

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Bakalářská práce

**Hodnocení intenzity přejezdů pozemků zemědělskou
technikou**

Václav Linda

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Václav Linda

Zemědělské inženýrství
Zemědělská technika

Název práce

Hodnocení intenzity přejezdů pozemků zemědělskou technikou.

Název anglicky

The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity.

Cíle práce

Hypotéza: „Sběr dat a jejich využití má výrazný ekonomický potenciál v hospodaření na pozemcích“.

Na základě monitoringu souprav vyhodnotit intenzitu a četnost přejezdů a přijmout opatření pro snížení zátěže půdy a energetických vstupů.

Metodika

Práce bude rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část bude obsahovat rozbor literárních pramenů, které se týkají problematiky intenzity přejezdů, optimalizace trajektorií, technologií, redukujících četnost přejezdů, zhutnění půdy a rizikům s tím spojených. Budou hodnoceny možnosti snižování zátěže pozemků pojezdovými mechanismy a snižování materiálových vstupů na základě optimalizace trajektorií jízd a snižování překryvů jízd.

Zpracování literární rešerše zaměřené na zpracování půdy, intenzitu přejezdů po pozemcích a optimalizaci jízd.

Sběr a hodnocení dat z monitoringu souprav a vyhodnocení úrovně materiálové zátěže při rozdílných úrovních fyzického řízení pracovních souprav.

Příprava a návrhy modelových situací pro optimalizaci jízd a managementu využití půdního bloku.

Ekonomické zhodnocení a porovnání návrhů.

Diskuse výsledků a závěr.

Doporučený rozsah práce

25 až 30 stran včetně tabulek, obrázků a grafů

Klíčová slova

GPS navigace; přejezdy; utužení půdy; optimalizace tras

Doporučené zdroje informací

BRANT, V. – KROULÍK, M. – KRČEK, V. – KRÁSA, J. – KAPIČKA, J. – HAMOUZ, P. – LUKÁŠ, J. – ZÁBRANSKÝ, P. – ŠKEŘÍKOVÁ, M. – ŠKEŘÍK, J. – JOB, Z. – LANG, J. – LANG, J. – PETRUS, D. Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby. České Budějovice: Kurent, s.r.o., 2020, 284s. ISBN 978-80-87111-81-9.

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

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

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2021

prof. Dr. Ing. František Kumbhala

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 01. 12. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Hodnocení intenzity přejezdu pozemků zemědělskou technikou“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 3. 2022

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, připomínky a trpělivost.

Hodnocení intenzity přejezdů pozemku zemědělskou technikou

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením intenzity přejezdů pozemku zemědělskou technikou. Hlavním cílem bylo potvrdit nebo vyvrátit hypotézu: „Sběr dat a jejich využití má výrazný ekonomický potenciál v hospodaření na pozemcích“ a určit četnost přejezdů po pozemku, ke které budou následně vypracovány návrhy na snížení zatížení půdy. První část práce je zaměřena na problematiku intenzity přejezdů pozemku a na následnou optimalizaci trajektorií. Druhá část práce se věnuje vyhodnocení dat získaných při práci strojů na vybraných pozemcích po dobu jedné sezóny. Poslední část se zabývá vypracováním návrhů na snížení zatížení půdy a ekonomické náročnosti.

Klíčová slova: GPS navigace, přejezdy, utužení půdy, optimalizace tras, CTF

The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity

Abstract

This bachelor's thesis deals with the evaluation of the intensity of land crossings by agricultural machinery. The main goal of the thesis was to confirm or refute the hypothesis: "Data collection and their use has a significant economic potential in land management" and determine the frequency of land crossings, for which proposals to reduce a soil load will be developed. The first part of the work is focused on the issue of the intensity of land crossings and the subsequent trajectory optimization. The second part of the work deals with the evaluation of data obtained during the work of machines on selected plots for a season. The last part deals with the development of proposals to reduce a soil load and economic demands.

