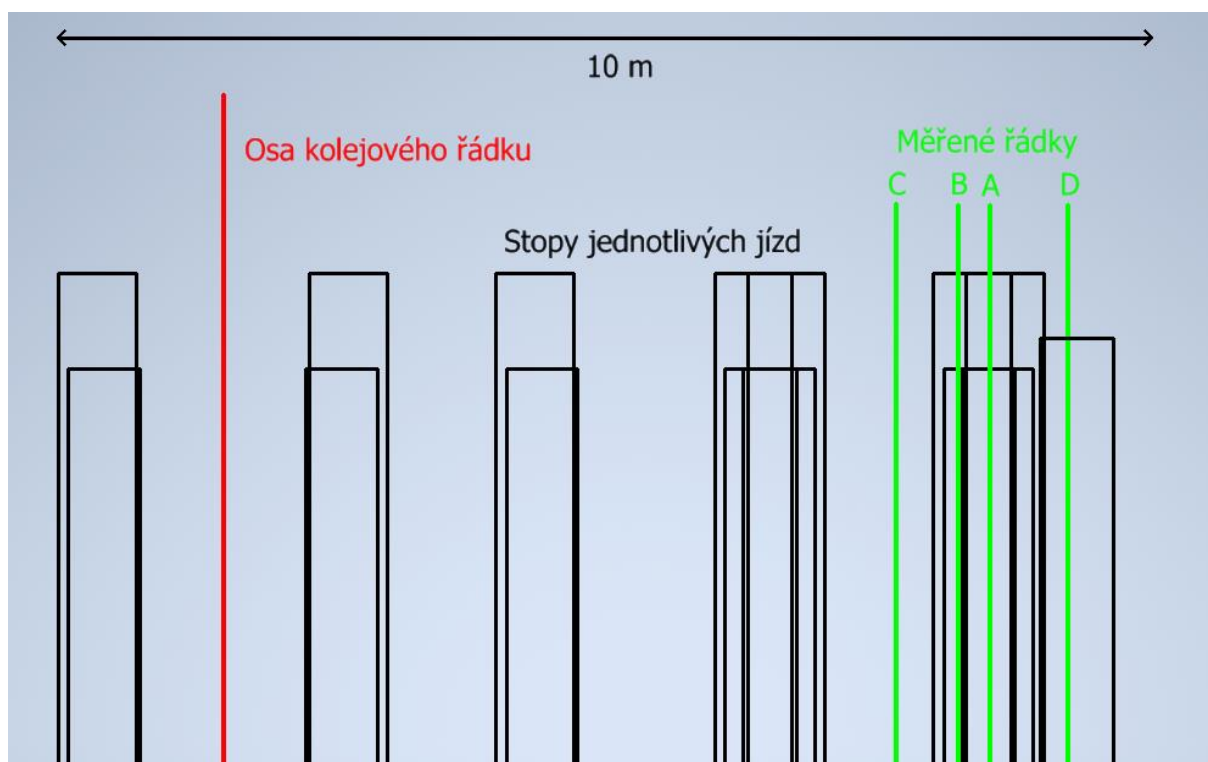
7 Měření vývoje rostlin na jednotlivých pozemcích

Hlavním úkolem měření na obou pozemcích bylo zjistit jaký má vliv přejetí pozemku na vývoj rostlin během růstu. A potvrdit tak, že systém CTF má významný vliv na udržitelné hospodaření a zachování kvality půdy. Proto byli, jak na pozemku 1, tak i na pozemku 2, v průběhu vegetace odebírány rostliny z předem určených řádků, u kterých bylo známo kolikrát byla půda před zasetím přejeta a jakým strojem. Na pozemku 1 byly vzorky ječmene jarního v průběhu vegetace odebírány dvakrát a při prvním odběru byl měřen i odpor půdy pomocí penetrometru. Druhý odběr na pozemku 1 byl těsně před sklizní ječmene jarního a měl za úkol zjistit finální vývoj rostliny těsně před tím, než je z pole sklizena. Na pozemku 2, na kterém byla pěstována cukrová řepa, byl odběr vzorků třikrát, a to z důvodu delšího období vegetace oproti ječmenu jarnímu. Stejně jako na pozemku 1, tak i na pozemku dva, byl při prvním odběru zjištěn odpor půdy pomocí penetrometru. Všechny odebrané vzorky byly podrobně zhodnoceny a v následujících podkapitolách podrobně popsány.

7.1 Vývoj rostlin pozemek 1

Na pozemku 1 byl po dobu jednoho zemědělského roku sledován a vyhodnocován průběh růstu ječmenu jarního. Setí ječmene proběhlo 21.3.2023 secím strojem Horsch Pronto 4DC. Rozteč řádku tohoto secího stroje je od výroby nastavena na 15 centimetrů. Výsevek na měřené části pozemku byl 180 kg/ha, což odpovídá 3,5 MKS/ha. Dle předchozích návrhů optimalizovaných jízd CTF po pozemku byl v programu AutoCAD nakreslen přesný vzor jednotlivých jízd dle přesných rozměrů strojů a pneumatik, které se na pozemku pohybovali (Obrázek č. 21). Na tomto nákresu dle skutečných rozměrů je také možné vidět přesné rozmístění jednotlivých měřených řádků v průběhu celého zemědělského roku. Nákres také sloužil k vyměření těchto řádků na pozemku, aby později bylo možné vzorky odebrat přesně z požadovaných míst, které jsou potřebná do měření. Okamžitě po zasetí byla na pozemku vyznačena pomocí dřevěných kolíků osa kolejového řádku, od které byly pak dále v průběhu růstu vyměřeny a označeny, pomocí dřevěných kolíků, jednotlivé měřené řádky.

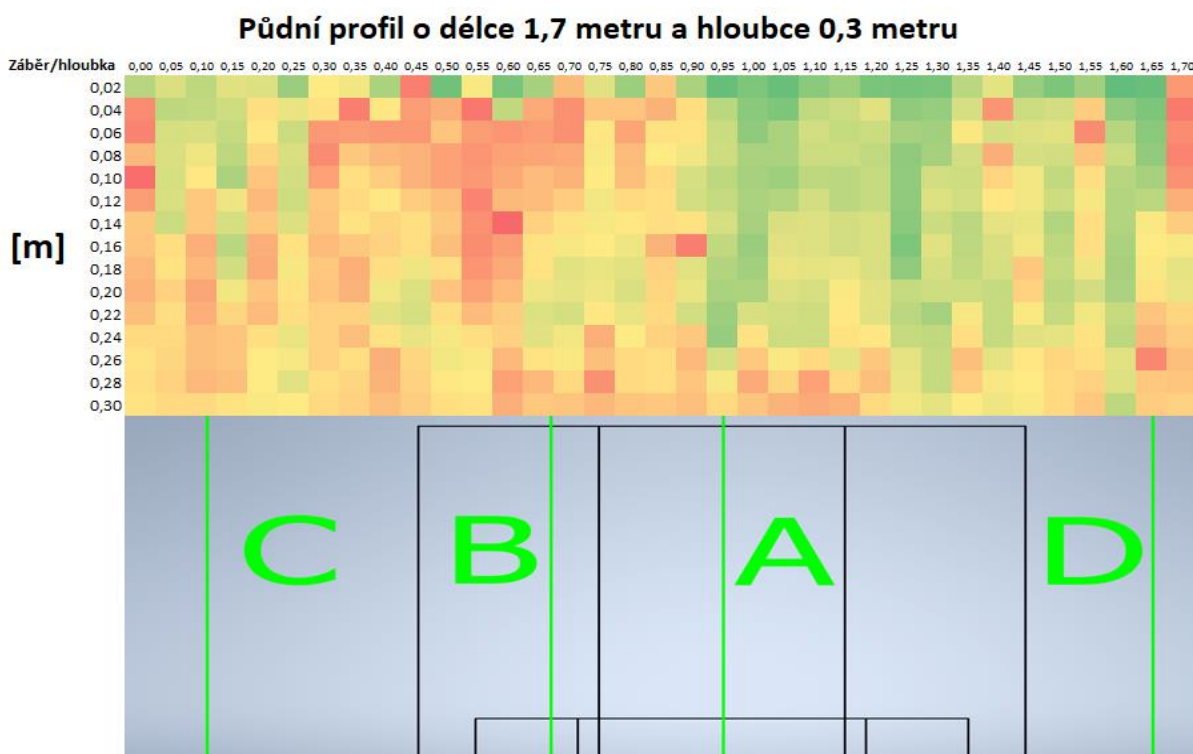
Řádek s označením (A) byl před uložením osiva přejet v průběhu roku 4-krát, řádek s označením (B) byl přejet 2-krát, řádek s označením (C) nebyl v průběhu roku přejet ani jednou a poslední řádek s označením (D) byl přejet 1-krát v průběhu roku. Rozmístění a označení řádků bylo pak následně respektováno u všech měření v průběhu roku. U všech odběrů vzorků bylo odebíráno 0,5 metru každého měřeného řádku a tento odběr byl opakován 6-krát.



Obrázek č. 21 – Náskres přejezdu jednotlivých jízd po pozemku a poloha měřených řádků (zdroj: vlastní zpracování)

Dále byl na takto vyměřených řádcích změřen odpor půdy pomocí penetrometru (Obrázek č. 22). Odpor byl měřen 30.5.2023 při prvním odběru vzorku ječmenu jarního. Hodnoty z penetrometru byly zpracovány v programu Excel a díky tomu je krásně na obrázku vidět půdní profil do hloubky 30 centimetrů a šířce 1,7 metru. K takto zpracovanému odporu půdy byl vložen náskres jednotlivých přejezdů a řádků o stejném rozměru, aby jednotlivé jízdy odpovídaly rozměrům měření penetrometru. Měření penetrometrem probíhalo v šířce profilu každých 5 centimetrů, aby byl profil odporu půdy co nepřesnější.

Z (Obrázek č. 22) je vidět červená plocha s větším odporem penetrometru a ta téměř odpovídá koncentraci přejetí na povrchu. Na zobrazený odpor půdního profilu má taky vliv, že některé jízdy po pozemku proběhly na jaře a tím pádem až po zimním hlubokém zpracování půdy. Tyto jízdy nebyly narušeny tímto kypřením a tím pádem jejich odraz odpor v půdním profilu je vyšší.



Obrázek č. 22 – Půdní profil odporu penetrometru ve srovnání s jednotlivými přejezdy a řádky (zdroj: vlastní zpracování)

7.1.1 Odběr 30.5.2023

První odběr ječmene jarního na pozemku 1 probíhal 30.5.2023. Ječmen byl v tuto dobu v růstové fázi sloupkování BBCH 37-49. Z každého měřeného řádku bylo odebráno 0,5 metru se šesti opakováními (Obrázek č. 23). Celkem při tomto měření bylo odebráno 24 vzorků, které byly následně zpracovávány. U všech vzorků byl při tomto odběru počítán počet jednotlivých rostlin, počet odnoží každé rostliny a díky tomu bylo možné vypočítat průměrný počet odnoží jedné rostliny u každého měřeného řádku. Když byly všechny rostliny takto spočteny, byl každý vzorek vložen do sušící pece na 24 hodin. Po vysušení byla měřena hmotnost každého vzorku. Ze všech takto naměřených vzorků byly vytvořeny grafy znázorňující vývoj rostlin na jednotlivých měřených řádcích.



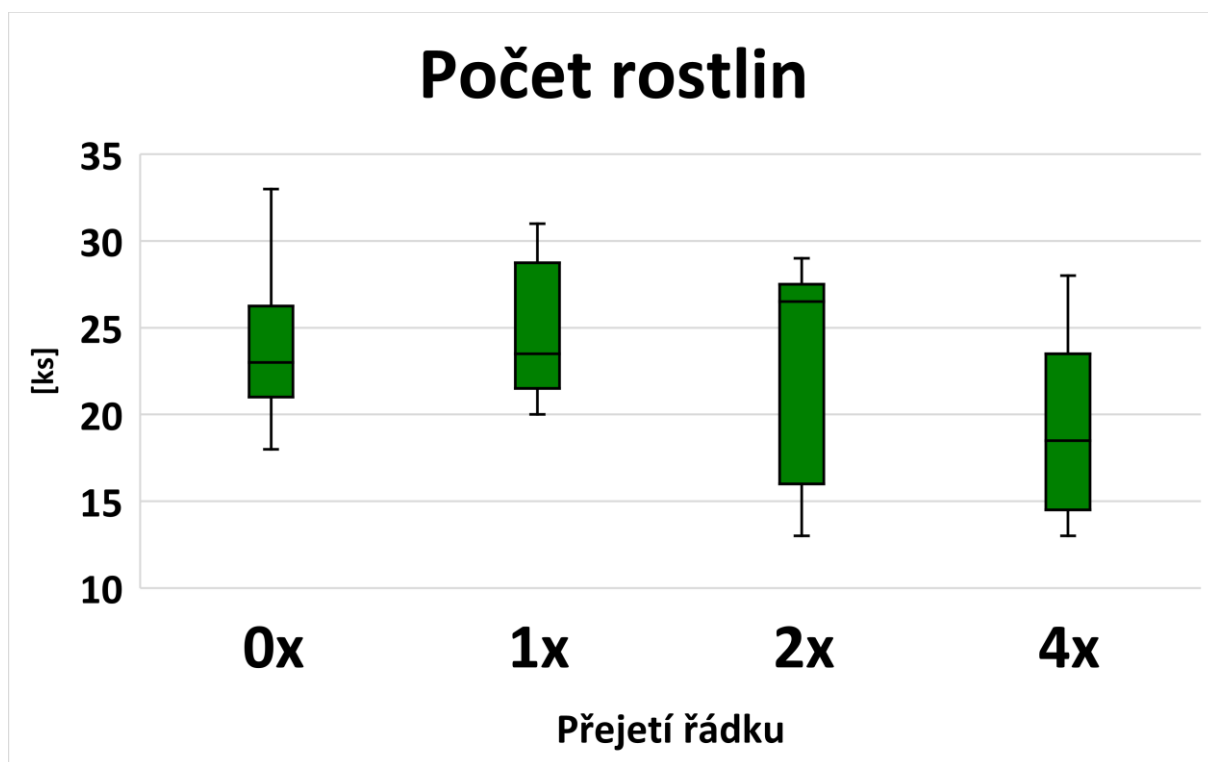
Obrázek č. 23 - Odběr 0,5 metru řádku ječmene (zdroj: vlastní foto)

V (Tabulka č. 1) jsou uvedeny všechny průměrné hodnoty měřených vzorků na jednotlivých řádcích. Všechny naměřené hodnoty byly statisticky testovány v programu Statistica. Testováno bylo, zda jednotlivé přejezdy mají statistický význam na vývoj rostlin. Hodnota **p** vyšla menší jak **p=0.05** a díky tomu je možné říct, že u tohoto měření přejezdy mají významný vliv na vývoj rostlin.

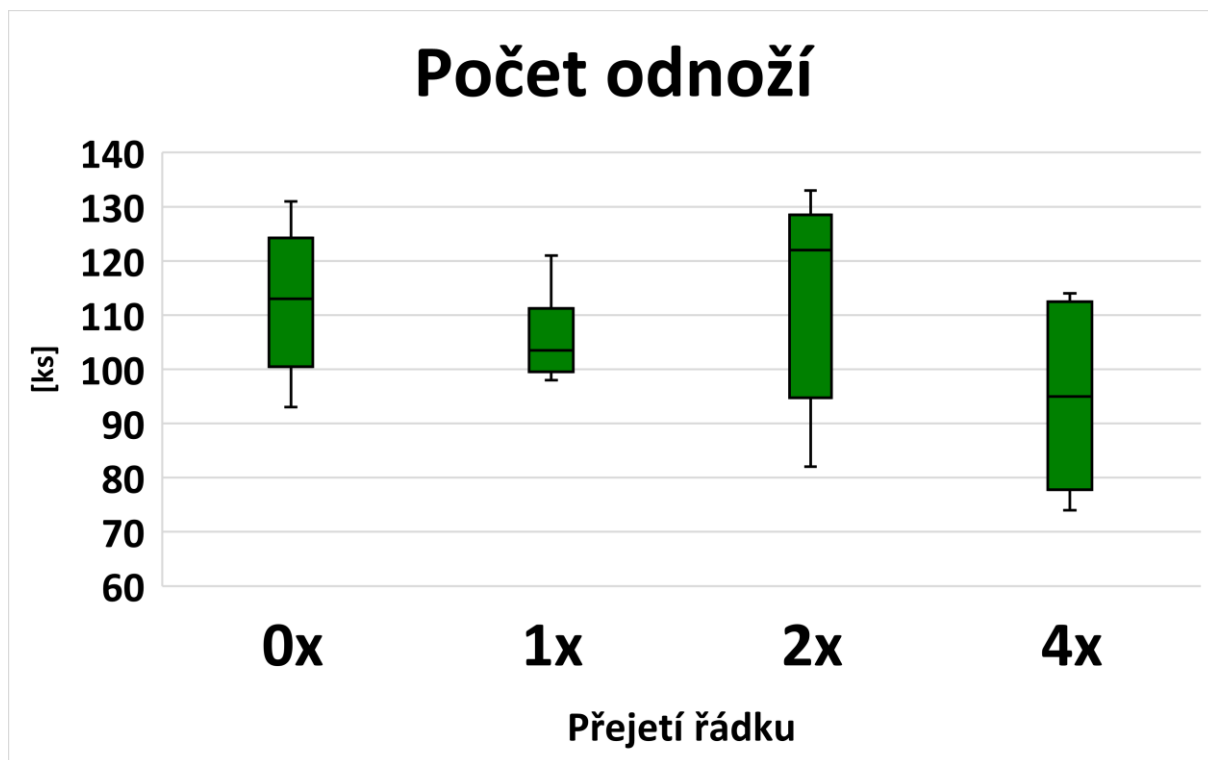
Přejetí:	Vzorek:	Celkový počet rostlin (ks)		Celkový počet odnoží jednoho vzorku(ks)		Počet odnoží jedné rostliny (ks)		Suchá hmotnost (g)		
		Průměr:	1	Průměr:	1	Průměr:	1	Průměr:	1	2
0x	C	23,8	AA	112,5	AA	4,8	AA	39,99	AA	
1x	D	24,7	AA	105,7	AA	4,3	AA	45,00	AA	
2x	B	23,2	AA	114,2	AA	5,1	AA	42,25	AA	
4x	A	19,2	AA	94,8	AA	5,1	AA	26,10		BB
p= 0,0019										

Tabulka č. 1 – Průměrné naměřené hodnoty vývoje rostlin (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Graf č. 1) je vyobrazen počet kusů rostlin na jednotlivých řádcích. Z grafu je dobře vidět, že u řádku 0-krát a 1-krát přejetém je počet rostlin o něco málo vyšší a také více pravidelný oproti řádku 2-krát a 4-krát přejetém. Nejmenší počet rostlin je v průměru na řádku 4-krát přejetém, což potvrzuje, že počet přejetí má na rostliny vliv.