Keywords: GPS navigation, crossings, soil compaction, route optimization, CTF

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce	10
3	Metodika práce	11
4	Intenzita přejezdu a problematika s tím spojená	12
4.1	Intenzita přejezdů.....	12
4.2	Zhutnění půdy	13
4.2.1	Půdní prostředí.....	14
4.3	Pneumatiky a jejich vliv na půdu.....	14
5	Optimalizace trajektorií a pohyb zemědělských strojů po pozemku	16
5.1	Návrh a vytvoření optimální trajektorie.....	16
5.2	Optimální trajektorie s protierozním efektem.....	17
5.3	Technologie kontrolovaných přejezdů po pozemku CTF.....	19
5.3.1	Technologie CTF realizovaná za pomoci traktorových nosičů	23
6	Vyhodnocení naměřených dat	25
6.1	Technické informace o jednotlivých použitých zemědělských strojích ...	25
6.2	Hodnocení intenzity přejezdů na pozemku 1	27
6.2.1	Výsledky hodnocení intenzity přejezdů na pozemku 1	31
6.3	Hodnocení intenzity přejezdů na pozemku 2.....	34
6.3.1	Výsledky hodnocení intenzity přejezdu na pozemku 2	38
6.4	Měření reálné přesnosti použitých satelitních navigací	42
7	Navržené opatření a jejich výsledky	44
8	Diskuse výsledků	46
9	Závěr	48

1 Úvod

Zemědělství je hlavním zdrojem obživy lidstva už několik tisíc let a s největší pravděpodobností tomu bude i nadále. I když počet obyvatel naší planety neustále narůstá, počet lidí, kteří se zemědělstvím zabývají, výrazně klesá. Tento efekt má za následek hledání a vyvíjení nových technologií, které by byly schopny nahradit člověka, který v tomto oboru chybí. Dalo by se říct, že zemědělství je několik posledních desítek let špičkou ve vývoji autonomních strojů a navigačních systémů, proto by tento obor mohl být opět lákavý pro spoustu mladých lidí, jelikož v něm už nepůjde ani tak o to, umět stroj řídit, ale spíše o to, jak správně ho nastavit, ovládat a využít data, jež od stroje přijmeme.

Česká republika je charakteristická rozmanitostí svých terénních i klimatických podmínek, proto zde nikdy nemůže a nebude existovat jediný návod na správné hospodaření. Současné technologie, které jsou v zemědělství používané, vyšly ze zkušeností celých generací. V každé době museli zemědělci obstát v tvrdé ekonomické konkurenci. Zemědělská půda je ve členité krajině České republiky z více než 50 % ohrožena vodní erozí a 10 % z ní je již nenávratně znehodnoceno. Proto je potřeba používat takové postupy, abychom co nejvíce předešli dalšímu poškozování naší cenné půdy.

První kapitola teoretické části této práce obsahuje seznámení s problematikou intenzity přejezdů zemědělských strojů po pozemku, které při nadměrné míře mohou vést ke zhutnění zemědělské půdy. Jako část opatření proti tomuto problému může posloužit výběr vhodných pneumatik zemědělské techniky, použití systému umožňujícímu měnit tlak v pneumatikách nebo přímé osazení zemědělských strojů pásovými jednotkami. Druhá kapitola je věnována optimalizacím trajektorií a pohybu zemědělských strojů po pozemku, které jsou hlavním faktorem ovlivňujícím následnou intenzitu přejeté plochy. Kapitola patřící do praktické části této práce je určena k vyhodnocení naměřených dat, která byla získána ze zemědělských strojů pohybujících se po dvou předem vybraných pozemcích. Z naměřených dat je dále vyhodnocena intenzita přejeté plochy.

Výstupem této práce budou návrhy vytvořené na snížení poškozování zemědělské půdy a ekonomické náročnosti pro její obhospodařování.

2 Cíl práce

Jedním z cílů této práce byla hypotéza „Sběr dat a jejich využití má výrazný ekonomický potenciál v hospodaření na pozemcích“, která bude v závěru práce potvrzena, či vyvrácena. Na základě monitoringu souprav bude vyhodnocena intenzita a četnost přejezdů a budou přijata opatření pro snížení zátěže půdy a energetických vstupů.

3 Metodika práce

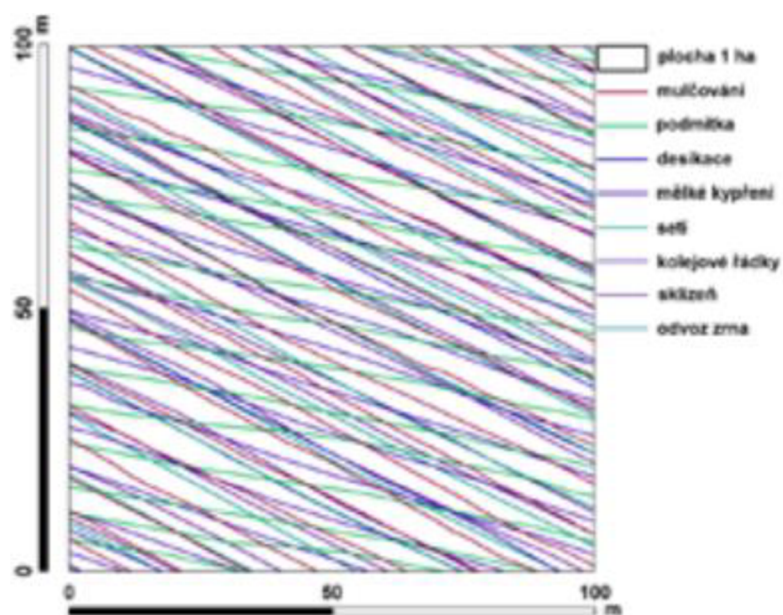
Práce bude rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část bude obsahovat rozbor literárních pramenů, které se týkají problematiky intenzity přejezdů, optimalizace trajektorií, technologií redukcí četnosti přejezdů, zhutnění půdy a rizik s tím spojených. Budou hodnoceny možnosti snižování zátěže pozemků pojezdovými mechanismy a snižování materiálových vstupů na základě optimalizace trajektorií jízd a snižování překryvů jízd. Vytvořená literární rešerše bude zaměřena na zpracování půdy, intenzitu přejezdů po pozemcích a optimalizaci jízd. Praktická část práce obsahuje sběr a hodnocení dat z monitoringu souprav a vyhodnocení úrovně materiálové zátěže při rozdílných úrovních fyzického řízení pracovních souprav. Bude se věnovat také přípravě a návrhům modelových situací pro optimalizaci jízd a managementu využití půdního bloku, ekonomickému zhodnocení a porovnání návrhů. Nakonec budou diskutovány výsledky a provedeno bude závěrečné zhodnocení.

4 Intenzita přejezdu a problematika s tím spojená

V dnešní době se velká část zemědělců začala více zajímat o ochranu vlastní zemědělské půdy. Mezi hlavní rizika poškození půdy patří zhutnění a eroze (Kroulík, 2019). V České republice je jedním z hlavních problémů vodní eroze a s ní spojená degradace obdělávané půdy. Stejně jako vodní eroze může i zhutnění půdního profilu na povrchu a utužení vznikající při orbě pod povrchem vést k narušení a ztrátě struktury půdy (Brant, Kroulík a kol., 2020).

4.1 Intenzita přejezdů

Časté přejezdy zemědělské techniky po pozemku jsou hlavním problémem zhutnění půdy. Jejich nežádoucí účinky lze na takto poškozených místech pozorovat i několik let. Na (Obrázek č. 1) jsou vyobrazeny trajektorie jízd strojů po zavedení minimalizační technologie zpracování půdy. Působení kol všech strojů na půdu dosahovalo hodnot 65,2 % pokrytí pozemku, které se ještě dost výrazně zvýší při použití konvenčního zpracování půdy orbou, a to na hodnotu 88,2 %. Velkým problémem týkajícím se této problematiky je opakovaný přejezd jednoho místa, což může výrazně zvyšovat nežádoucí účinky vyvolané zhutněním (Kroulík, 2019).



Obrázek č. 1 – Pohyb zemědělských strojů po pozemku o rozloze 1 ha během jedné sezóny, zdroj: (Kroulík, 2019).