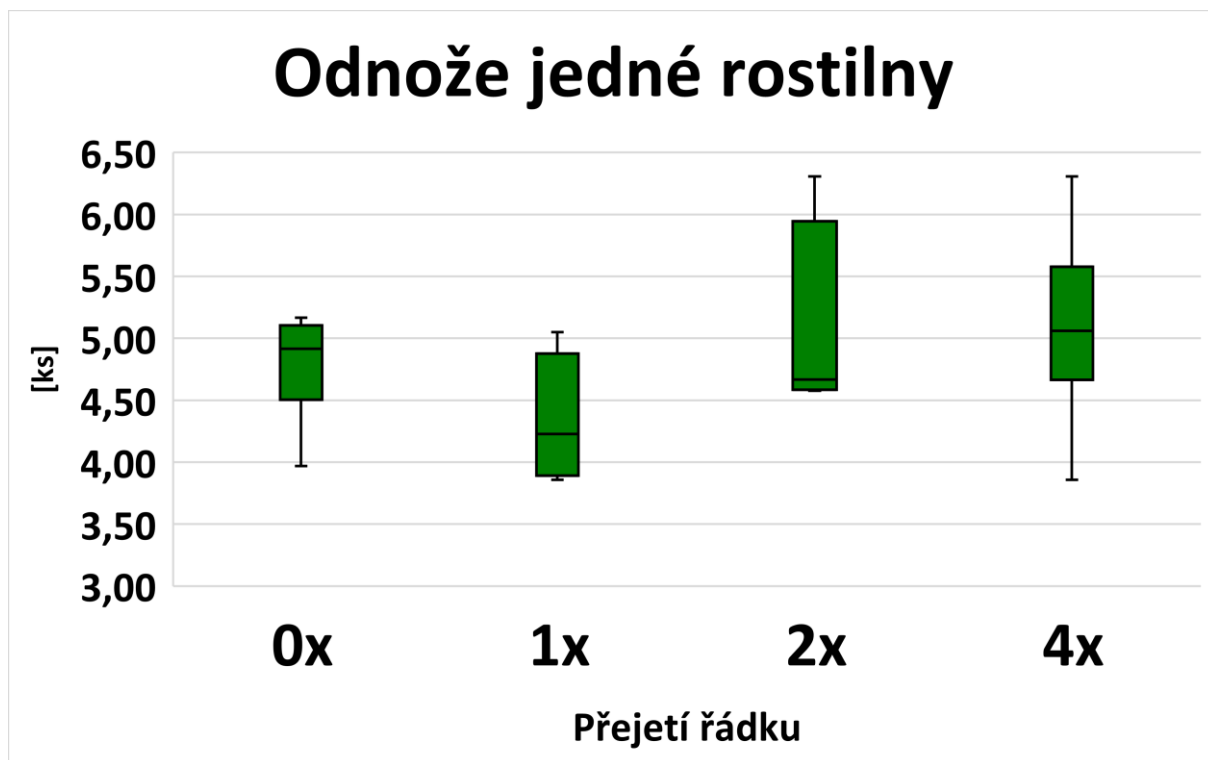
Graf č. 1 – Graf počtu rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)



Graf č. 2 – Graf počtu odnoží na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

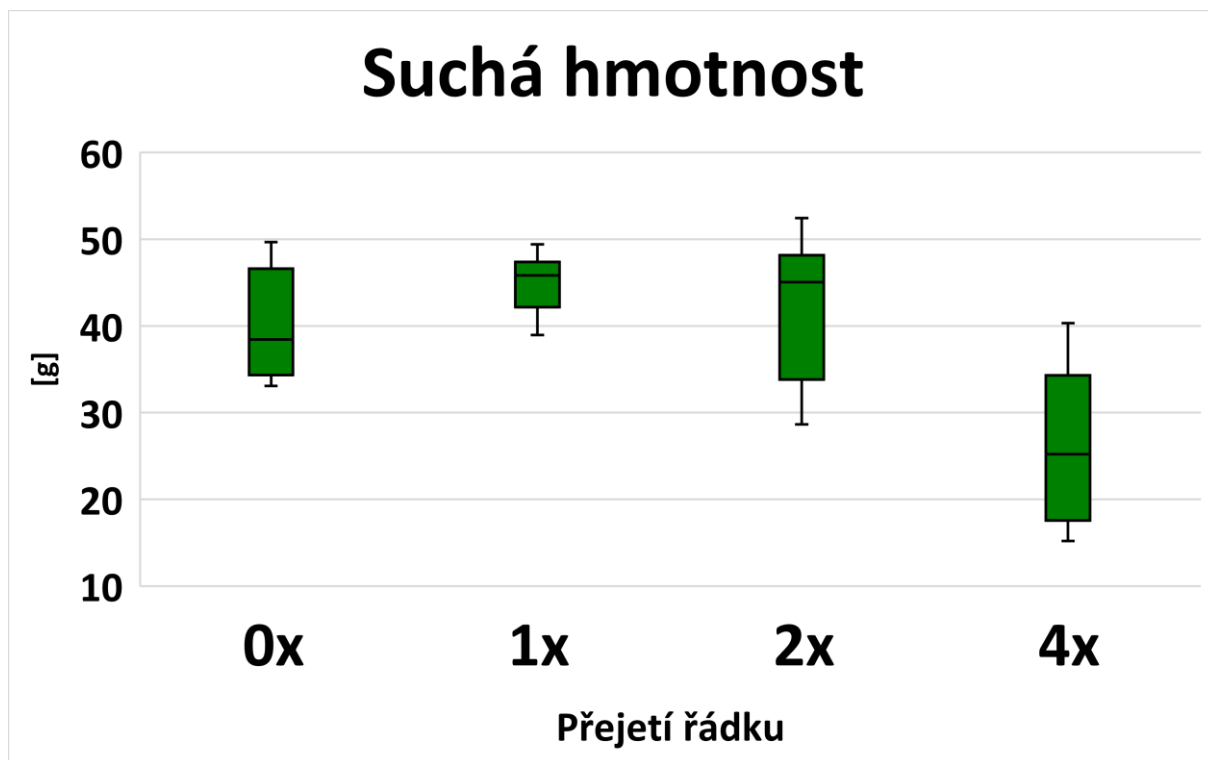
Na (Graf č. 2) je zobrazen počet odnoží na jednotlivých řádcích. Zde jsou hodnoty podobné jako u prvního grafu. U řádku 0-krát a 1-krát přejetého je vidět významně nižší rozptyl jednotlivých odnoží. Řádek 4-krát přejetý má téměř až o 10% nižší počet odnoží než ostatní řádky.

Z (Graf č. 3) je možné vidět průměrný počet odnoží jedné rostliny. U řádků, které jsou 0-krát a 1-krát přejeté je možné vidět poměrně malý rozptyl, který se pohybuje mezi 4 až 5 odnožemi na jednu rostlinu. U řádku 2-krát přejetého je tento rozptyl vyšší a pohybuje se okolo 4,5 až 6,5 odnoží na jednu rostlinu. Řádek přejetý 4-krát má tento rozptyl odnoží nejvyšší a pohybuje se mezi 3,5 až 6,5 odnoží na jednu rostlinu.



Graf č. 3 – Graf s průměrným počtem odnoží jedné rostliny na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

Poslední (Graf č. 4) tohoto odběru ukazuje průměrnou suchou hmotnost rostlin na jednotlivých řádcích. Zde je možné vidět, že u řádků přejetých 0-krát, 1-krát a 2-krát je průměrná suchá hmotnost rostlin podobná a pohybuje se mezi 30 až 50 gramy. U řádku přejetému 4-krát je možné vidět významný rozdíl průměrné suché hmotnosti oproti ostatním řádkům. Jeho hodnota se pohybuje mezi 10 až 40 gramy.



Graf č. 4 – Graf průměrné suché hmotnosti rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

Z vyhodnocení měření všech vzorků z 30.5.2023 je možné vidět, že přejetí má značně významný vliv na vývoj rostliny. U řádku přejetího 0-krát a 1- krát není vliv na rostlinu až tak významný jako u řádku přejetího 2-krát a 4-krát. Z výše uvedených grafů je zřejmé, že největší vliv na rostlinu měl řádek, který byl přejetí 4-krát. Rostliny jsou zde chudší a výrazně méně vyrovnané oproti ostatním měřeným řádkům.

7.1.2 Odběr 4.8.2023

Druhý a poslední odběr na pozemku 1 proběhl těsně před sklizní jarního ječmene a to 4.8.2023 (Obrázek č. 24). Rostliny byly odebírány opět jako 0,5 metru jednoho řádku se šesti opakováními. Takto odebraný vzorek byl vložen celý do pytle. U všech vzorků byla následně počítána průměrná délka celého odebraného stopku, počet všech klasů jednoho vzorku a průměrný počet zrn v klasu. Po vyhodnocení těchto měření byl ječmen vymláčen na stacionární mlátičce a následně pročištěn na vzduchové čističce zrna. Takto vyčištěné vzorky zrn byly následně zváženy. Poté byla změřena hmotnost tisíce zrn a objemová hmotnost všech vzorků.



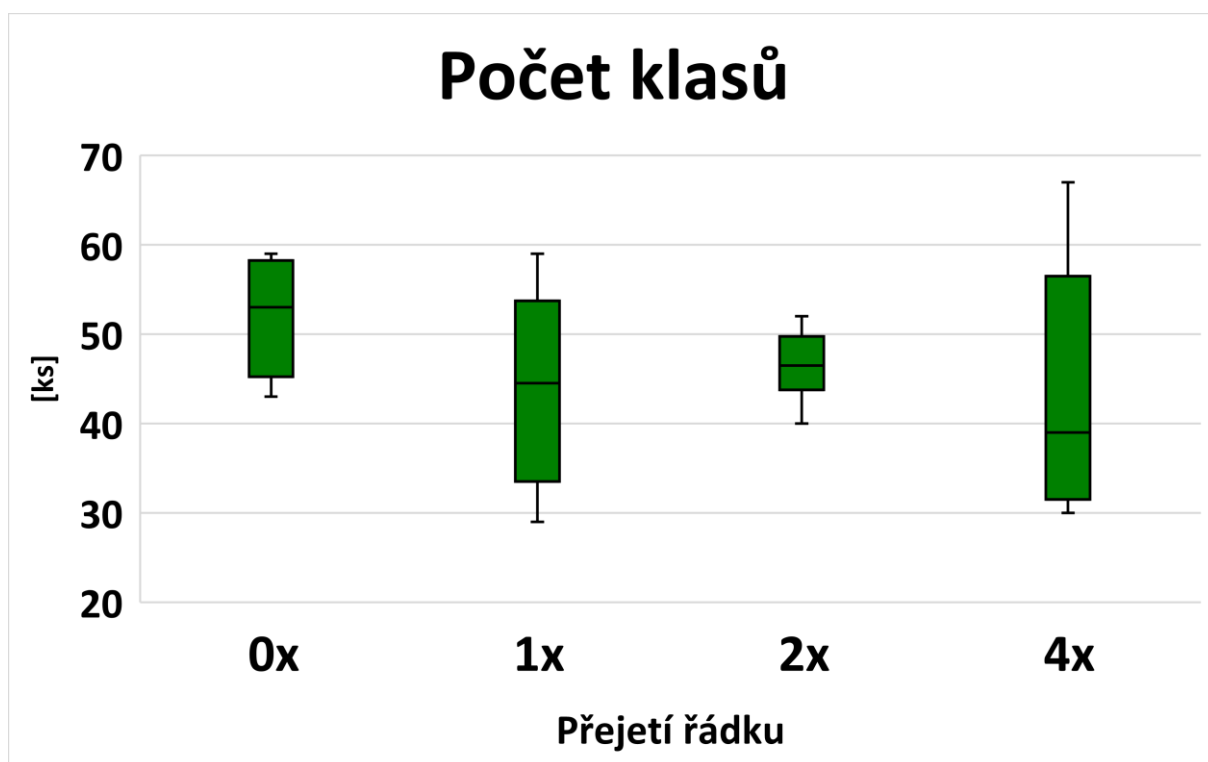
Obrázek č. 24 - Odběr vzorku ječmene jarního před sklizní (zdroj: vlastní zpracování)

V (Tabulka č. 2) jsou uvedeny průměry všech měřených parametrů. Hodnota **p** vyšla menší jak $p=0,05$ a díky tomu je možné říct, že přejezdy jednotlivých řádků mají vliv na vývoj rostlin i těsně před sklizní.

Přejetí:	Vzorek:	Počet klasů (ks)		Stopek délka (cm)			Průměrný počet zrn v klasu (ks)		Hmotnost všech zrn vzorku (g)		HTZ (g)			Objemová hmotnost (kg/m ³)	
		Průměr:	1	Průměr:	1	2	Průměr:	1	Průměr:	1	Průměr:	1	2	Průměr:	1
0x	C	52,00	AA	83,17		BB	24,42	AA	64,46	AA	44,50	AA	BB	671,55	AA
1x	D	44,00	AA	77,67	AA	BB	25,00	AA	61,16	AA	43,97	AA		673,36	AA
2x	B	46,50	AA	68,50	AA		24,17	AA	56,07	AA	46,05		BB	676,57	AA
4x	A	43,33	AA	67,83	AA		25,17	AA	52,21	AA	45,03	AA	BB	668,45	AA
p=0,0128															

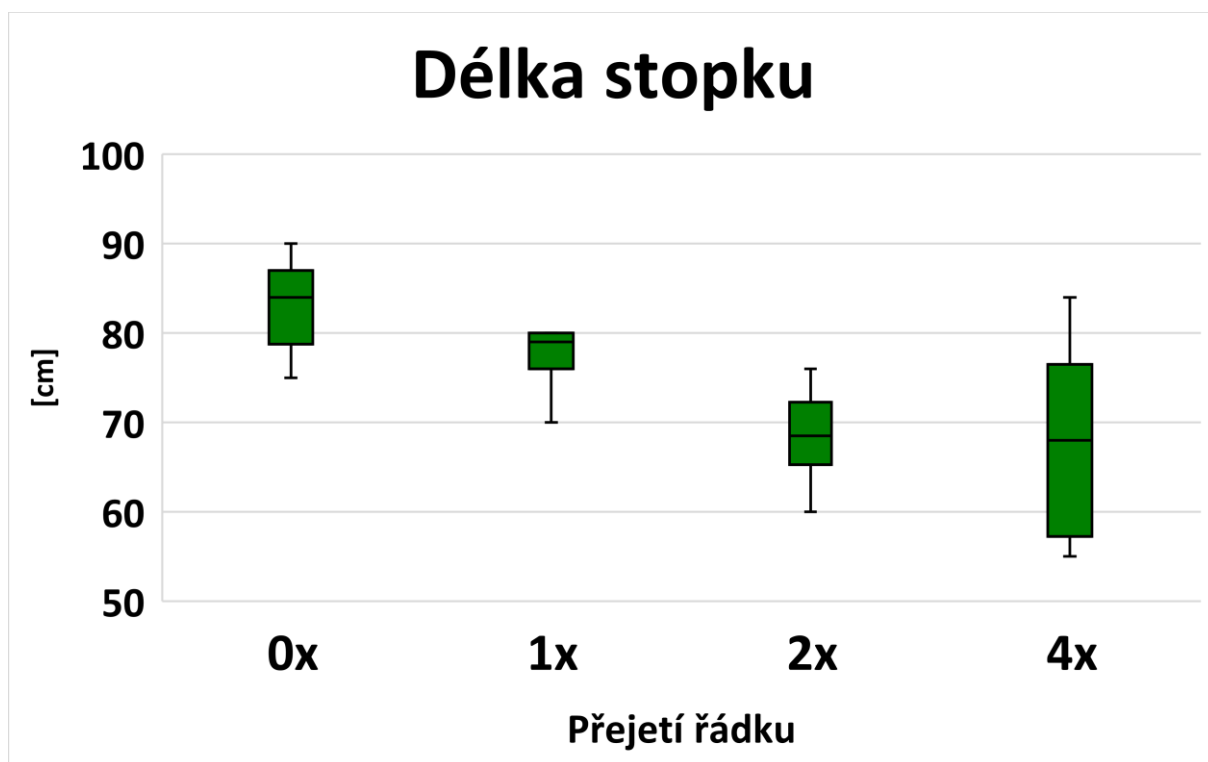
Tabulka č. 2 – Průměrné naměřené hodnoty vzorků odebraných 4.8.2023 (zdroj: vlastní zpracování)

(Graf č. 5) zobrazuje průměrný počet klasů odebraných vzorků u jednotlivých přejezdů. U 0-krát přejeté plochy dosahuje průměrný počet klasů hodnoty 45 až 60 klasů. U 1-krát přejeté plochy je rozptyl počtu klasů značně vyšší a pohybuje se od 30 až 60 klasů. Naopak u 2-krát přejeté plochy je rozptyl ze všech měřených řádků nejmenší a to 40 až 55 klasů. Největší rozptyl klasů je u řádku přejetého 4-krát a to 30 až 70 klasů.



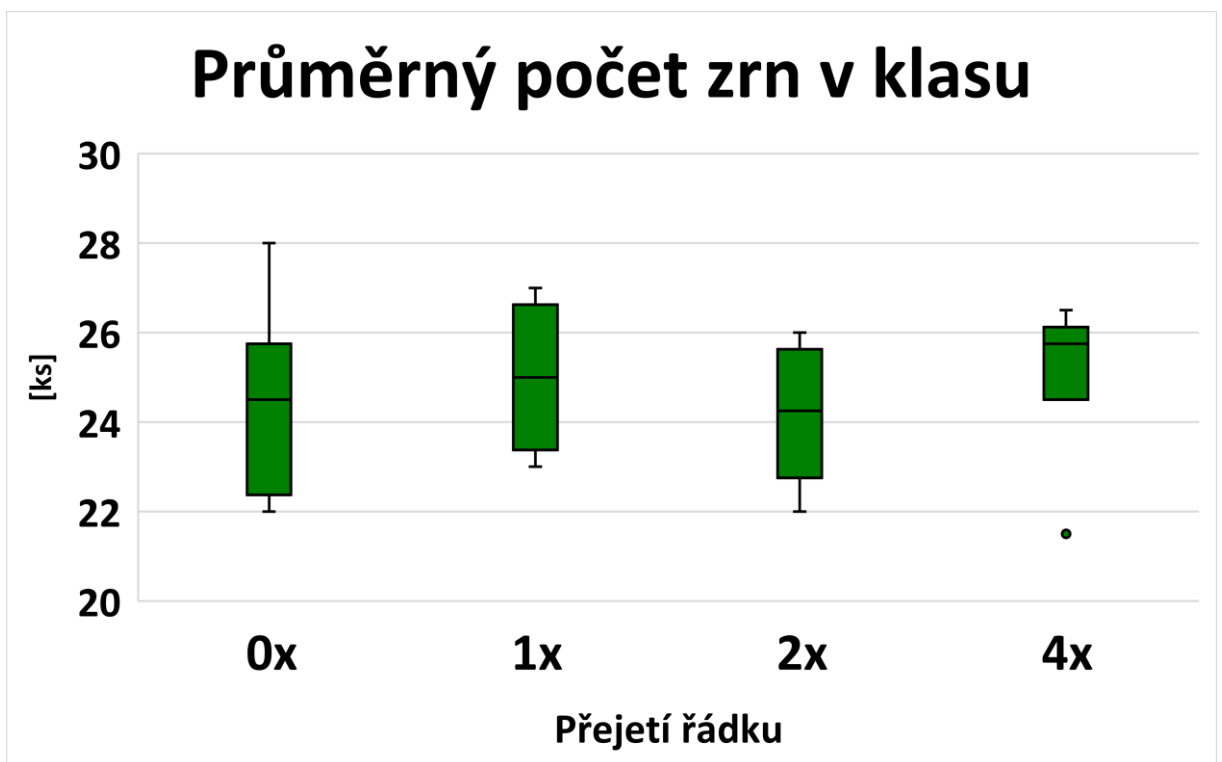
Graf č. 5 – Průměrný počet klasů odebraných vzorků jednotlivých přejezdu (zdroj: vlastní zpracování)

Jako další (Graf č. 6) vyobrazuje průměrnou délku stopku. Největší hodnoty dosahuje 0-krát přejetý řádek. Zde se průměrná délka stopku pohybuje od 75 až do 90 centimetrů. Nejmenší rozptyl hodnot dosahuje 1-krát přejetý řádek a to mezi 70 až 80 centimetry. U 2-krát přejetého řádku je rozptyl hodnot taky malý a to mezi 60 až 75 centimetry. Naopak u 4-krát přejetého řádku je rozptyl hodnot největší a to mezi 55 až 85 centimetry. Jako u ostatních naměřených hodnot tak i zde je 4-krát přejetý řádek nejvíce nevyrovnaný.