4.2 Zhutnění půdy

Půda patří mezi nenahraditelné zdroje obživy pro celé lidstvo, proto je důležité se k ní chovat šetrně a starat se o ni stejně jako o své tělo. V dnešní době půdu vnímáme jako samozřejmost a nechováme se k ní s úctou a respektem, aby v dobré kvalitě přetrvala i pro naše budoucí generace. Pole a půdní plochy mizí každoročně po tisících hektarech na úkor překladních a výrobních hal, komunikací a rozšiřujících se městských čtvrtí. Tyto plochy jsou nadobro a nenávratně ztraceny. V dnešní době velkovýroby čím dál častěji využíváme velkých pracovních rozměrů strojů, které ke své práci potřebují dostatečně vysoký výkon motoru, to vede k růstu hmotnosti těchto strojů a jejich negativnímu působení na půdu. Zhutnění půdy vzniklé přejezdem těchto strojů po půdě se nazývá technogenní faktor.

Pro snížení působení zemědělských strojů na půdu lze použít několik technických řešení (Rataj, 2017):

- Speciální nízkotlaké pneumatiky;
- Variabilní huštění pneumatik;
- Rozložení hmotnosti na více náprav;
- Použití dvojmontážních pneumatik;
- Použití pásových podvozků.

Zhutnění půdy je hlavním problémem častých přejezdů po pozemku a jeho negativní účinky se mohou projevit zhoršením prostředí půdy, zvýšením nákladů na pohonné hmoty a energetickou náročností při zpracování půdy. Může mít ale také vliv i na rostliny rostoucí v takto poškozené půdě (Javůrek, 2008). Efekt zhutnění půdy se nejčastěji projevuje v obdělávané vrstvě, těsně pod ní a ve větších hloubkách. Vytvořená vrstva zhutněné půdy může mít tloušťku od jednotek až do stovek milimetrů v závislosti na jejím složení a druhu. Na tloušťku této zhutněné vrstvy má také velký vliv hmotnost strojů pohybujících se po povrchu a vlhkost půdy (Batey, 2009).

4.2.1 Půdní prostředí

Při zhutnění dochází k nárůstu objemové hmotnosti půdy a snížení jejich nekapilárních pórů. Při nadměrném zhutnění může dojít k úplné destrukci půdních agregátů a také ke ztrátě tvorby nové půdní struktury, na které se významně podílejí drobní živočichové (členovci, dešťovky), kteří v půdě vytvářejí drobné cesty podporující pohyb vody a vzduchu. Jednobuněčné organismy (prvoci, bakterie) jsou závislé na dostatečném množství organických látek, vzduchu a vlhkosti a mají velký vliv na přeměnu organických látek a tvorbu půdního humusu. Při velkém zhutnění půdy nedochází k dostatečnému rozmnožování a aktivitě těchto jednobuněčných organismů, což má vliv na kvalitu a zdraví půdy. Rostliny potřebují ke svému růstu kvalitní a vyvážený příjem živin a biologický život v půdě může hrát při tomto procesu důležitou roli. Je vědecky dokázáno, že při objemovém zhutnění půdy nad hodnotu $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ dochází ke snížení efektu hnojení (Javůrek, 2008).

Zhutnění půdy má negativní vliv na její fyzické, chemické a biologické vlastnosti. Mění její strukturu tím, že se tvoří velké celky zhutněné půdy se sníženým počtem pórů pro propustnost vody a vzduchu do nižších vrstev půdy. Tyto změny mají vliv na snížení podpovrchových zdrojů vody, odtoků vody po povrchu a následnou erozi. Poslední zmíněné změny mohou vést při velkých dešťových srážkách k zaplavení obydlených oblastí a pozemních komunikací (Batey, 2009).

4.3 Pneumatiky a jejich vliv na půdu

Stejně jako každá část zemědělského stroje se i pneumatiky neustále zdokonalují. Výrobci nepřetržitě vyvíjejí a vylepšují své nejpoužívanější druhy pneumatik, které jsou zaměřené na výkonnostní skupiny strojů (traktory, sklízecí mlátičky atd.) a neustále se měnící půdní podmínky. Výkony zemědělských strojů tak neustále rostou a tomu je potřeba přizpůsobit i konstrukci pneumatik. Radiální a nízkotlaké pneumatiky jsou čím dál častěji upřednostňovány před pneumatikami diagonálními, jež se uplatňují jen ve specifických oblastech zemědělství (Brennenstul, 2015). Pneumatiky v dnešní době jsou zpravidla bezdušové, i když v zemědělství se dá očekávat návrat pneumatik s duší z důvodu jejich lepšího přenosu hnací síly a menšího namáhání na smyk. Zemědělské stroje s neustále rostoucí hmotností a výkonem motoru jsou závislé na kvalitě styčné plochy pneumatik, jež je důležitá pro přenos hnací síly na kola a dosažení vhodné tahové účinnosti pohybující se

maximálně okolo 70–72 %. Jednotlivé typy a velikosti pneumatiky jde jednoduše rozpoznávat díky metodě vícenásobného otisku. S pomocí této metody lze také spolehlivě zjistit styčnou plochu, která má hlavní vliv na zhutnění půdy. Její velikost lze změnit pomocí změny tlaku v pneumatice, jenž by se měl přizpůsobovat vhodné pracovní operaci a měnit se vlhkosti půdy (Prikner, 2012).

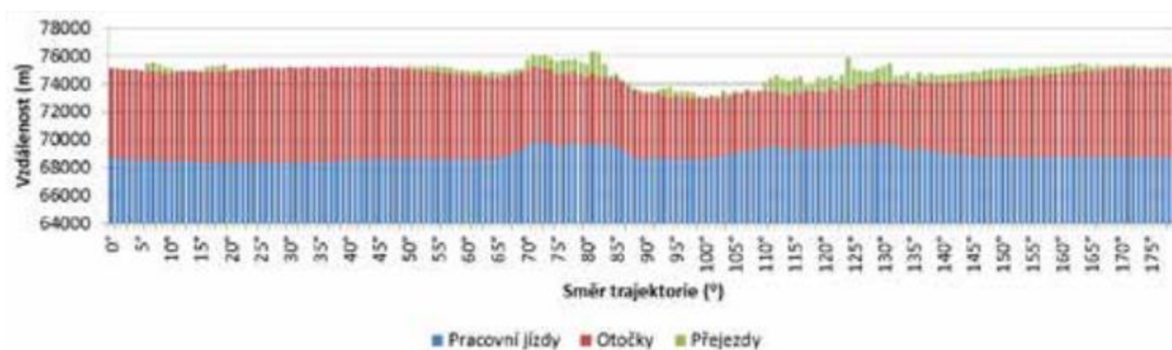
5 Optimalizace trajektorií a pohyb zemědělských strojů po pozemku

Jedním z důležitých faktorů dnešní doby je přesná znalost polohy a tu nelze zanedbat ani v zemědělství, kde patří stále víc mezi nezbytné a důležité prvky tohoto oboru. Jedním z velkých pokroků pro tuto problematiku bylo zavádění satelitních navigací v zemědělství, což můžeme považovat za počátek precizního zemědělství. Mnoho zemědělských prací je již dnes na těchto navigacích závislých a bez jejich použití by už takto specializované zemědělské práce nebylo možné provádět. Aby stroje mohly práce vykonávat opětovně, po delší dobu, ve stejných trajektoriích, využívá se velice přesný korekční signál RTK (Real-time kinematic), který dokáže opakovaně zaručit přesnost i na několik milimetrů. Při použití satelitních navigací je možné dosáhnout až o 30 % nižší pokrytí přejeté plochy pozemku a jejího zhutnění. Není možné omezit veškeré přejezdy zemědělské techniky po pozemku, ale mohou se co nejvíce optimalizovat, což může znamenat pozitivní přínos v nákladech na pohonnou hmotu, dobu vykonávání jednotlivých prací a poškozování půdy zbytečnými přejezdy (Zhang, 2016). Tyto pozitivní efekty optimalizace stále narůstají s přibývajícím hmotností zemědělských souprav a zvyšujícími se cenami pohonných hmot. K úspoře a šetrnosti takto optimalizovaných trajektorií se nedovedou přiblížit ani zkušení řidiči zemědělských strojů při vlastní volbě pracovní trajektorie. Na určení té optimální má vliv mnoho faktorů, jako jsou tvar pozemku a jeho velikost, členitost terénu, počet a velikost překážek a také velikost a pracovní záběr zemědělských strojů. Tyto stroje již dnes dovedou zaznamenat spoustu těchto důležitých parametrů a dat týkajících se obdělávaného pozemku. Data a parametry je pak možné z nich získat a díky nim ještě lépe optimalizovat jednotlivé zemědělské operace a pracovní trajektorie (Brant, Kroulík a kol., 2020).