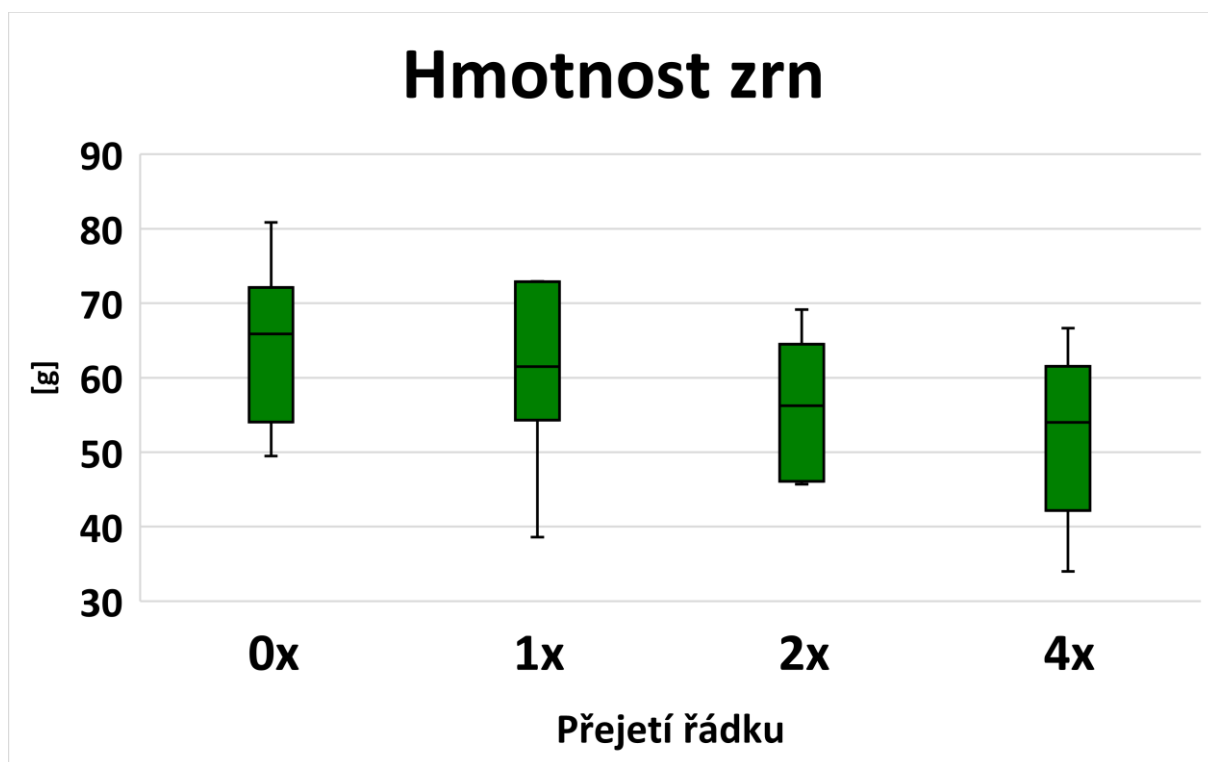
Graf č. 6 – Graf průměrných délek stopku na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

Jako další je (Graf č. 7), který ukazuje průměrný počet zrn v klasu u jednotlivých vzorků. Zde se střední hodnoty nijak extra neliší a u všech řádků se pohybují mezi 24 až 25 zrn. U řádku přejetého 0-krát je naopak největší rozptyl hodnot a to mezi 22 až 28 zrn v klasu. Řádek přejetí 1-krát má rozptyl nižší a to mezi 23 až 27 zrn. Podobně nízký rozptyl je také u řádku 2-krát přejetého a 22 až 26 zrn. U řádku přejetého 4-krát je u těchto měřených hodnot rozptyl naopak nejmenší a pohybuje se mezi 24 až 26 zrn v klasu. Jedna hodnota zde vyčnívá jako extrém a zde je průměrný počet zrn v klasu jen 21,5.



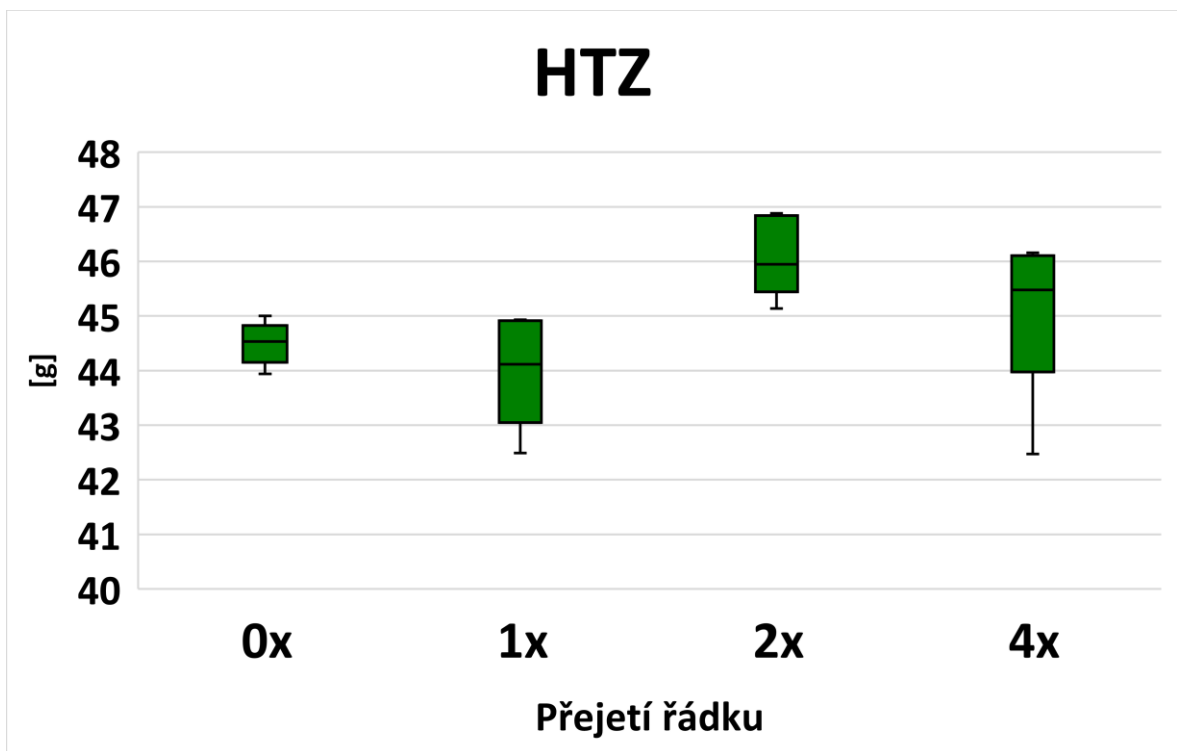
Graf č. 7 – Graf ukazující průměrný počet zrn v klasu na jednotlivých přejezdech (zdroj: vlastní zpracování)

Následující měření proběhlo po vymláčení všech vzorků. U vymláčeného zrna byla změřena hmotnost (Graf č. 8). Rozptyl hmotnosti je u všech přejetí téměř totožný. Řádek 0-krát přejetý má rozptyl hmotnosti zrn mezi 50 až 80 gramy. U řádku 1-krát přejetého je tento rozptyl mezi 38 až 75 gramy. Poměrně nízký rozptyl naměřených hodnot je u 2-krát přejetého řádku a to mezi 46 až 70 gramy. U řádku přejetého 4-krát se rozptyl hmotnosti zrn pohybuje mezi 33 až 67 gramy a hmotnost zrn je průměrně nejmenší.



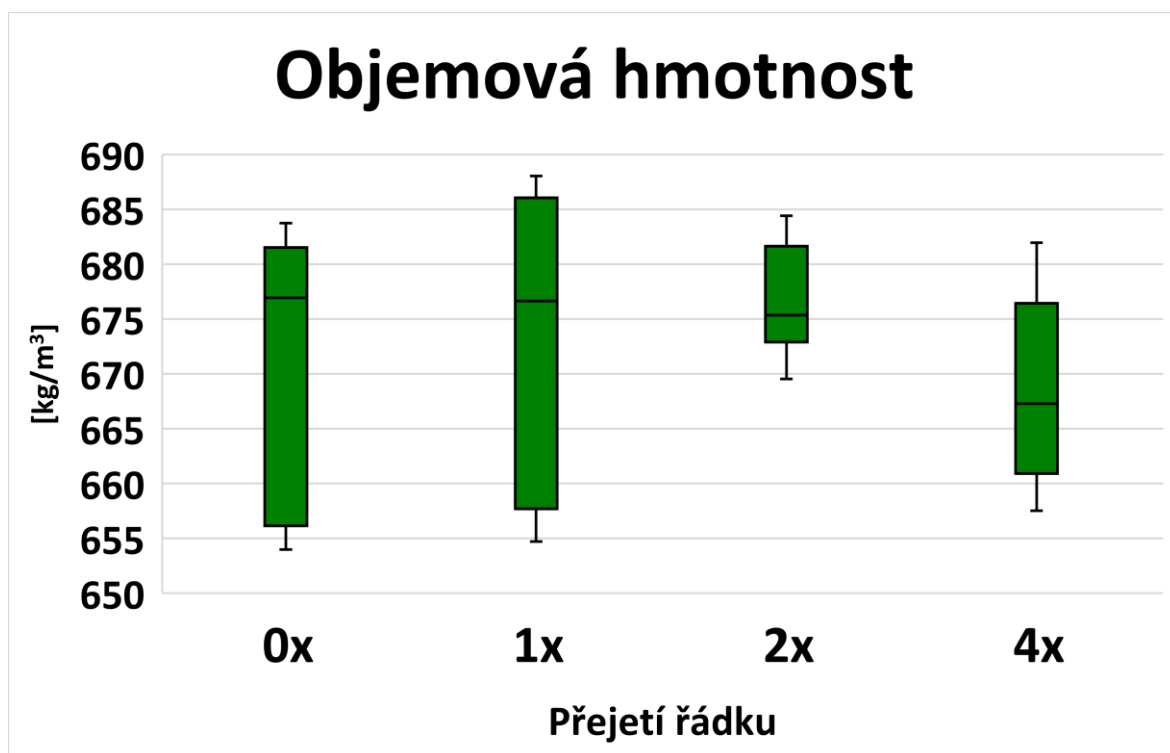
Graf č. 8 – Hmotnost všech zrn vymláčených ze vzorku. (zdroj: vlastní zpracování)

Další hodnoty, které byly na vzorcích měřené jsou hmotnosti tisíce zrn (HTZ) jednotlivých přejetých řádků (Graf č. 9). Řádek přejetý 0-krát měl naměřenou hodnotu HTZ velice vyrovnanou a to mezi 44 až 45 gramy. Tyto hodnoty nebyly sice největší oproti ostatním řádkům, ale vyrovnanost ano. U řádku přejetého 1-krát je rozptyl HTZ značně vyšší a pohybuje se mezi 42 až 45 gramy. Na řádku přejetém 2-krát je HTZ největší ze všech měřených řádků, a to průměrně okolo 46 gramů. Rozptyl u tohoto řádku je 45 až 47 gramů. Poslední řádek, 4-krát přejetý, má rozptyl HTZ oproti ostatním řádkům největší a to mezi 42 až 46,5 gramy.



Graf č. 9 – Hmotnost tisíce zrn jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování)

Poslední měřená hodnota u vzorků ječmene jarního byla objemová hmotnost zrna (Graf č. 10). Z důvodu malého množství zrn z jednotlivých odebraných vzorků nebylo měřeno hmotnost 1000 ml zrn, ale jen 50 ml zrn a pak přepočítáno na výslednou hodnotu. Z grafu je dobře vidět, že u 1-krát a 0-krát přejetého řádku je rozptyl objemové hmotnosti poměrně o dost vyšší, než u řádků přejetých 2-krát a 4-krát. Pro řádek přejetý 0-krát se hodnoty objemové hmotnosti pohybovaly mezi 654 až 684 kg/m³. U řádku přejetého 2-krát je tento rozptyl ještě větší a to mezi 654 až 689 kg/m³. Nejnižší rozptyl objemové hmotnosti byl naměřen na řádku 2-krát přejetém a pohybuje se od 669 až do 685 kg/m³. Řádek přejetý 4-krát nemá hodnoty objemové hmotnosti nijak extrémně rozdílné, oproti ostatním řádkům, jako u jiných předešlých měřeních veličin. Objemová hmotnost tohoto řádku se pohybovala mezi 657 až 682 kg/m³.



Graf č. 10 – Naměřené objemová hmotnost jednotlivých přejetých řádků (zdroj: vlastní zpracování)

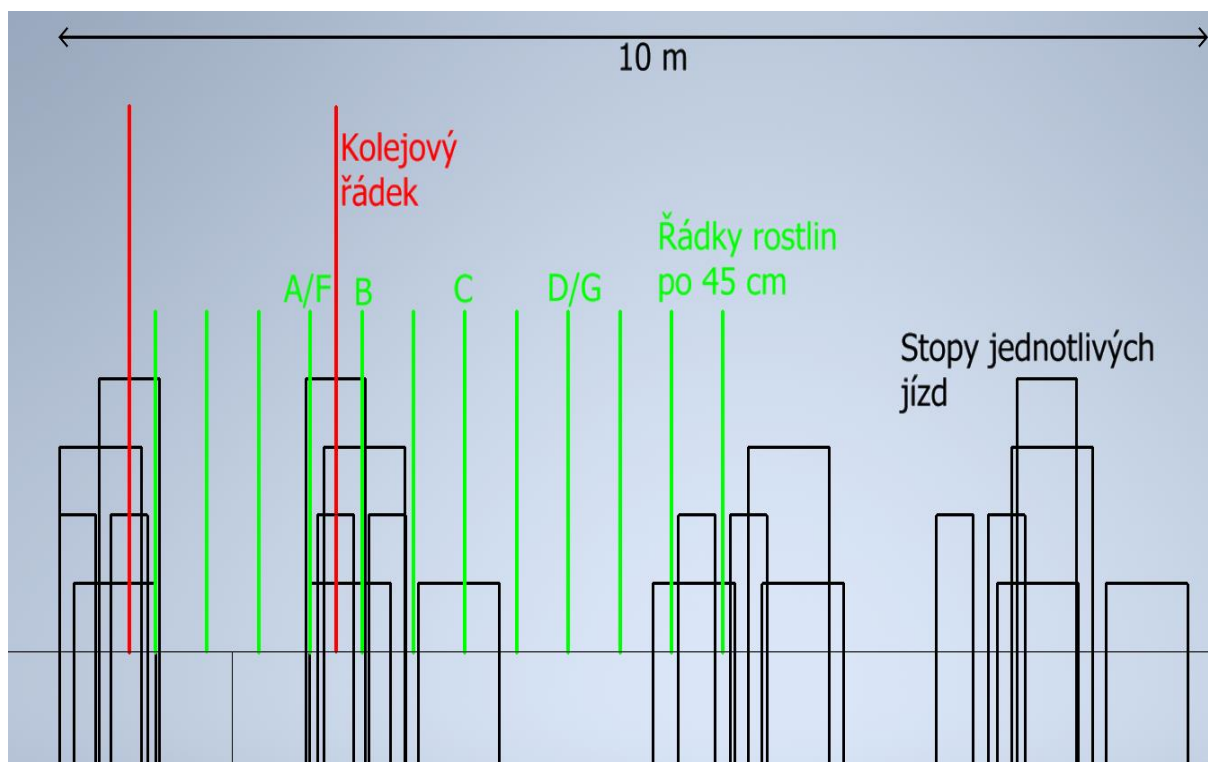
7.2 Vývoj rostlin pozemek 2

Na pozemku 2 byl sledován v průběhu jednoho zemědělského roku růst cukrové řepy s odlišně přejetými řádky. Všechny přejezdy kromě kolejových řádků postřikovače, kde rostliny nerostou, proběhly před zasetím cukrové řepy. Setí na pozemku 2 probíhalo 22.3.2023 jak už je v předchozích kapitolách zmíněným přesným secím strojem Vaderstad Tempo V12. Přesný secí stroj má 12 secích vozíků s roztečí 45 centimetrů a jeho pracovní záběr je 5,4 metru. Uložení osiva proběhlo do hloubky 3 centimetrů a výsevek byl nastaven na 120000 jedinců na hektar. Na pozemku byla vyměřena místa, na kterých se uskutečnilo měření a odběr vzorků. Tato místa byla na pozemku vyměřena dvě. Na jednom místě byla uskutečněna předseťová příprava a na druhém ne. Vzorky byly pak následně vyhodnocovány z obou míst. Týden po vzejití cukrové řepy byly na pozemku naměřeny ranní mrazy a nebylo jisté, zda nebude nutné cukrovou řepu přesít. Počet vzešlých jedinců byl na pozemku po těchto mrazech napočítán na 90000 jedinců na hektar, a tak bylo rozhodnuto cukrovou řepu ponechat bez přesetí. Na pozemku pak v průběhu celé vegetace byly odebírány vzorky a to 30.5.2023, 17.7.2023 a naposledy těsně před sklizní cukrové řepy a to 17.9.2023. Sklizeň byla uskutečněna poměrně brzo, a to z důvodu setí pšenice jako následující plodiny.

Na (Obrázek č. 25) je možné vidět nákres měřeného úseku pozemku 2. Z nákresu je jasné, i když není systém CTF na pozemku úplný, tak i díky optimalizovaným liniím v jednom směru je spousta plochy bez přejetí během celého zemědělského roku. Na nákresu o délce 10 metrů je černou barvou vyznačen otisk pneumatik všech strojů, jak se po pozemku během roku pohybovaly, červenou barvou jsou vyznačeny kolejové řádky postřikovače a zelenou barvou přesná poloha jednotlivých řádků. Tento nákres platí pro oba vyznačené měřené úseky. Na úseku bez předseťové přípravy se souprava pohybovala ve stejných kolejích, jen nebylo pracovní nářadí v zemi. Z úseku s předseťovou přípravou byly odebírány čtyři řádky, u kterých bylo vyměřeno kolik přesně přejetí se na řádku nachází.

Řádek s označením **(A)** byl během zemědělského roku přejet 2-krát. Další řádek s označením **(B)** byl během roku přejet 3-krát. Řádek označený jako **(C)** byl přejet 1-krát a řádek s označením **(D)** nebyl během celého zemědělského roku přejet ani jednou. Na úseku bez předseťové přípravy byly odebírány vzorky ze dvou řádků, a to s označením **(F)** pro 2-krát přejetý a s označením **(G)** pro řádek, který nebyl přejet ani jednou. Řádek s označením

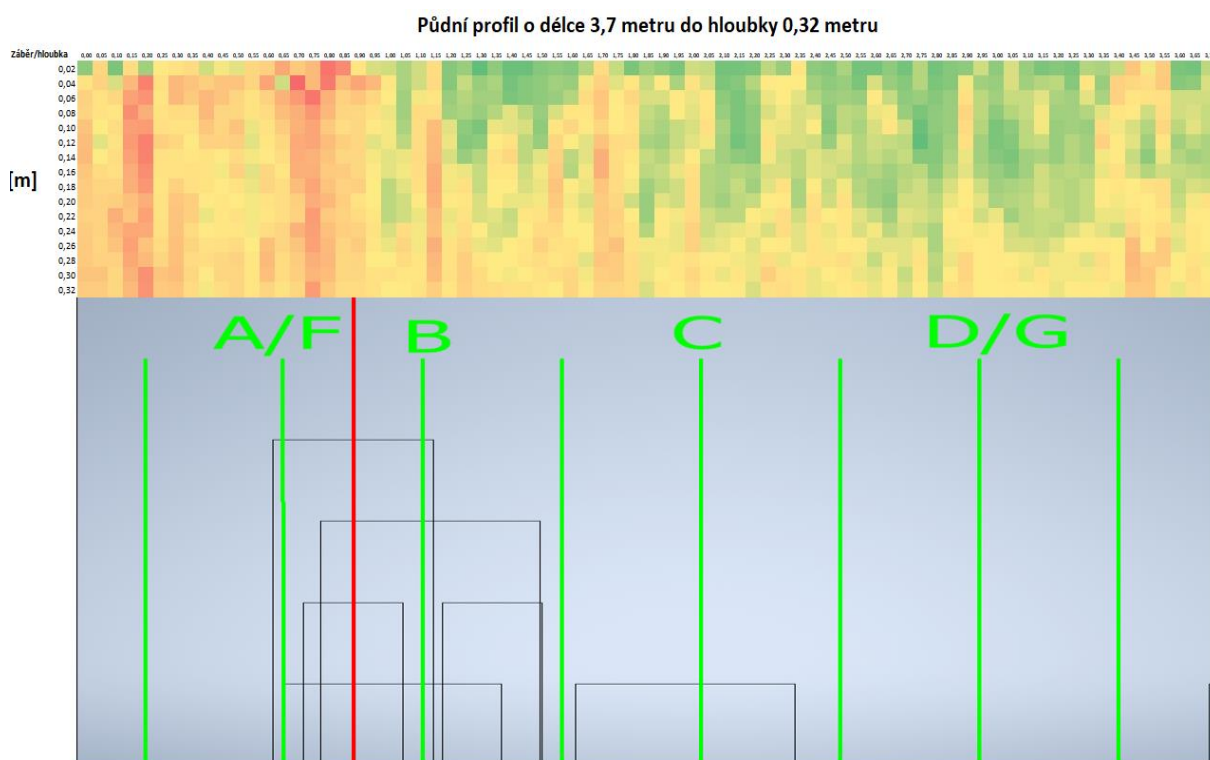
(G) a (F) se nacházel dle nákresu na totožném místě jako řádek (D) a (A) akorát jen na úseku bez předseťové přípravy.