5.1 Návrh a vytvoření optimální trajektorie

Určení optimální trajektorie jízdy po pozemku není v dnešní době problémem. Existuje několik programů umožňujících vytvoření optimálních trajektorií doma na svém počítači, např. SMS Basic (Ag Leader Technology, USA), OptiTrail (LeadingFarmers a.s., ČR). Možnost jejich tvoření také začínají přidávat do svých programů výrobci navigací a traktorů. Tyto programy slouží ke správě dat a monitoring svých zemědělských strojů. K tvorbě optimální trajektorie je zapotřebí hranice pozemku, kterou je možno získat přímo

ze satelitní navigace umístěné přímo v traktoru nebo z webových stránek farmáře LPIS (Land Parcel Identification System). Tyto získané informace, nejčastěji ve formátu SHP (Shapefile), nahrajeme spolu s údaji o pracovním záběru, poloměru otáčení stroje a počtu jízd na souvrati do dříve uvedených programů. Program vytvoří 180 jednotlivých trajektorií, každou se změnou 1° a vybere tu nejvíce vyhovující danému pozemku. Podle studie (Kroulík, 2019) zabývající se optimalizací trajektorií bylo vypočítáno všech 180 možných trajektorií a na (Obrázek č. 2) jsou vyobrazeny délky pracovních a nepracovních jízd pro každý jeden stupeň azimutu. Z (Obrázek č. 2) lze usoudit, že výběr správné trajektorie má velký vliv na vzdálenost ujetou zemědělským strojem po pozemku a také na opakovaně přejetou plochu. Při volbě správné trajektorie je potřeba brát ohled také na směr vrstevnic a následně volit optimální trajektorii s ideálním poměrem mezi směrem vrstevnice a ujetou vzdáleností.



Obrázek č. 2 – Délky pracovních a nepracovních jízd stanovené pro jednotlivé azimuty trajektorií pro hodnocený pozemek, zdroj: (Kroulík, 2019)

5.2 Optimální trajektorie s protierozním efektem

Další možností při volbě vhodných trajektorií je výběr těch, které respektují odtokové linie na pozemku, jež mají velký vliv na vodní erozi, a tímto způsobem je možné tomuto fyzikálnímu jevu do značné míry zabránit. Mohou k tomu sloužit také protierozní pásy, které jsou vytvořeny podle odtokových linií pozemku. Tyto protierozní pásy bývají často osety rostlinami odolnými proti erozi, jako jsou různé druhy trav, jež je následně možné využít k sečení. S příchodem přesných navigací a se systémem řízení sekcí není potřeba ani tyto protierozní pásy objíždět, ale je možno obdělávat pole jako jeden celek (Kroulík, 2019).

Následující možností, jak se bránit vůči vodní erozi, může být takzvané pásové střídání plodin (Obrázek č. 3). U této metody jsou trajektorie vytvořeny přesně podle vrstevnic pozemku a pole je rozděleno na stejně široké pruhy dvou různých plodin. Tento vrstevnicový