Obrázek č. 25 - Nákres jednotlivých přejezdu a měřených řádků po vyměřeném úseku pozemku (zdroj: vlastní zpracování)

Na pozemku 2 byl také měřen odpor půdy pomocí penetrometru. Data z penetrometru byla zpracována v programu Excel, díky čemuž vznikl vizuální obraz odporu půdy (Obrázek č. 26). Měření penetrometrem probíhalo do hloubky 32 centimetrů a na povrchu v délce 3,7 metru kolmo na řádky cukrové řepy a jednotlivé přejezdy. K takto vzniklému obrazu odporu půdního profilu byl vložen ve stejném měřítku nákres přejezdů po pozemku a řádků cukrové řepy. Z výsledného obrázku je možné vidět, že větší odpor půdy odpovídá místům, kde byla vysoká koncentrace jednotlivých přejezdů. Takto zvýšený odpor půdy má pak zásadní vliv na prostupnost kořene půdou. Proto bylo vždy z každého odběru vzorků pořízeno několik fotografií kořenu odebraných rostlin. Na takovýto obraz odporu půdy má také vliv, kdy byl daný přejezd po pozemku uskutečněn.

Z obrázku je dobře vidět, že odpor půdy je značně vyšší v oblasti červené osy, která vyznačuje polovinu kolejové stopy postřikovače. Postřikovač se po pozemku pohyboval i po zasetí cukrové řepy a tím pádem měl vliv na odpor půdy pod řádky poblíž této stopy. V místě s vyšší koncentrací půdy ve stopě postřikovače se také pohyboval traktor s přesným secím strojem, a i když byl tento traktor osazen dvojmontážními pneumatikami tak, aby stopa traktoru nebyla v následném řádku cukrové řepy, měl tento poslední přejezd určitě zásadní vliv na zhutnění půdy v okolí poblíž se nacházejících řádků rostlin.



Obrázek č. 26 – Odpor půdního profilu ve spojení s nákresem přejezdu a jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování)

7.2.1 Odběr 30.5.2023

První odběr na pozemku 2 proběhl 30.5.2023 více jak dva měsíce po zasetí. Odběr jedné rostliny probíhal vždy z každého měřeného řádku a byl opakován po cca 2 metrech. Z každého řádku bylo odebráno 10 rostlin. Takto odebrané rostliny byly vloženy do označených přepravek. Odebrané vzorky byly umyty a očištěny od zbylé půdy. Následně byl spočítán počet lisů každé rostliny a změřena délka listu. Poté byl kořen rostliny vyfocen na černém pozadí pomocí fotoaparátu s červeným filtrem tak aby mohla být fotografie kořenu dobře následně upravena pro lepší znázornění. Po vyfocení byl kořen oddělen od listu a obě části byly zvlášť vloženy do označených sáčků. Tyto sáčky se vzorky byly následně vloženy do slušící pece na 24 hodin. Po vysušení veškeré vody z rostlin byly obě části vzorku zváženy a díky tomu jsme získali suchou hmotnost kořene a suchou hmotnost listů.



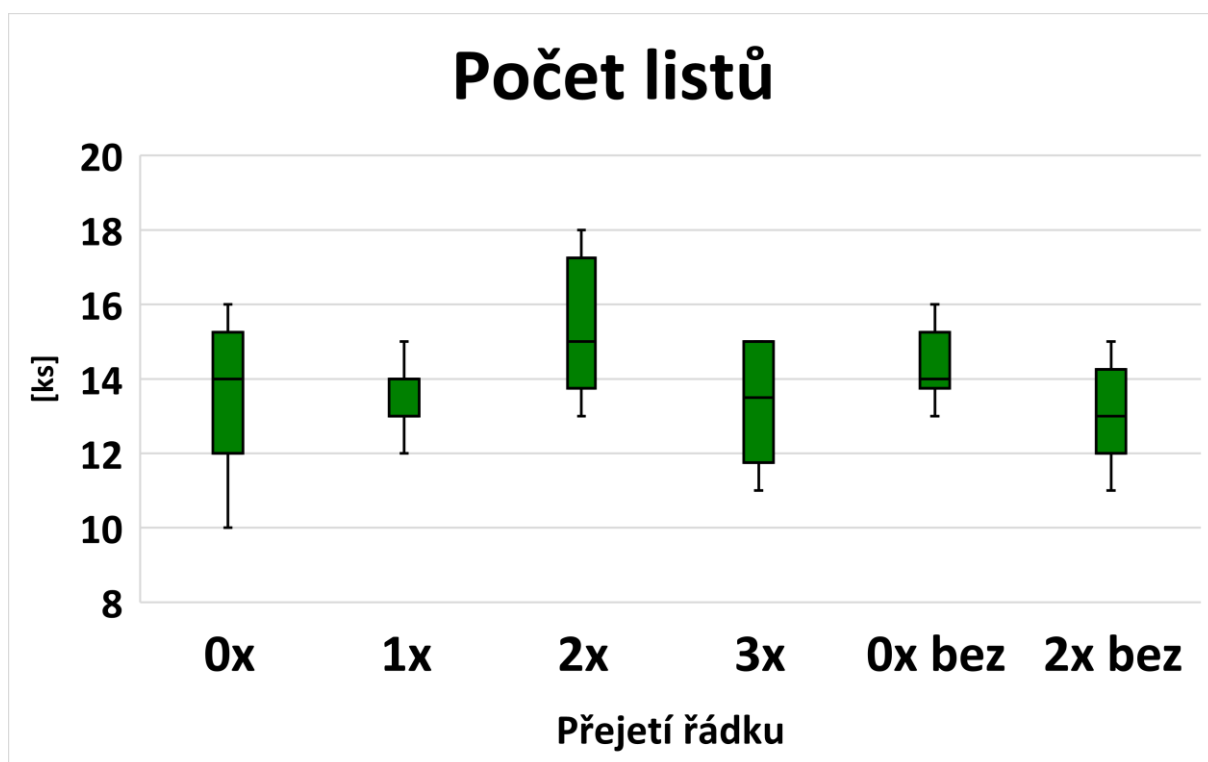
Obrázek č. 27 – Fotografie z prvního odběru rostlin (zdroj: vlastní zpracování)

V (Tabulka č. 3) jsou vypočteny průměrné hodnoty všech měřených parametrů odebraných vzorků. Hodnota **p** vyšla menší jak **p=0,05** a tím pádem je možné říct, že přejezdy mají statistický vliv na vývoj rostlin.

Přejetí:	Vzorek:	Počet listů (ks)		Délka listů (cm)			Hmotnost list (g)			Hmotnost kořen (g)		
		Průměr:	1	Průměr:	1	2	Průměr:	1	2	Průměr:	1	2
0x	D	13,7	AA	15,2	AA		2,223	AA		0,682	AA	
1x	C	13,6	AA	16,6	AA		2,376	AA		0,708	AA	
2x	A	15,3	AA	21,7		BB	5,932		BB	1,866		BB
3x	B	13,3	AA	15,0	AA		2,602	AA		0,750	AA	
0x bez	G	14,4	AA	18,8	AA	BB	3,770	AA		1,197	AA	
2x bez	F	13,2	AA	15,8	AA		2,340	AA		0,686	AA	
p=0,0000015												

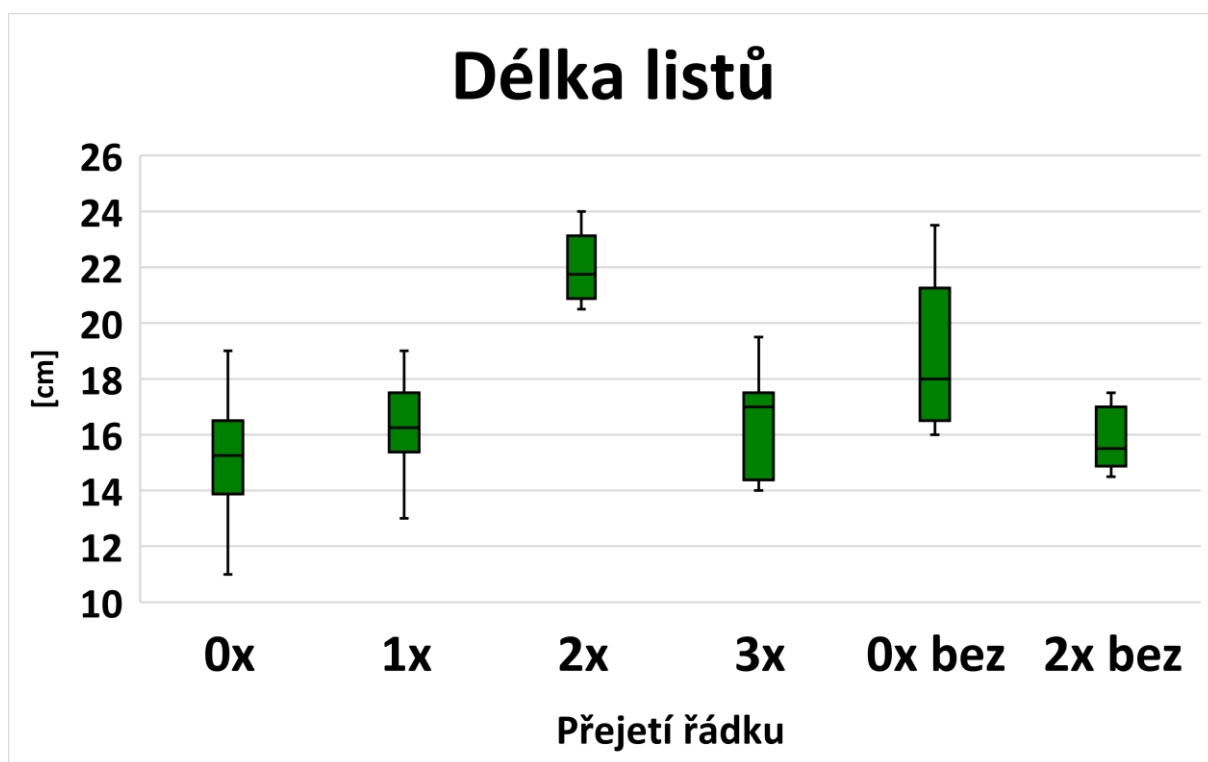
Tabulka č. 3 – Tabulka všech průměrných hodnot měřených vzorků z 30.5.2023 (zdroj: vlastní zpracování)

První měřenou hodnotou rostlin byl počet listů. Na (Graf č. 11) je zobrazena tato hodnota pro všechny měřené řádky. U všech řádků je průměrná hodnota téměř podobná a pohybuje se okolo 14 listů na jednu rostlinu. U řádku 0-krát, 2-krát a 3-krát přejetého je rozptyl hodnot o něco málo větší než u ostatních řádků. Nejmenší rozptyl je u řádku 1-krát přejetého.



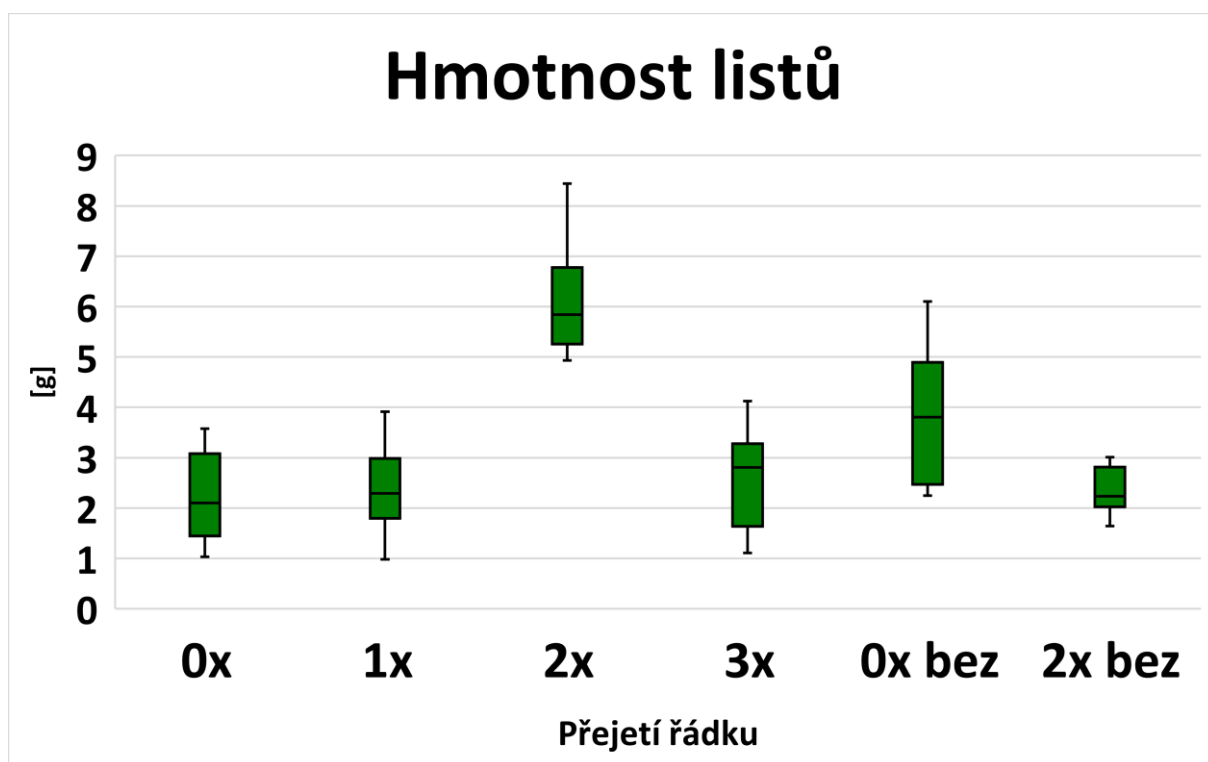
Graf č. 11 – Průměrný počet listů rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Graf č. 12) je možné vidět průměrnou délku listu rostlin. Největší průměrné délky listů dosahovaly rostliny na řádku 2-krát přejetém a to mezi 20 až 24 centimetry. Průměrně nejkratší listy měly rostliny z řádku 0-krát přejetého, kde byl také největší rozptyl těchto hodnot, a to mezi 10 až 20 centimetry. Ostatní měřené řádky měly průměrnou délku listů okolo 17 centimetrů.



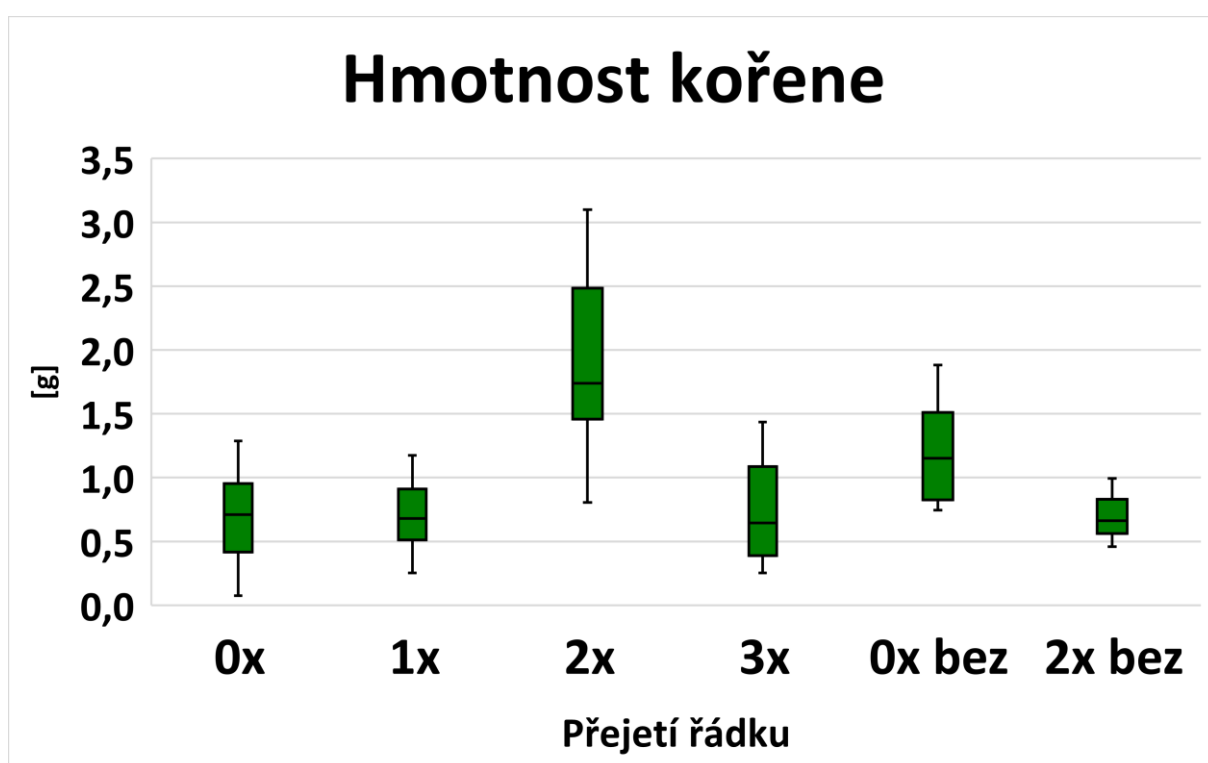
Graf č. 12 – Graf průměrných délek listů rostlin (zdroj: vlastní zpracování)

Z (Graf č. 13) je možné vidět průměrné hodnoty hmotnosti suchých listů rostlin z jednotlivých řádků. Tyto hodnoty značně korelují s předchozím grafem délky listů. Největší hmotnosti suchých listů dosáhly rostliny na řádku 2-krát přejetém a pohybují se mezi 5 až 9 gramy. Rostliny na ostatních přejetých řádcích mají průměrnou hmotnost suchých listů velice podobnou a to mezi 2 až 3 gramy.



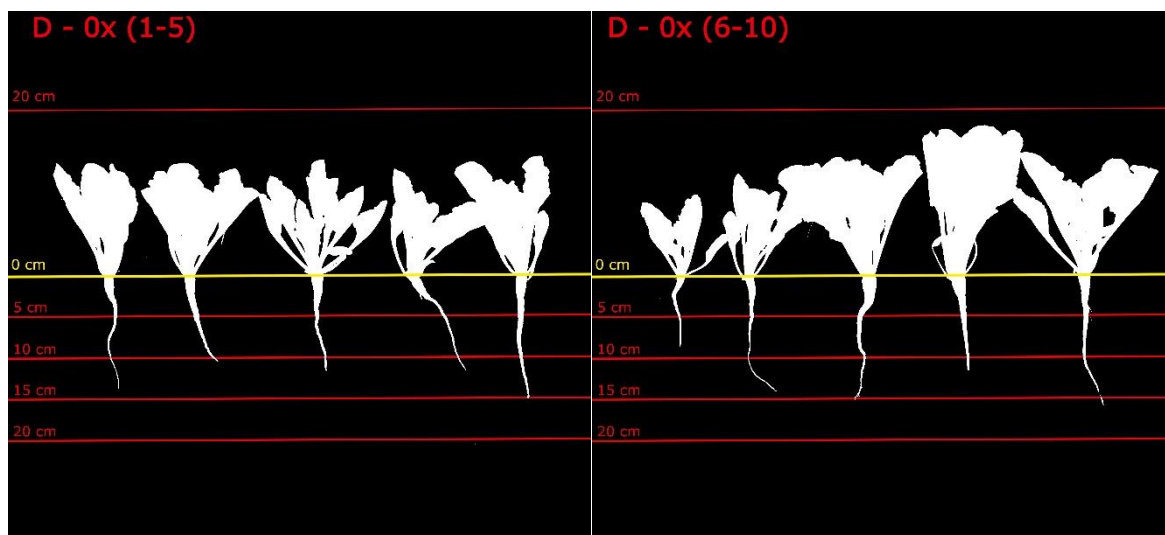
Graf č. 13 – Průměrná hmotnost suchých listů rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

Na posledním (Graf č. 14) jsou zobrazeny průměrné hmotnosti suchého kořene rostlin z jednotlivých měřených řádků. Zde vyšší hodnoty dosahují opět rostliny z řádku 2-krát přejetého, ale zároveň tyto hodnoty mají největší rozptyl a to mezi 0,8 až 3,2 gramy. U rostlin z ostatních měřených řádků jsou průměrné hmotnosti suchého kořene opět dosti totožné a pohybují se mezi 0,5 až 1,5 gramy.



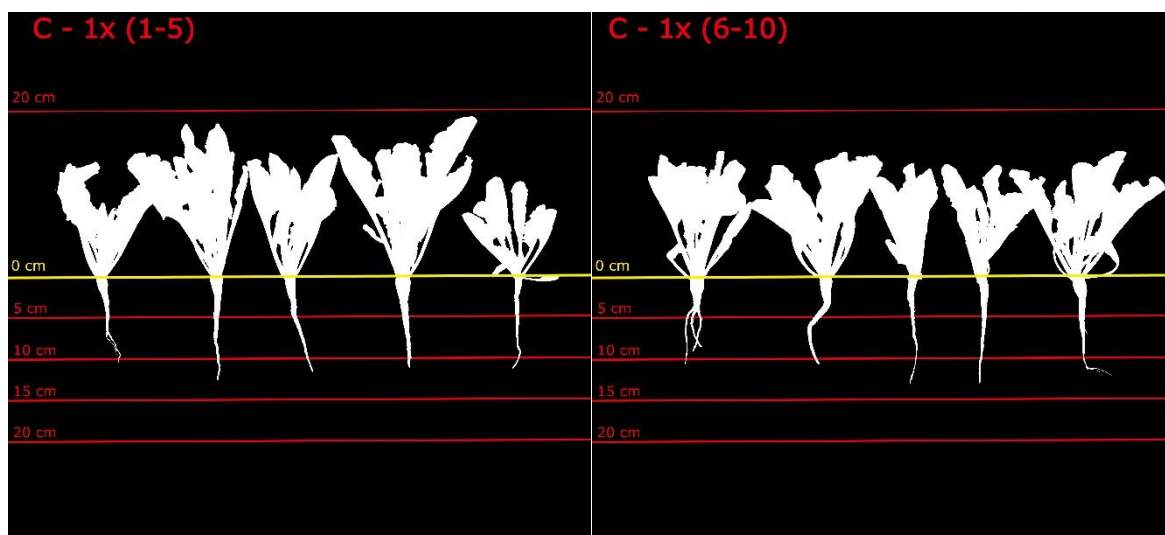
Graf č. 14 – Průměrné hmotnosti suchého kořene rostlin z jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Obrázek č. 28) jsou vyfoceny celé rostliny odebrané z řádku 0-krát přejetého a je zde možné dobře vidět tvar a délku kořene. Délka kořene je zde poměrně podobná a kořeny mají hezký téměř rovný kuželový tvar a nejsou nijak extra deformované.



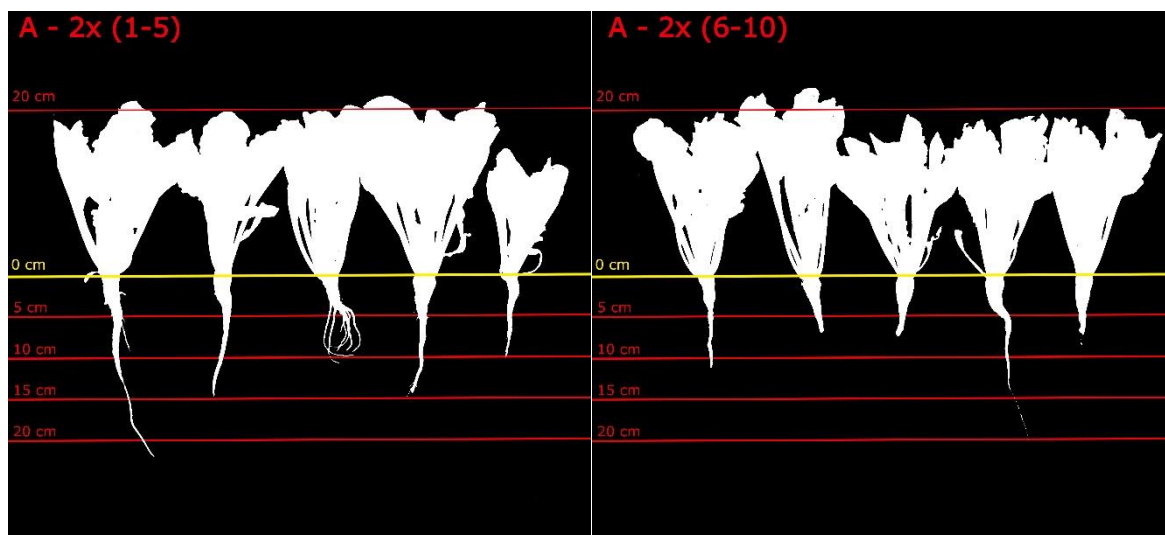
Obrázek č. 28 – Délka a tvar kořenů rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

(Obrázek č. 29) opět ukazuje délku a tvar kořene jednotlivých odebraných rostlin z řádku 1-krát přejetého. Téměř všechny kořeny mají hezký kuželový tvar. U rostliny C6 a C7 je vidět drobná deformace v podobě rozvlášení kořene a zahnutí kořene nejspíše z důvodu překážky v podobě kamene nebo ztuhlé části půdy.



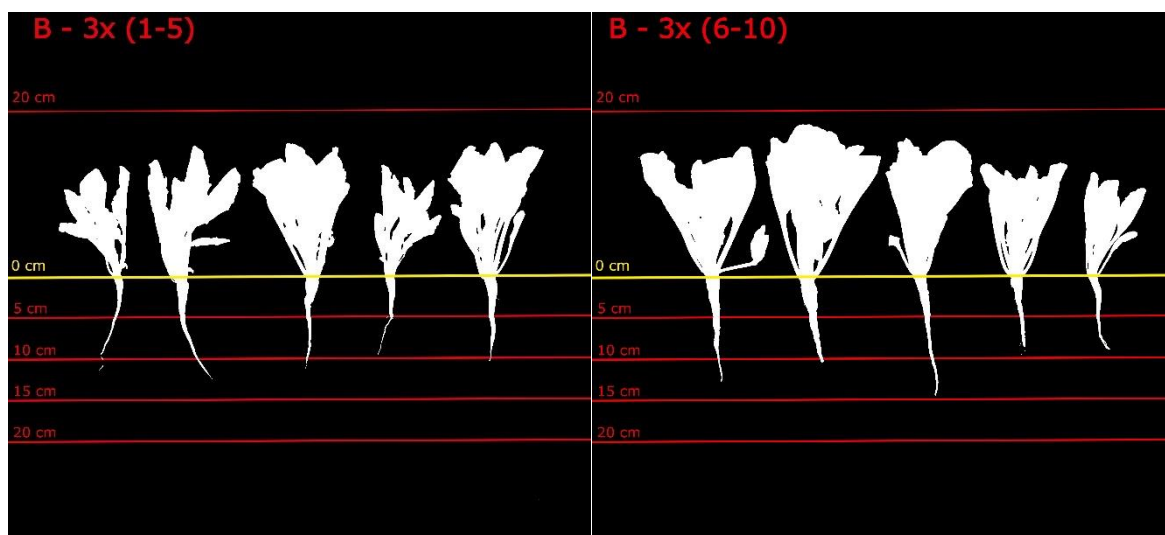
Obrázek č. 29 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 1-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Obrázek č. 30) jsou fotografie rostlin cukrové řepy odebrané z 2-krát přejetého řádku. Z obrázku je možné vidět, že kořeny rostlin nejsou tak vyrovnané jako u předchozích obrázků. U rostliny A3 je také možné vidět rozdělení kořene na několik slabších kořínků.



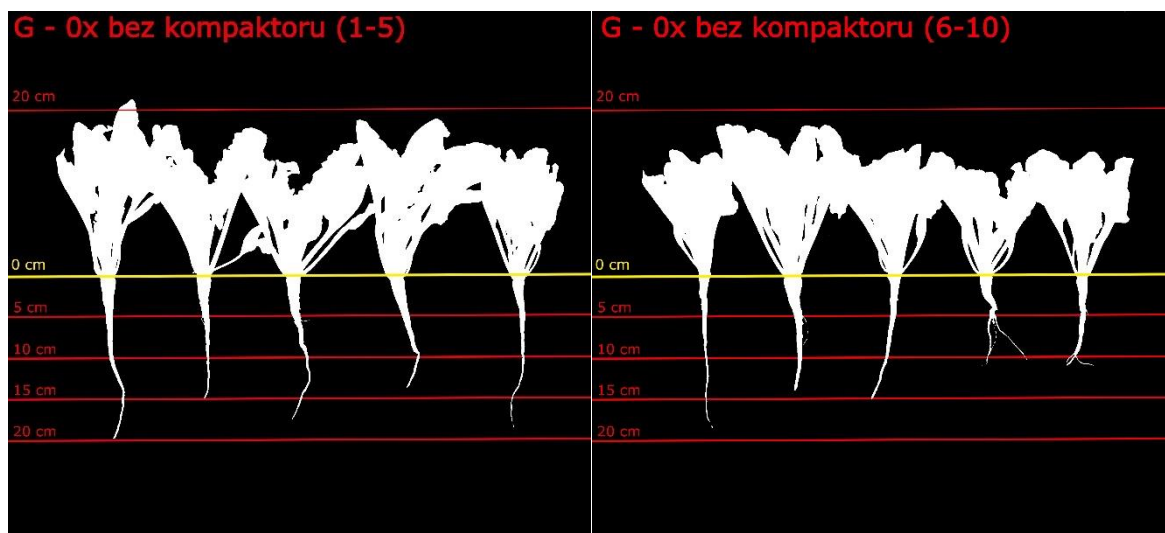
Obrázek č. 30 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Fotografie rostlin cukrové řepy odebrané z 3-krát přejetého řádku je možné porovnat na (Obrázek č. 31). Zde jsou všechny kořeny kuželovitěho tvaru a poměrně vyrovnané.



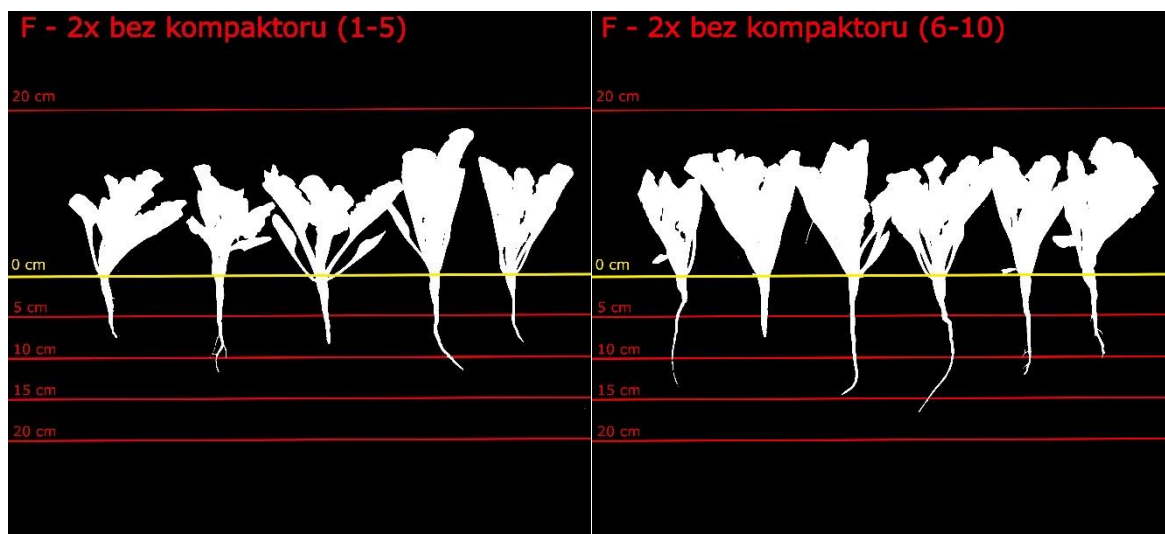
Obrázek č. 31 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 3-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Obrázek č. 32) je možné porovnat fotografie rostlin cukrové řepy odebraných z 0-krát přejetého řádku a z oblasti bez předseťové přípravy. Zde je možné vidět, že kořeny rostlin jsou o něco málo delší, než kořeny z 0-krát přejetého řádku s předseťovou přípravou. Kořeny rostlin jsou zde i více vyrovnané.



Obrázek č. 32 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování)

Na posledním (Obrázek č. 33) jsou fotografie rostlin odebrané z řádku 2-krát přejetého a bez předseťové přípravy. Rostliny nejsou tolik vyrovnané a mají kratší kořeny než rostliny na předchozím obrázku.



Obrázek č. 33 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování)

7.2.2 Odběr 17.7.2023

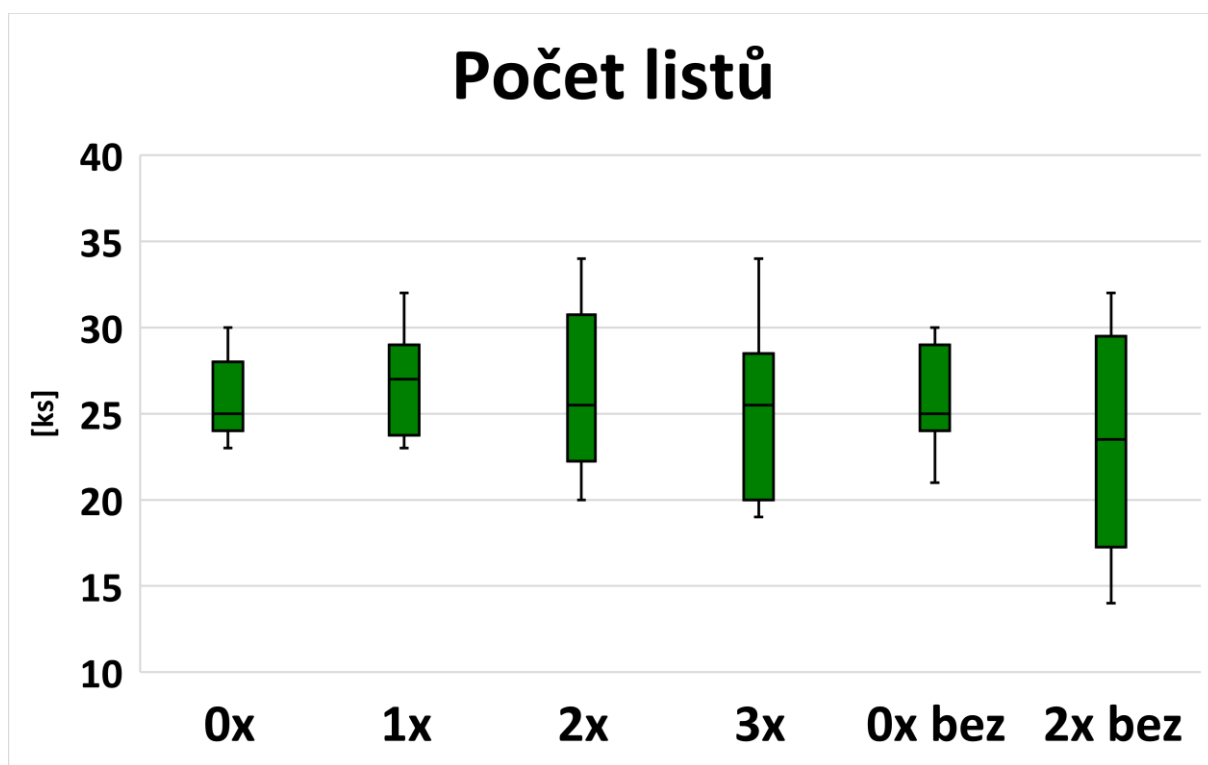
Druhý odběr rostlin cukrové řepy na pozemku 2 proběhl 17.7.2023. Odběr rostlin probíhal stejně jako u prvního odběru. Z každého předem vyměřeného řádku dle počtu přejetí byly vždy odebírány rostliny po cca 2 metrech. Při tomto odběru byly rostliny už značně větší a tím pádem byly více znečištěné a bylo nutné je před dalším měřením pečlivěji očistit. U všech rostlin byl následně spočítán počet listů a změřena jejich délka. Následně byl oddělen kořen od listů a obě tyto části byly vloženy do papírových sáčků. Vzorky v označených sáčcích byly sušeny 24 hodin v sušící peci. Po vysušení veškeré vlhkosti byla měřena hmotnost suchého kořene a listové plochy.

V (Tabulka č. 4) je možné vidět průměry všech měřených hodnot. Tyto hodnoty byly následně převedeny do vizuální podoby pomocí grafů. I u těchto odběrů vyšlo pomocí analýzy rozptylu, že přejetí jednotlivých řádků má následný vliv na růst rostlin. Díky tomu že hodnota p vyšla menší jak $p=0,05$.

Přejetí:	Vzorek:	Počet listů (ks)		Délka (cm)			Hmotnost list (g)		Hmotnost kořen (g)	
		Průměr:	1	Průměr:	1	2	Průměr:	1	Průměr:	1
0x	D	25,7	AA	47,5	AA	BB	58,76	AA	85,93	AA
1x	C	26,8	AA	44,6	AA		53,72	AA	77,35	AA
2x	A	26,3	AA	43,0	AA		65,26	AA	105,90	AA
3x	B	25,2	AA	44,2	AA		51,44	AA	89,20	AA
0x bez	G	26,0	AA	51,4		BB	65,69	AA	121,15	AA
2x bez	F	23,2	AA	46,7	AA	BB	53,17	AA	97,83	AA
p=0,000064										

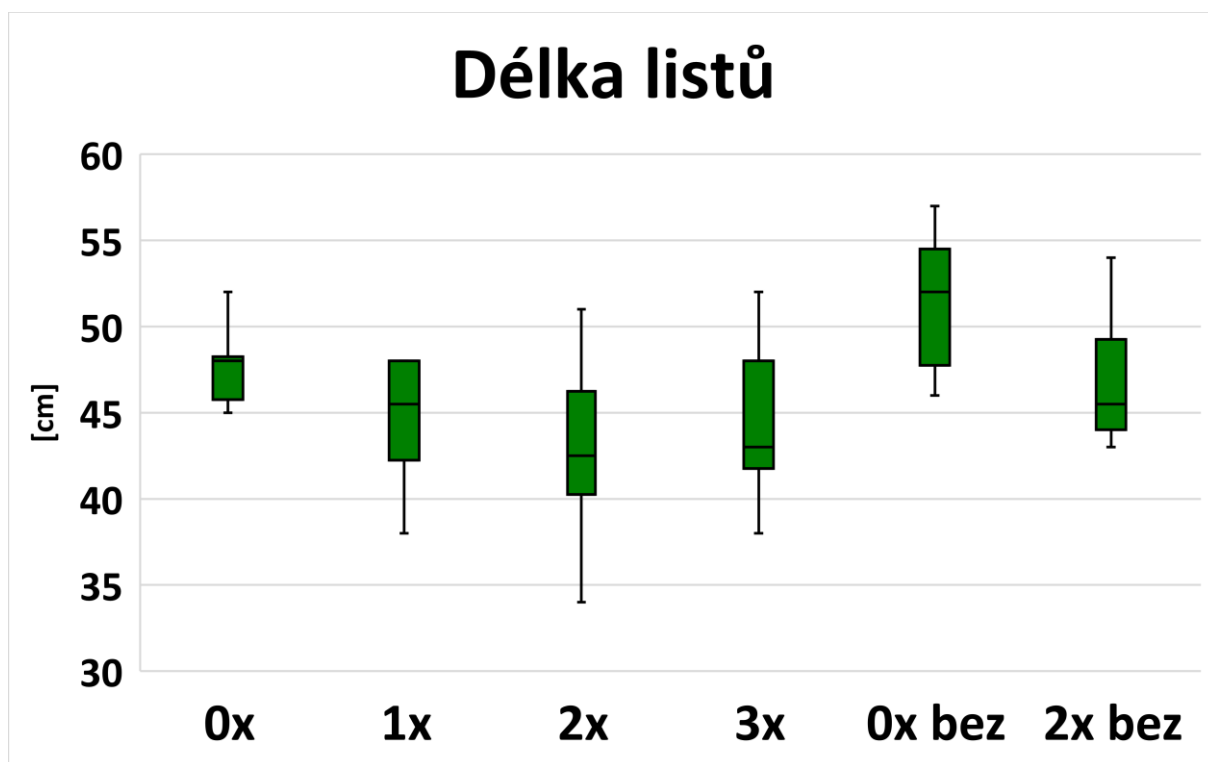
Tabulka č. 4 – Tabulka zprůměrovaných měřených hodnot rostlin cukrové řepy na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Graf č. 15) je možné vidět graficky znázorněné průměrné délky lisů rostlin cukrové řepy odebraných z jednotlivých měřených řádků. Rostliny z řádku 0-krát a 1-krát přejeté mají poměrně malý rozptyl a průměrná hodnota se pohybuje okolo 26 listů na jednu rostlinu. U řádku přejetých 2-krát a 3-krát je rozptyl poměrně velký a to mezi 20 až 35 listy na jednu rostlinu. U plochy bez předseťové přípravy je vidět velký rozdíl v rozptylu mezi řádkem přejetým 0-krát a řádkem přejetým 2-krát. U 0-krát přejetému řádku je průměrný počet listů na jednu rostlinu 26 a rozptyl mezi 20 až 30 listy. U řádku 2-krát přejetému je tento rozptyl mezi 13 až 34 listy na jednu rostlinu.