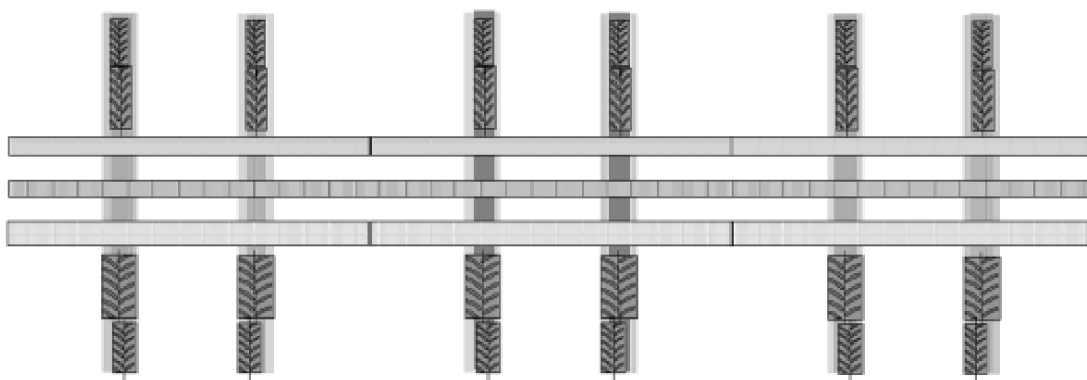
způsob ochrany proti erozi je vhodné využít na pozemku o sklonu 12–18 %. Při sklonu vyšším než tyto hodnoty, účinnost této metody už neplatí a vodní erozi už nijak nezabraňuje. Při tvorbě trajektorií je nutné dodržet, aby jejich odchylka od vrstevnice nepřesáhla 30 % (Mistr, 2021). Důležitými pravidly při této metodě jsou dodržení střídání plodin odolných vůči vodní erozi (ozimé obilniny, vojtěška, hrách, řepka ozimá, jetel, travní porost) s plodinami na vodní erozi náchylnějšími a větší šířka řádků (cukrová řepa, kukuřice). Šířka jednotlivých pruhů by se měla odvíjet od úhlu sklonu svahu a jeho délce, druhu půdy a vlastnosti přijímat vodu, odolnosti vůči erozi a od pracovních záběrů zemědělských strojů. Tato šířka pruhů by měla být násobkem šířky pracovních záběrů nejčastěji mezi hodnotami 20–50 m. Pro využití této technologie je zapotřebí dostatečně velký pozemek, aby tato metoda měla smysl a rozumné využití. U pásového střídání plodin je podmínkou, aby všechny stroje byly vybaveny satelitními navigacemi s korekčním signálem RTK (Janeček a kol., 2012).



Obrázek č. 3 – Pásové střídání plodin, zdroj: <https://agronavigator.cz/aktualita/video-pasove-stridani-plodin>

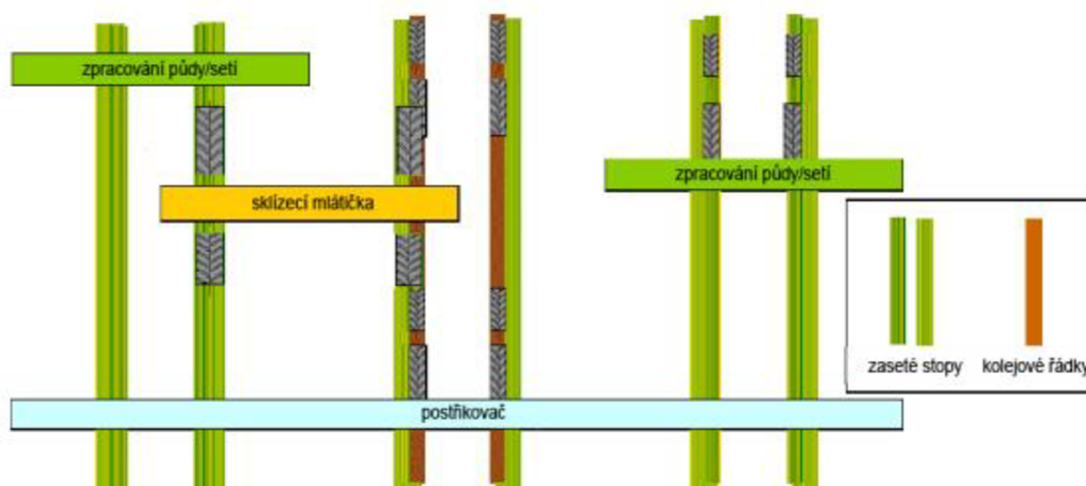
5.3 Technologie kontrolovaných přejezdů po pozemku CTF