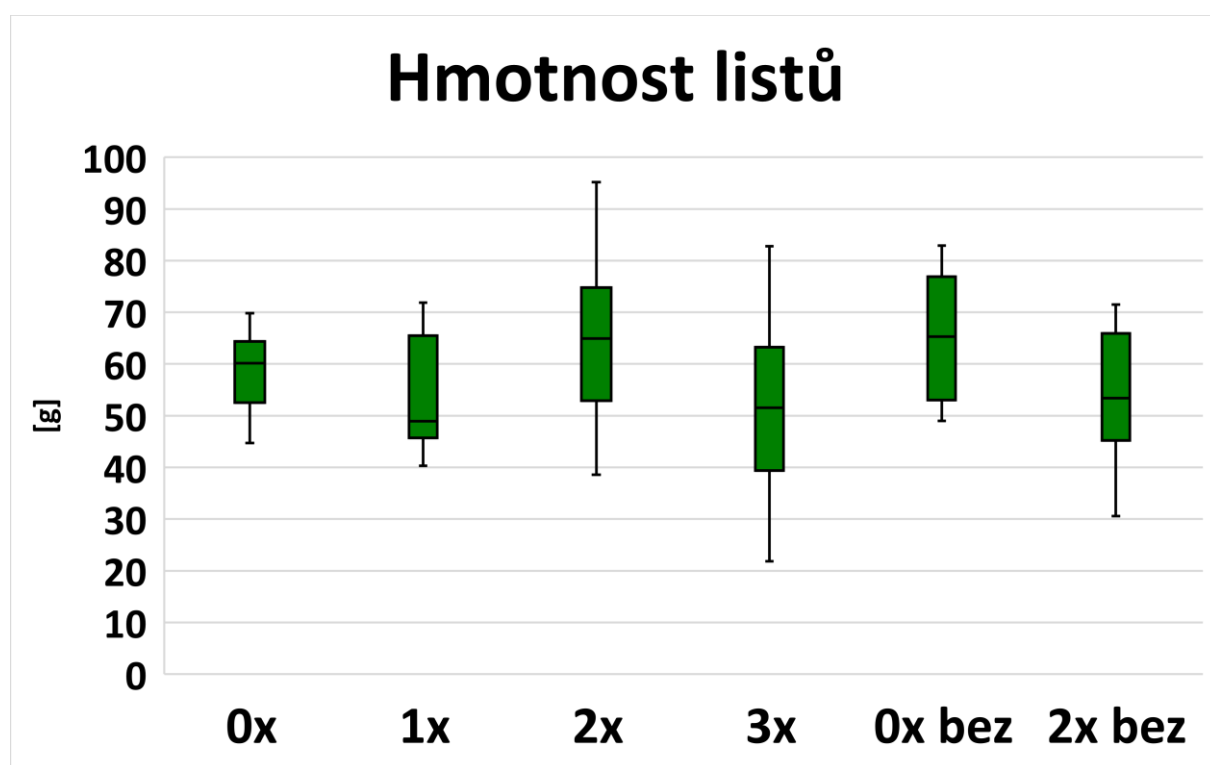
Graf č. 15 – Graf průměrného počtu listů rostlin na jednotlivých přejezděch (zdroj: vlastní zpracování)

Následující (Graf č. 16) zobrazuje průměrné délky listů rostlin cukrové řepy z jednotlivých měřených řádků. U 0-krát přejeté plochy je nejmenší rozptyl těchto hodnot a to mezi 45 až 54 centimetry. Řádky přejeté 1-krát, 2-krát a 3-krát mají rozptyl vyšší a naměřené průměrné délky se pohybují mezi 35 až 55 centimetry. U řádků bez předseťové přípravy je délka listů větší než u řádků s přípravou. U 0-krát přejetého řádku se tato hodnota pohybuje mezi 45 až 60 centimetry a u 2-krát přejetého řádku mezi 43 až 55 centimetry.



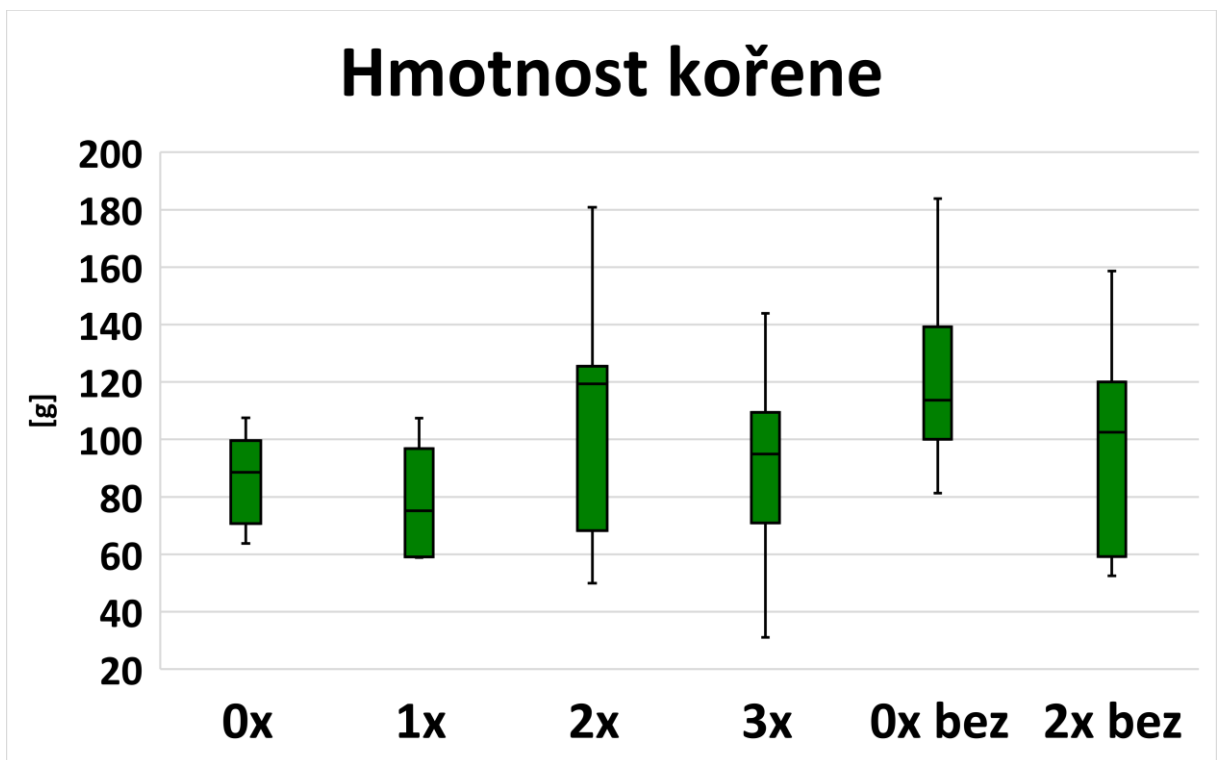
Graf č. 16 – Průměrná délka listů rostlin na jednotlivých přejetých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

(Graf č. 17) ukazuje průměrné hmotnosti suchých listů rostlin cukrové řepy odebraných z měřených řádků. Řádky přejeté 0-krát a 1-krát mají rozptyl naměřených hodnot poměrně malý oproti řádkům 2-krát a 3-krát přejetým. U 0-krát přejetího řádku je tato hodnota mezi 40 až 70 gramy a u 1-krát přejetího je mezi 40 až 75 gramy. Řádek 2-krát přejetí měl naměřené hmotnosti suchých listů mezi 40 až 100 gramy a 3-krát přejetí mezi 20 až 85 gramy. Z těchto hodnot lze říci, že tyto dva řádky byly velice nevyrovnané. U řádků bez předseťové přípravy je rozptyl mezi 50 až 85 gramy u 0-krát přejetího řádku a u 2-krát přejetího mezi 30 až 75 gramy.



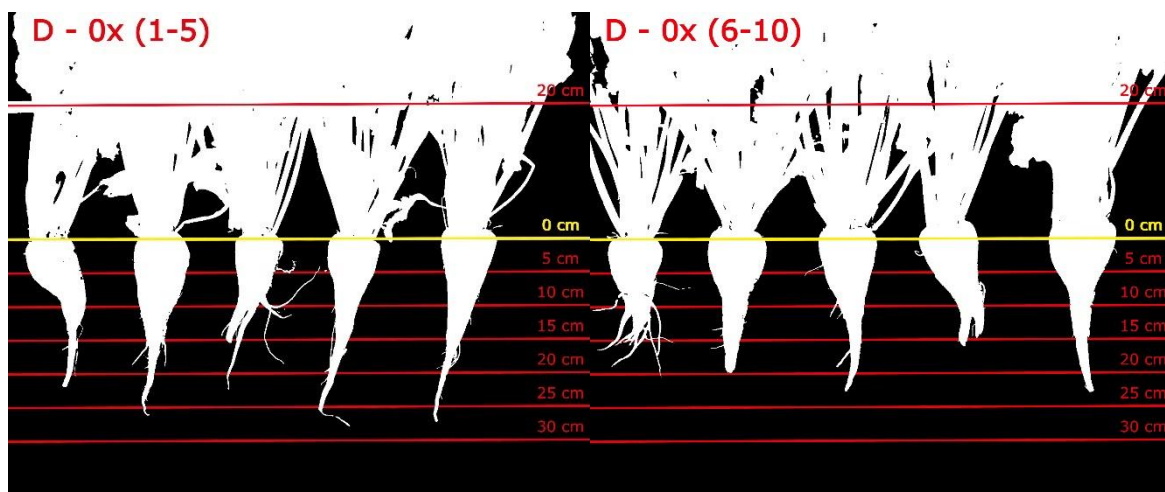
Graf č. 17 – Průměrné hmotnosti suchých listů rostlin odebraných z jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování)

Poslední naměřené hodnoty tohoto odběru jsou vidět na (Graf č. 18). Průměrná hmotnost suchého kořene rostlin cukrové řepy odebraná z jednotlivých přejetých řádků. Zde je možné vidět stejně jako u grafu hmotnosti listů, že jsou na 0-krát a 1-krát přejetém řádku rozptyly hmotností kořene značně menší než u řádku 2-krát a 3-krát přejetého. 0-krát a 1-krát přejetý řádek má rozptyl hmotností mezi 60 až 110 gramy. U 2-krát přejetého řádku je tento rozptyl mezi 50 až 180 gramy a u 3-krát přejetého mezi 30 až 150 gramy. Řádky bez předseťové přípravy mají rozptyl hmotnosti mezi 80 až 190 gramy u 0-krát přejetého a u 2-krát přejetého mezi 50 až 160 gramy.



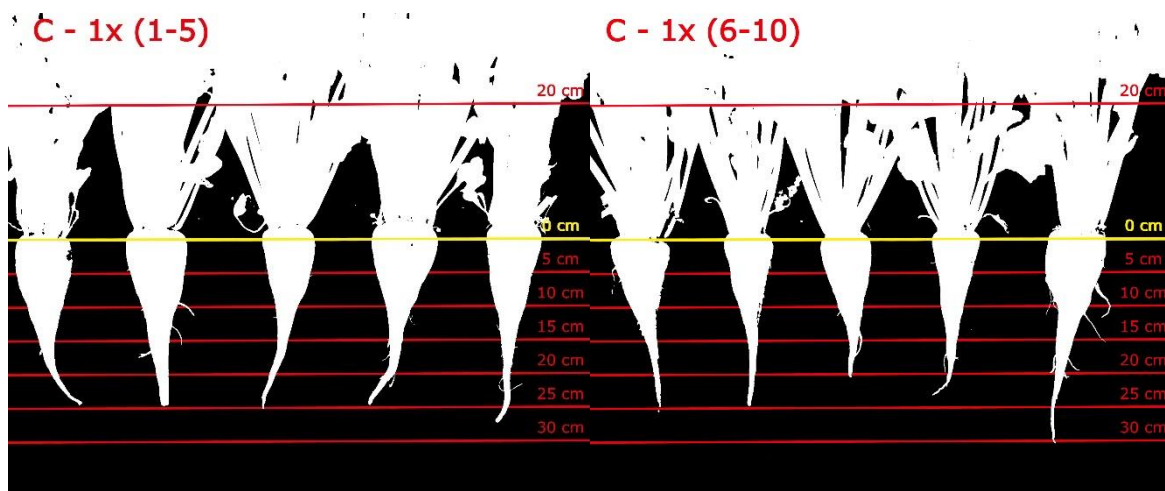
Graf č. 18 – Hmotnost suchého kořene rostlin cukrové řepy na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)

Ještě před zpracováním a sušením rostlin byly opět fotografovány kořeny, aby bylo možné porovnat jejich délky a tvary v závislosti na počtu přejetí. Na (Obrázek č. 34) je možné vidět upravené fotografie kořenu jednotlivých rostlin u 0-krát přejetému řádku. Na obrázku je vidíme deformaci několika kořenu. Na to, že byl řádek bez přejetí jsou kořeny značně zkroucené a nepravidelné.



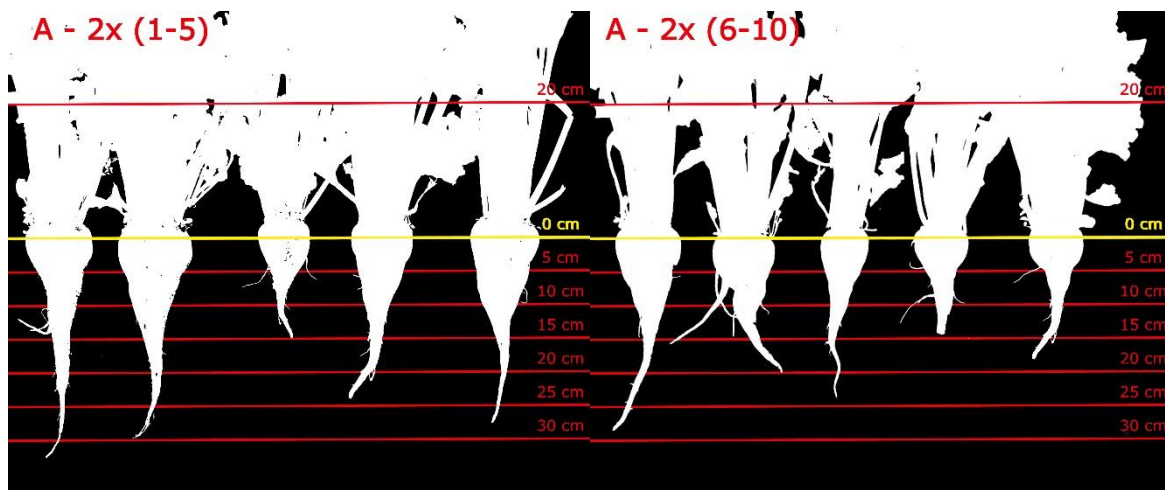
Obrázek č. 34 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Na dalším (Obrázek č. 35) jsou zobrazeny kořeny rostlin cukrové řepy na řádku 1-krát přejetém. U toho vzorku jsou rostliny hezky pravidelné s kuželovitým kořenem a pravidelnou délkou kořenu.



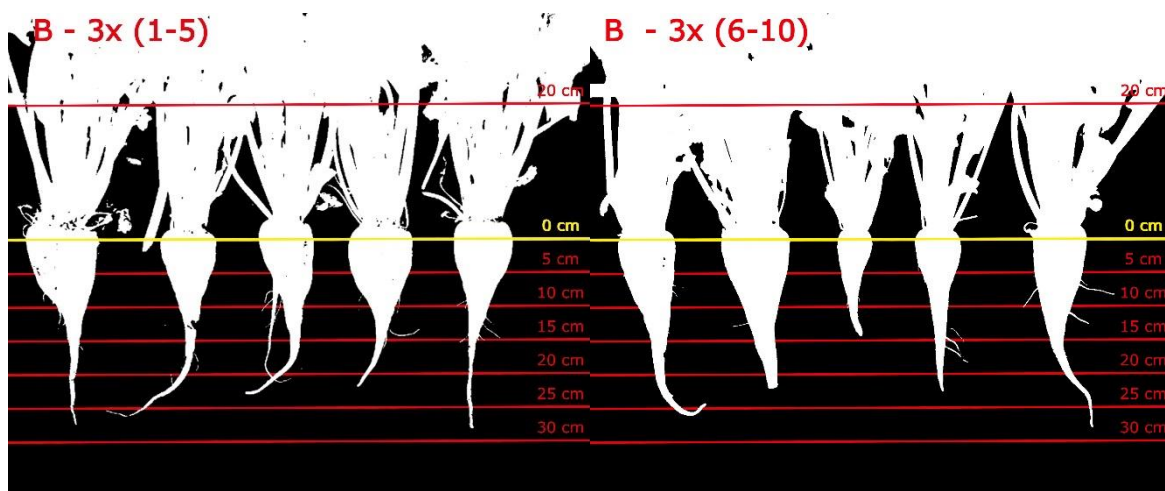
Obrázek č. 35 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 1-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Následující (Obrázek č. 36) ukazuje kořeny rostlin cukrové řepy odebraných z 2-krát přejetého řádku. I zde je možné vidět na téměř polovině odebraných rostlin mírnou deformaci kořenů a jejich nepravidelnou délku a tvar.



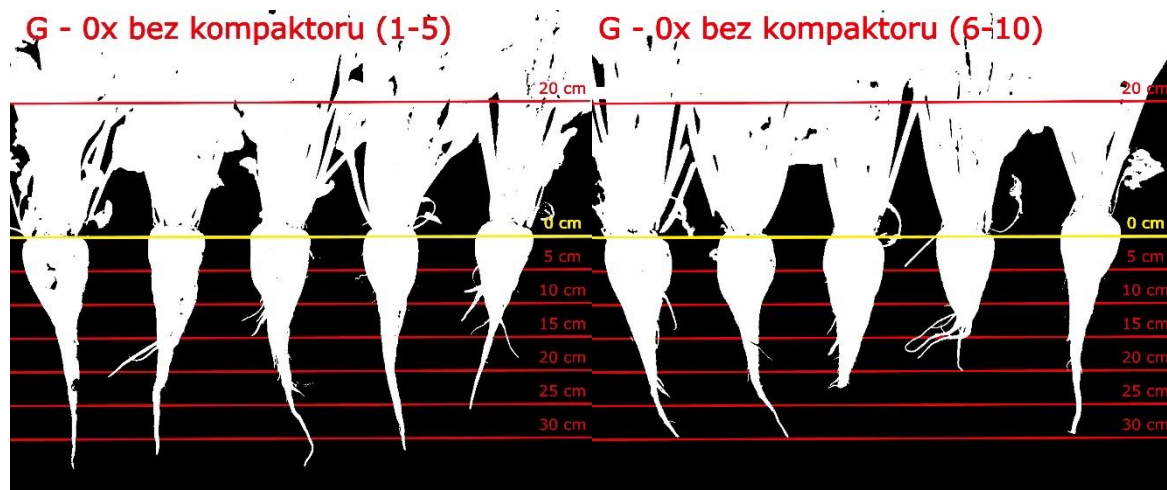
Obrázek č. 36 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Poslední vzorky cukrové řepy odebrané z plochy, na které byla provedena předset'ová příprava jsou z řádku 3-krát přejetého (Obrázek č. 37). Kořeny rostlin jsou poměrně délkou vyrovnané a jejich tvar je do značné míry pravidelný kuželovitý.



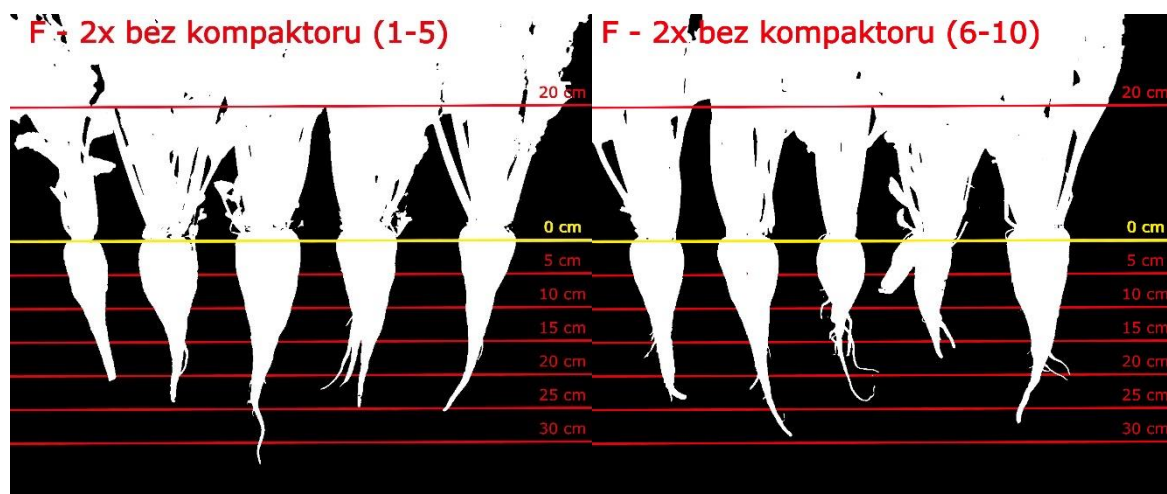
Obrázek č. 37 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 3-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Předposlední (Obrázek č. 38) ukazuje kořeny rostlin cukrové řepy odebrané z 0-krát přejetého řádku z oblasti bez předseťové přípravy. Kořeny jsou ve většině případů kuželovitého tvaru a oproti ostatním odebraným vzorkům disponují svojí délkou kořenu, a to až ke 30 centimetrům.



Obrázek č. 38 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování)

Poslední (Obrázek č. 39) zobrazuje kořeny rostlin cukrové řepy odebraných také z oblasti bez předseťové přípravy a to z 2-krát přejetého řádku. Zde je několik kořenů deformovaných a jejich délka je o něco menší než u rostlin z 0-krát přejetého řádku.



Obrázek č. 39 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování)

7.2.3 Odběr 17.9.2023

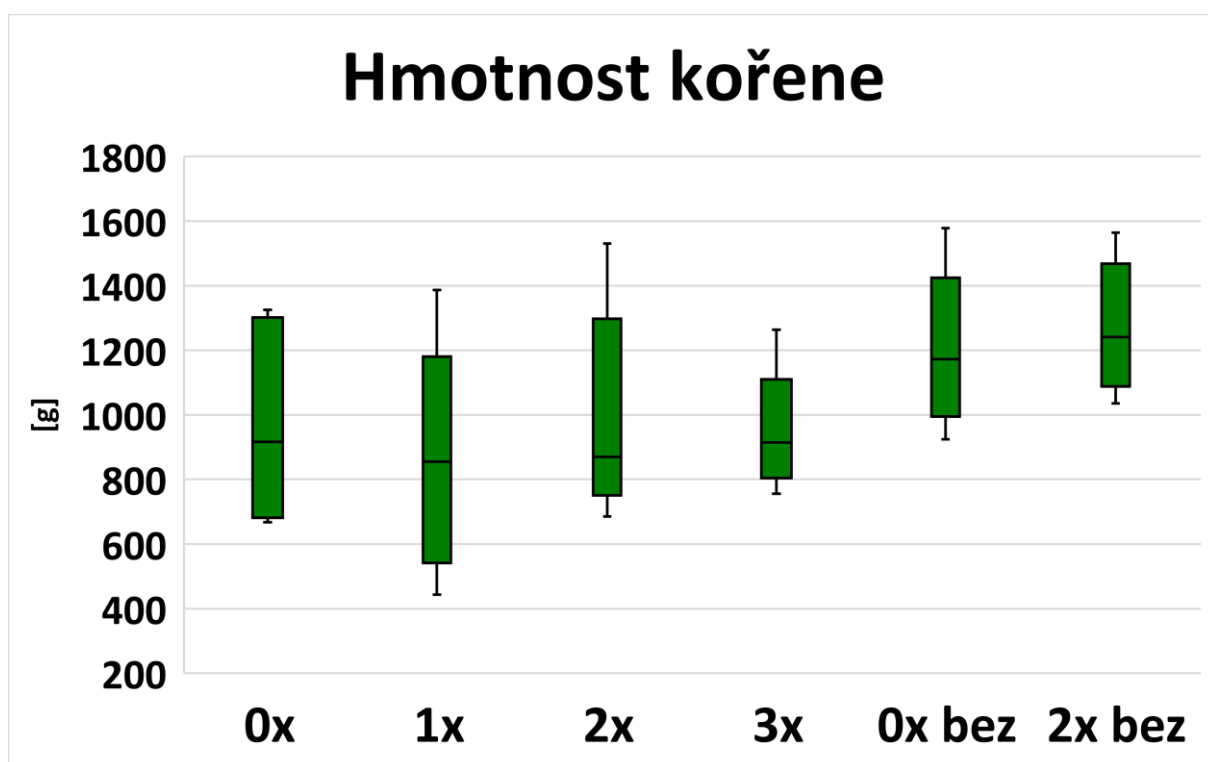
Poslední odběr rostlin cukrové řepy na pozemku 2 proběhl v den sklizně a to 17.9.2023. I u toho odběru byly odebírány rostliny z každého měřeného řádku cca po 2 metrech. Z důvodu velkého rozměru rostlin nebylo při tomto odběru z každého řádku odebráno 10 rostlin jako u předchozích odběrů, ale jen 5 kusů rostlin. Rostliny byly vloženy do přepravek a poté ve školní laboratoři zpracovány. Prvním krokem bylo očištění všech rostlin od zbytků půdy. Následně byly odděleny od kořene listy, které už nebyly předmětem měření při tomto odběru. Takto očištěné kořeny byly vyfoceny pomocí fotoaparátu s infračerveným filtrem stejně jako předchozí odběry. Následně byly všechny kořeny zváženy, a to bez předchozího sušení. Poté byl každý kořen rozřezán, aby bylo možné z něj vymačkat tekutinu, u které bylo změřeno procento cukernatosti každého kořene pomocí refraktometru.

V (Tabulka č. 5) je možné vidět průměrné hodnoty hmotnosti čerstvého kořene a cukernatosti odebraných vzorků rostlin z jednotlivých přejetých řádků. Pomocí analýzy rozptylu byla zjištěna hodnota **p**, která vyšla vyšší než **p=0,05** a tak je možné říct, že zde jako u jediného měření nemá počet přejetí řádku statisticky významný vliv na rostliny. Je možné, že takto vysoká hodnota **p** vyšla z důvodu nedostatečného množství odebraných vzorků, jelikož oproti ostatním odběrům byl počet odebraných vzorků nižší o polovinu.

Přejetí:	Vzorek:	Hmotnost kořene (g)		Cukernatost(%)	
		Průměr:	1	Průměr:	1
0x	D	976,3	AA	19,5	AA
1x	C	859,7	AA	18,4	AA
2x	A	993,1	AA	17,7	AA
3x	B	948,5	AA	18,2	AA
0x bez	G	1202,0	AA	16,6	AA
2x bez	F	1270,5	AA	17,4	AA
p=0,23018					

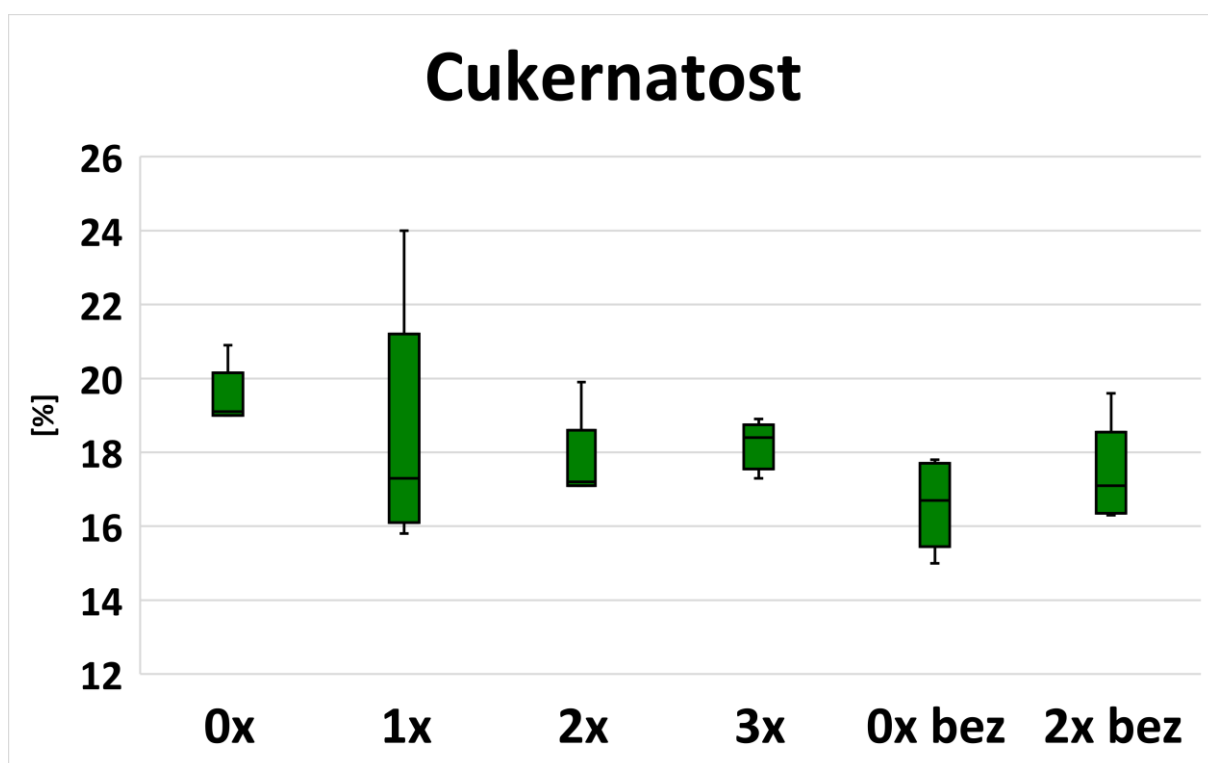
Tabulka č. 5 – Průměrné naměřené hodnoty jednotlivých rostlin z odběru 17.9.2023 (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Graf č. 19) je vidíme průměrné hmotnosti čerstvého kořene cukrové řepy odebraných z jednotlivých přejetých řádků. U 0-krát, 1-krát a 2-krát přejetých řádků je rozptyl hmotnosti kořene poměrně vysoký. U 0-krát přejetého řádku se pohybuje mezi 600 a 1400 gramy, u 1-krát přejetého řádku mezi 400 až 1400 gramy a u 2-krát přejetého řádku mezi 700 až 1600 gramy. Řádek 3-krát přejetý má rozptyl hmotnosti poměrně malý oproti předchozím řádkům a to mezi 700 až 1300 gramy. Hmotnosti kořene z oblasti bez předseťové přípravy jsou u obou řádků s celem podobným rozptylem hodnot. U 0-krát přejetého řádku mezi 900 až 1600 gramy a u 2-krát přejetého řádku mezi 1000 až 1600 gramy.



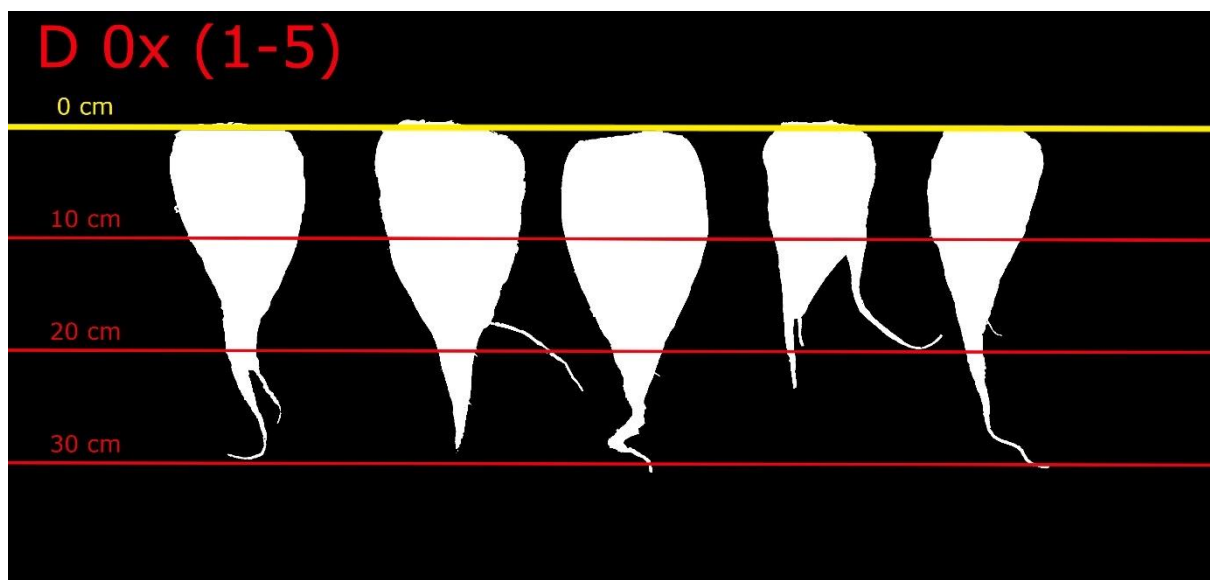
Graf č. 19 – Hmotnost čerstvého kořene rostlin cukrové řepy odebraných z jedlových řádků (zdroj: vlastní zpracování)

Poslední (Graf č. 20) zobrazuje průměrné hodnoty cukernatosti kořenu cukrové řepy z jednotlivých přejetých řádků. Kromě 1-krát přejetího řádku je rozptyl všech ostatních řádků poměrně malý. U kořenu z řádku 0-krát přejetího se cukernatost pohybuje mezi 19 až 21 procenty. Kořeny z řádku 1-krát přejetího mají rozptyl cukernatosti mezi 15,5 až 24 procenty. Pro kořeny z řádku 2-krát a 3-krát přejetího je rozptyl velice podobný a to mezi 17 až 20 procenty. U kořenu z oblasti bez předseťové přípravy byla naměřena cukernatost mezi 15 až 18 procenty u 0-krát přejetího řádku a u 2-krát přejetího mezi 16 až 20 procenty.



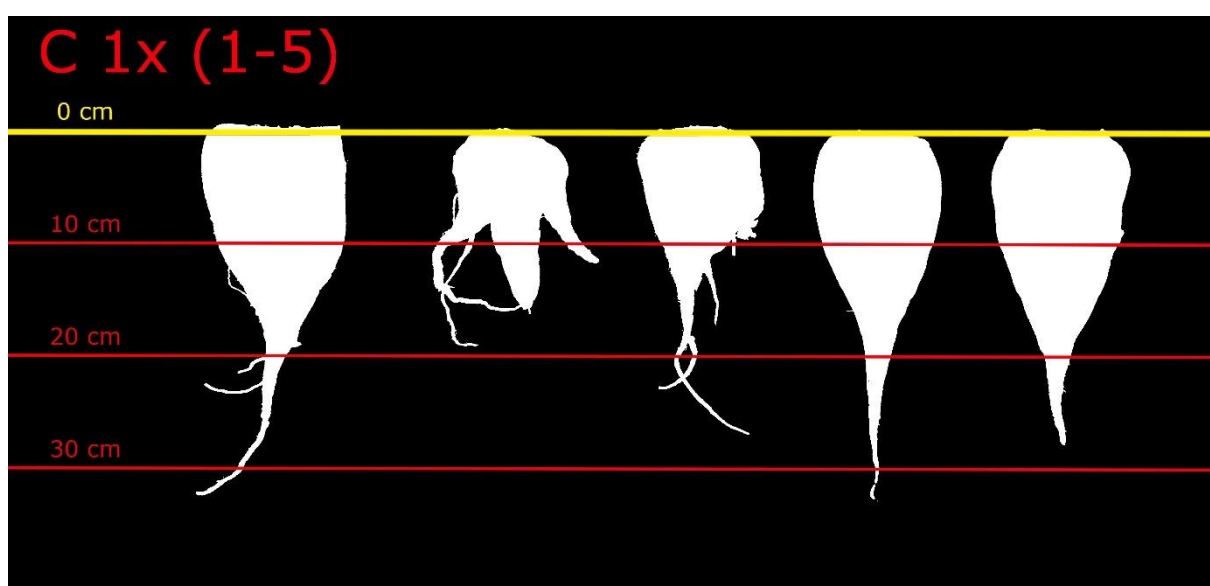
Graf č. 20 – Průměrná cukernatost rostlin cukrové řepy z jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování)

Na (Obrázek č. 40) jsou zobrazeny kořeny rostlin cukrové řepy odebrané z 0-krát přejetého řádku. Ne všechny kořeny mají kuželovitý tvar a některé kořeny jsou rozdvojené. Téměř všechny dosahují stejné délky a to 30 centimetrů.



Obrázek č. 40 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

(Obrázek č. 41) ukazuje tvar a délku kořenu rostlin cukrové řepy odebrané z řádku 1-krát přejetému. Kořeny C2 a C3 trpí poměrně velkou deformací. Ostatní zbylé kořeny mají hezký kuželovitý kořen a vyrovnanou délku.



Obrázek č. 41 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 1-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Z následujícího (Obrázek č. 42) je možné vidět fotografie kořenu cukrové řepy odebrané z 2-krát přejetého řádku. Zde vidíme také rozdvojený a deformovaný kořen **A3**. Ostatní kořeny mají pravidelný tvar.



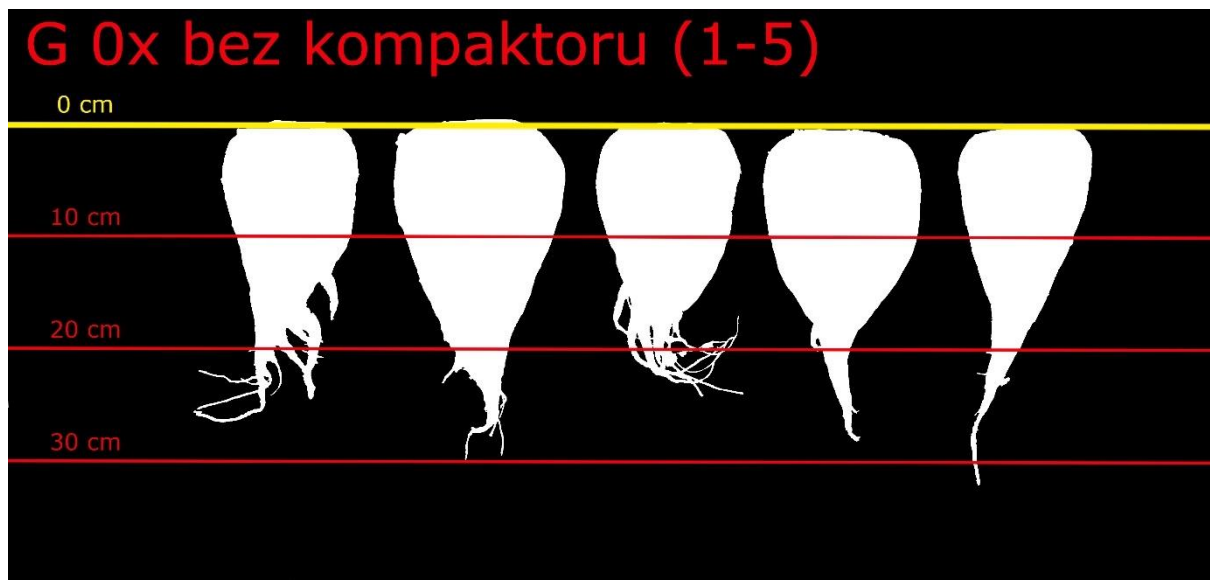
Obrázek č. 42 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Překvapivě na (Obrázek č. 43) je možné vidět kořeny cukrové řepy odebrané z plochy 3-krát přejeté a všechny mají hezký pravidelný kuželovitý tvar a rovnou délku okolo 30 centimetrů.



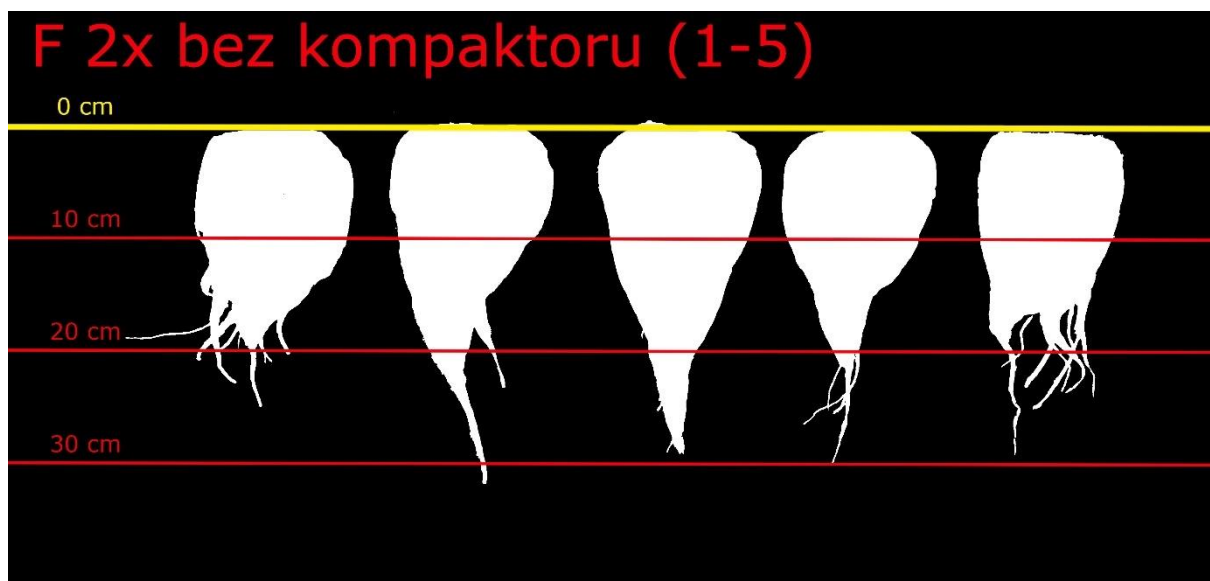
Obrázek č. 43 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 3-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování)

Na předposledním (Obrázek č. 44) jsou vyfotografovány kořeny cukrové řepy odebrané z 0-krát přejetého řádku bez předset'ové přípravy. Oproti předchozím fotkám je zde vidět mohutnější kořeny s mírnou deformací a poměrně pravidelnou délkou.



Obrázek č. 44 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku bez předset'ové přípravy (zdroj: vlastní zpracování)

Na posledním (Obrázek č. 45) jsou kořeny cukrové řepy odebrané z řádku 2-krát přejetého bez předset'ové přípravy. Zde jsou kořeny taky poměrně mohutné, ale nemají tak pravidelnou délku jako u předchozího obrázku kořenu 0-krát přejetých.



Obrázek č. 45 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku bez předset'ové přípravy (zdroj: vlastní zpracování)

8 Diskuse

Dle výsledku měření odebraných rostlin z jednotlivých přejetých řádků vychází, že rostliny na řádcích s větším počtem přejetí vykazují ztrátu téměř ve všech měřených parametrech oproti rostlinám z řádků s menším počtem přejetí anebo žádným. Tyto výsledky vychází jak pro rostliny cukrové řepy, tak pro rostliny ječmene jarního.

Podobné výsledky u rostlin ječmene jarního je možné najít i v publikaci (Chaloupský et al., 2004), kde bylo zjištěno, že rostliny seté na jaře, a hlavně ječmen jarní negativně reagují na už mírně zvýšené zhutnění půdy, a to sníženým výsledného výnosu. Proto je před setím této plodiny velice důležité zvolit vhodný způsob jarní přípravy a následného setí s ohledem na co nejšetnější pohyb po pozemku. Z těchto hodnot lze také říct, že systém CTF má u takto citlivých plodin ještě o to významnější vliv. Zhutnění se tak dá snížit výběrem vhodné techniky pro konkrétní půdní a klimatické podmínky.

U rostlin cukrové řepy je ze zpracovaných hodnot možné vidět, že s vyšším počtem přejetí řádků klesají parametry rostlin a zároveň jsou rostliny více nerovnoměrné, což má pak vliv na celkovou nevyrovnanost rostlin na pozemku. Dle naměřených hodnot také vyšlo, že rostliny, u kterých nebyla provedena předset'ová jarní příprava vykazují při všech odběrech během roku lepší růst. Toto tvrzení lze také potvrdit dle výzkumu (Brant, Kroulík, 2017), kde byly porovnávány kořeny různých rostlin a infiltrace půdy u předset'ové přípravy a bez ní. Z výzkumu vyšlo, že bez předset'ové přípravy je zvýšena infiltrace vody do půdy a tím pádem je možné udržet potřebnou vlhkost v půdě během suchého jara, které bývá čím dál častějším jevem. Proto je důležité zaměřit se na kvalitní zpracování a urovnání půdy už na podzim, a tak dosáhnout toho, že na jaře nebude předset'ová příprava potřeba.

9 Závěr

V průběhu této diplomové práce bylo zkoumáno několik klíčových aspektů pohybu zemědělských strojů po pozemcích a jeho vliv na půdní prostředí a vývoj rostlin. Teoretická část práce se zaměřila na analýzu intenzity přejezdů po pozemcích, zhutnění půdy a jeho negativní dopady, vliv pohybů strojů na zhutnění půdy, erozi a vliv pásových jednotek či pneumatik na půdu. Zvláštní pozornost byla věnována optimalizaci pohybů zemědělských strojů po pozemcích, včetně optimalizace trajektorií jízd a metody Control Traffic Farming (CTF).

Praktická část práce se zabývala konkrétní aplikací optimalizace pohybu techniky na dvou různých pozemcích. Na základě provedených měření bylo možné sledovat vývoj rostlin cukrové řepy a ječmene jarního. A následně tak zhodnotit efektivitu zvolených metod optimalizace pohybu techniky a její vliv na rostliny.

Výsledky praktické části naznačují, že optimalizace jízd má zásadní vliv na rostliny a jejich vývoj během zemědělského roku a snižuje negativní dopady půdního zhutnění a eroze. Zejména metoda CTF ve spojení s protierozní optimalizací trajektorií představuje efektivní nástroj pro udržitelné zemědělství s ohledem na ochranu půdního prostředí. Dále také tyto výsledky ukazují, že vylepšení navigačních systémů strojů, které bylo navrženo v předcházející bakalářské práci a následně uskutečněno, má významný vliv na kvalitu obhospodařované půdy a rostlin na ní pěstovaných. A je možné potvrdit pokračování v implementaci těchto technologií i v následujících letech.

Diskuse v závěru práce se zaměřuje na zhodnocení dosažených výsledků, jejich interpretaci a porovnání s ostatními výzkumy na totožné téma v oblasti optimalizace pohybu zemědělských strojů a jejich vlivu na rostliny.

Celkově lze konstatovat, že diplomová práce přináší relevantní poznatky a doporučení pro praktické využití optimalizace pohybu techniky v zemědělské praxi s cílem dosáhnout udržitelného rozvoje a ochrany půdního prostředí.

10 Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Pohyb po ploše 1 ha při použití minimalizační technologie (Kroulík, 2019)	15
Obrázek č. 2 – Potenciální zranitelnost spodních vrstev zemědělské půdy zhutněním (Utůžek ČR - eAgri, 2023)	19
Obrázek č. 3 – Limitní hodnoty fyzikálních vlastností půdy (Lhotský, 2000)	20
Obrázek č. 4- Délky pracovních a nepracovních jízd stanovené pro jednotlivé azimuty trajektorií pro hodnocený pozemek, zdroj: (Kroulík, 2019)	29
Obrázek č. 5 - CTF se systémem ComTrac (Kapička, Brant, 2017)	30
Obrázek č. 6 - Schéma CTF systému TwinTrac, (Kroulík, 2019)	31
Obrázek č. 7 - CTF se systémem AdTrac (Kroulík, 2019)	32
Obrázek č. 8 – CTF se systémem HalfTrac (Kroulík, 2019)	33
Obrázek č. 9 – CTF se systémem OutTrac (Kroulík, 2019)	34
Obrázek č. 10 – Nosič nářadí NEXAT zdroj: https://www.nexat.de/en/media-library/	35
Obrázek č. 11 - Pásové střídání plodin, zdroj: https://www.lifetreecheck.eu/cs/Inspiration/Blog/Pasove-stridani-plodin-muze-byt-remenim-eroze	36
Obrázek č. 12 – Dosavadní pohyb zemědělských strojů během roku po pozemku (Linda, 2022)	39
Obrázek č. 13 – Návrh systému CTF HalfTrac (Linda, 2022)	40
Obrázek č. 14 – Hranice pozemku 1 (zdroj: vlastní zpracování)	42
Obrázek č. 15 – Optimalizované linie CTF pro všechny stroje pohybující se po pozemku 1 (zdroj: vlastní zpracování)	43
Obrázek č. 16 – Údaje k optimalizovaným liniím na pozemku 1 (zdroj: vlastní zpracování)	45
Obrázek č. 17 – Hranice pozemku 2 (zdroj: vlastní zpracování)	46
Obrázek č. 18 – Optimalizované line pohybu po pozemku 2 v programu Geo-Bird (zdroj: vlastní zpracování)	47
Obrázek č. 19 – Fendt 720 Varío a Vaderstad Tempo V12 (zdroj: Agro HD – photography)	48
Obrázek č. 20 – Údaje o optimalizovaných přejezdech na pozemku 2 (zdroj: vlastní zpracování)	49

Obrázek č. 21 – Nákres přejezdu jednotlivých jízd po pozemku a poloha měřených řádků (zdroj: vlastní zpracování)	51
Obrázek č. 22 – Půdní profil odporu penetrometru ve srovnání s jednotlivými přejezdy a řádky (zdroj: vlastní zpracování)	52
Obrázek č. 23 - Odběr 0,5 metru řádku ječmene (zdroj: vlastní foto)	53
Obrázek č. 24 - Odběr vzorku ječmene jarního před sklizní (zdroj: vlastní zpracování) ...	58
Obrázek č. 25 - Nákres jednotlivých přejezdu a měřených řádků po vyměřeném úseku pozemku (zdroj: vlastní zpracování).....	66
Obrázek č. 26 – Odpor půdního profilu ve spojení s nákresem přejezdu a jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování)	67
Obrázek č. 27 – Fotografie z prvního odběru rostlin (zdroj: vlastní zpracování).....	68
Obrázek č. 28 – Délka a tvar kořenů rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	73
Obrázek č. 29 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 1-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	73
Obrázek č. 30 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	74
Obrázek č. 31 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 3-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	74
Obrázek č. 32 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování).....	75
Obrázek č. 33 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování).....	75
Obrázek č. 34 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	81
Obrázek č. 35 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 1-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	81
Obrázek č. 36 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	82
Obrázek č. 37 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 3-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	82

Obrázek č. 38 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování).....	83
Obrázek č. 39 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování).....	83
Obrázek č. 40 – Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	87
Obrázek č. 41 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 1-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	87
Obrázek č. 42 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	88
Obrázek č. 43 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 3-krát přejetém řádku (zdroj: vlastní zpracování).....	88
Obrázek č. 44 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 0-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování).....	89
Obrázek č. 45 - Délka a tvar kořene rostlin cukrové řepy na 2-krát přejetém řádku bez předseťové přípravy (zdroj: vlastní zpracování).....	89

11 Seznam grafů

Graf č. 1 – Graf počtu rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)	54
Graf č. 2 – Graf počtu odnoží na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)	55
Graf č. 3 – Graf s průměrným počtem odnoží jedné rostliny na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování).....	56
Graf č. 4 – Graf průměrné suché hmotnosti rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování).....	57
Graf č. 5 – Průměrný počet klasů odebraných vzorků jednotlivých přejezdu (zdroj: vlastní zpracování).....	59
Graf č. 6 – Graf průměrných délek stopku na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)	60
Graf č. 7 – Graf ukazující průměrný počet zrn v klasu na jednotlivých přejezdech (zdroj: vlastní zpracování).....	61
Graf č. 8 – Hmotnost všech zrn vymláčených ze vzorku. (zdroj: vlastní zpracování)	62
Graf č. 9 – Hmotnost tisíce zrn jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování).....	63
Graf č. 10 – Naměřené objemová hmotnost jednotlivých přejetých řádků (zdroj: vlastní zpracování).....	64
Graf č. 11 – Průměrný počet listů rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)	69
Graf č. 12 – Graf průměrných délek listů rostlin (zdroj: vlastní zpracování).....	70
Graf č. 13 – Průměrná hmotnost suchých listů rostlin na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování).....	71
Graf č. 14 – Průměrné hmotnosti suchého kořene rostlin z jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování).....	72
Graf č. 15 – Graf průměrného počtu listu rostlin na jednotlivých přejezdech (zdroj: vlastní zpracování).....	77
Graf č. 16 – Průměrná délka listů rostlin na jednotlivých přejetých řádcích (zdroj: vlastní zpracování).....	78
Graf č. 17 – Průměrné hmotnosti suchých listů rostlin odebraných z jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování)	79

Graf č. 18 – Hmotnost suchého kořene rostlin cukrové řepy na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)	80
Graf č. 19 – Hmotnost čerstvého kořene rostlin cukrové řepy odebraných z jedlových řádků (zdroj: vlastní zpracování)	85
Graf č. 20 – Průměrná cukernatost rostlin cukrové řepy z jednotlivých řádků (zdroj: vlastní zpracování).....	86

12 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Průměrné naměřené hodnoty vývoje rostlin (zdroj: vlastní zpracování).....	53
Tabulka č. 2 – Průměrné naměřené hodnoty vzorků odebraných 4.8.2023 (zdroj: vlastní zpracování).....	58
Tabulka č. 3 – Tabulka všech průměrných hodnot měřených vzorků z 30.5.2023 (zdroj: vlastní zpracování).....	68
Tabulka č. 4 – Tabulka zprůměrovaných měřených hodnot rostlin cukrové řepy na jednotlivých řádcích (zdroj: vlastní zpracování)	76
Tabulka č. 5 – Průměrné naměřené hodnoty jednotlivých rostlin z odběru 17.9.2023 (zdroj: vlastní zpracování).....	84

14 Citovaná literatura

BATEY, T., 2009. Soil compaction and soil management. *Soil Use and Management*. roč. 25, č. 4, s. 335-345. ISSN 02660032. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>.

BOTTA, G; RIVERO, D; TOURN, M; MELCON, F; POZZOLO, O et al., 2008. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. online. *Soil and Tillage Research*. roč. 101, č. 1-2, s. 44-51. ISSN 01671987. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.06.001>. [cit. 2024-02-23].

BRANT, Václav a KROULÍK, Milan, 2017. Utužení a zhutnění půdy. online. *Centrum precizního zemědělství*. roč. 2017, č. 1, s. 1-28. Dostupné z: <https://cpz.czu.cz/cs>. [cit. 2024-03-25].

BRANT, Václav; KROULÍK, Milan; KRČEK, Vítězslav; KRÁSA, Josef; KAPIČKA, Jiří et al., 2020. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent. ISBN 978-80-87111-81-9.

BRENNENSTHUL, Marek a CHOLENSKÝ, David, 2015. *Charakteristika pneumatiky pro zemědělství*. online. In: *Agrojournál*. Dostupné z: <https://www.agrojournál.cz/clanky/charakteristika-pneumatiky-pro-zemedelstvi-38>. [cit. 2022-01-02].

BULGAKOV, Volodimir; ADAMCHUK, Valeriy; KUVACHOV, Volodymyr a IVANOV, Semjons, 2017. Investigation of technological properties of wide span tractors for controlled traffic farming. s. -. Dostupné z: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N060>.

FERNÁNDEZ-RAGA, María; PALENCIA, Covadonga; KEESSTRA, Saskia; JORDÁN, Antonio; FRAILE, Roberto et al., 2017. Splash erosion: A review with unanswered questions. online. *Earth-Science Reviews*. roč. 171, s. 463-477. ISSN 00128252. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.009>. [cit. 2024-02-27].

CHALOUPSKÝ, Radovan; KŘIVÁNEK, Jindřich a VAVERA, Radek, 2004. VLIV UTUŽENÍ PŮDY NA SLEDOVANÉ VÝNOSOVÉ UKAZATELE PŠENICE OZIMÉ A JEČMENE JARNÍHO. *Sborník z konference „Řepařství & Sladovnický ječmen 2004“*, 18.-19.2. 2004. roč. 2004, č. 1, s. 194-167.

JANEČEK, Miloslav, 2005. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Vyd. 2. Přírodní vědy (ISV). Praha: ISV. ISBN 80-866-4238-0.

JANEČEK, Miloslav, 2012. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Powerprint. ISBN 978-80-87415-42-9.

JAVŮREK, Miloslav a VACH, Milan, 2008. *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. 2008. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-87011-57-7.

JÍLEK, Petr; ŠEVČÍK, Ivo a DUŠEK, Lukáš, 2016. *PNEUMATIKY PRO ZEMĚDĚLSKOU TECHNIKU*. online. In: Perner's Contacts. Dostupné z: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/549>. [cit. 2022-01-19].

KAPIČKA, Jiří a BRANT, Václav, 2017. *METODICKÝ POSTUP PRO OPTIMALIZACI VELIKOSTI ZEMĚDĚLSKÝCH POZEMKŮ*. 2017. Praha. Dostupné také z: https://kalkulacka.vumop.cz/docs/Methodika_Kapicka_Brant_Optimalizace_publicace.pdf.

KROULÍK, Milan, 2019. *Implementace navigačních technologií a aplikací s podporou GPS*. Praha: Agrární komora České republiky. ISBN ISBN978-80-88351-04-7.

KUMHÁLA, František; GUTU, Dumitru; KROULÍK, Milan; CHYBA, Jan; HŮLA, Josef et al., 2013. *Technologie řízených přejezdů po pozemcích: uplatněná certifikovaná metodika*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta. ISBN ISBN978-80-213-2425-1.

LHOTSKÝ, Jiří, 2000. *Zhutňování půd a opatření proti němu*. 2000. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 80-727-1067-2.

LINDA, Václav, 2022. *Hodnocení intenzity přejezdů pozemků zemědělskou technikou*. Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Dostupné také z: https://is.czu.cz/zp/index.pl?podrobnosti_zp=294135;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek_zp=Václav%20Linda;kde=nazev;kde=autor;kde=klic_slova;filtr_stav=bez;zobrazit=Zobrazit;typ=1;typ=2;typ=3;typ=101;typ=8;typ=7;fakulta=20;fakulta=41;fakulta=40;fakulta=71;fakulta=50;fakulta=73;fakulta=72;fakulta=10;fakulta=30;obhajoba=2024;obhajoba=2023;obhajoba=2022;jazyk=1;jazyk=3;jazyk=2;jazyk=-1.

MISTR, Martin a JANOUŠEK, Zbyněk, 2021. *Vrstevnicové obdělávání a pásové střídání plodin jako účinná protierozní opatření*. online. In: . Dostupné z: <https://www.ctpz.cz/vyzkum/vrstevnicove-obdelavani-a-pasove-stridani-plodin-jako-ucinna-protierozni-opatreni-1136>. [cit. 2022-01-05].

POLCAR, Adam; ŠIMEČKOVÁ, Jana; VOTAVA, Jiří a KUMBÁR, Vojtěch, 2021. Vliv přejezdu zemědělské techniky na utužení půdy. online. *LISTY CUKROVARNICKÉ a ŘEPAŘSKÉ*. roč. 2021, č. 13720213108–112, s. 5. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2021/PDF/108-112.pdf. [cit. 2024-03-18].

PRIKNER, Patrik, 2012. *Vliv zatížených pneumatik na půdu*. online. In: Zemědělec. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/vliv-zatizenych-pneumatik-na-pudu/>. [cit. 2021-12-31].

RATAJ, Vladimír, 2017. *Utuzování půdy a řízený pohyb strojů po poli*. online. In: Mechanizace zemědělství. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/utuzovani-pudy-a-rizeny-pohyb-stroju-po-poli-ctf/>. [cit. 2021-12-31].

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav a LITSCHMANN, Tomáš, 2008. *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině*. 2008. Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-55-1.

RYŽAK, Magdalena; BIEGANOWSKI, Andrzej; POLAKOWSKI, Cezary a SINGER, Andrew, 2015. Effect of Soil Moisture Content on the Splash Phenomenon Reproducibility. online. *PLOS ONE*. roč. 10, č. 3. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119269>. [cit. 2024-02-27].

SHAHGHOLI, Gholamhossein a ABUALI, Mohammadreza, 2015. Measuring soil compaction and soil behavior under the tractor tire using strain transducer. online. *Journal of Terramechanics*. roč. 59, s. 19-25. ISSN 00224898. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.007>. [cit. 2024-02-23].

Utuzení půdy ČR - eAgri, 2023. online. In: EAgri. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/utuzeni-pudy>. [cit. 2024-02-23].

VERMEULEN, G.; TULLBERG, J. a CHAMEN, W., 2010. Controlled Traffic Farming. *Soil Engineering*. Soil Biology. s. 101-120. ISBN 978-3-642-03680-4. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-642-03681-1_8.

ZHANG, Qin, 2016. *PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGY FOR CROP FARMING*. Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4822-5107-4.