Pohyb zemědělských strojů po pozemku je v současné době nevyhnutelný a má za negativní následek zhutňování půdy. Míra půdního zhutnění se odvíjí od počtu a náhodnosti přejezdů po pozemku. Systém kontrolovaného pohybu strojů po pozemku byl představen už v minulém století, ale z důvodu nedostatečné technické vyspělosti nebylo možné ho realizovat. Dnes je tomu však jinak a přesná navigace zavedení těchto technologií umožňuje. Hlavní technologií týkající se kontrolovaného přejezdu po pozemku je systém CTF (Controlled Traffic Farming), který se zabývá pohybem všech strojů po pozemku v totožných stopách (Vermeulen, 2010). Tento systém pohybu strojů se již delší dobu využívá ve spoustě jiných zemích, kde byl dlouhodobě ověřen jeho příznivý přínos. Z toho důvodu se tento systém stále častěji využívá i v České republice. Předpokladem k jeho zavedení jsou velké zemědělské plochy a moderní zemědělské stroje, což má vliv na vysokou počáteční investici, která je však průběhem let zvýšením kvality orné půdy navracena. Systém CTF je možno rozdělit do několika kategorií, kdy každá z nich má trochu jiná pravidla, jak se stroje po pozemku pohybují, ale u každé z nich je velice důležité dbát na dodržování předem určených postupů a kázně pohybu po pozemku jen pomocí přesné navigace po určených trajektoriích. Kategorii, která má nejlepší výsledky týkající se intenzity přejezdů po pozemku, je systém ComTrac (Obrázek č. 4), ve kterém všechny stroje v určeném podniku využívají totožný rozchod kol a pracovní záběry strojů jsou stejných rozměrů nebo jejich násobky, např.: (diskový kypřič 9 metrů, sklízecí mlátička 9 metrů, postřikovač 36 metrů). Tento systém je finančně nejnáročnější z důvodu velkého počtu počátečních investic do úprav všech zemědělských strojů (Kroulík, 2019).



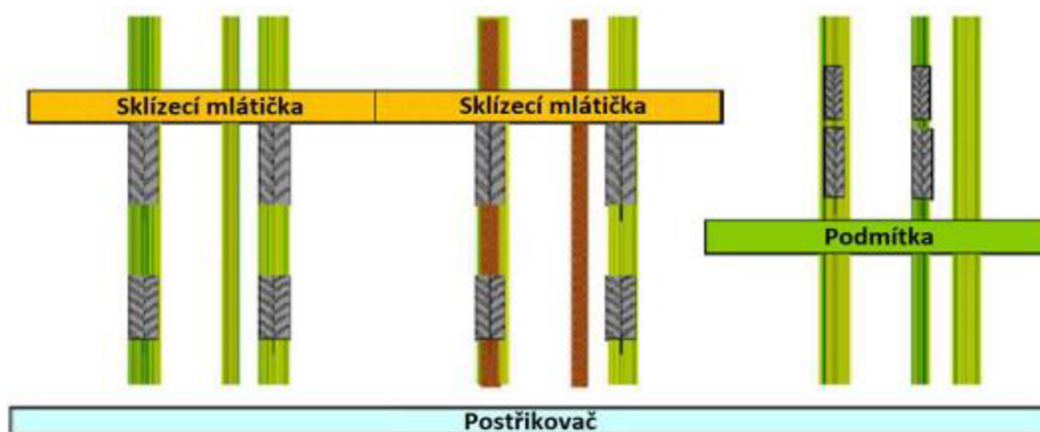
Obrázek č. 4 – Schéma CTF systém ComTrac, zdroj: (Kroulík, 2019)

Dalším řešením CTF, který je možno použít u zemědělského podniku se stroji s malým pracovním záběrem, je systém TwinTrac (Obrázek č. 5): Tento systém využívá právě tyto malé pracovní záběry strojů, díky tomu může sklízecí mlátička využívat kolejové stopy vedlejších jízd.



Obrázek č. 5 – Schéma CTF systému TwinTrac, zdroj: (Kroulík, 2019)

Podobným systémem, který ale není limitován malým pracovním záběrem, je systém AdTrac (Obrázek č. 6), u něhož je možné využít větší pracovní záběr bez nutnosti úpravy traktorů na větší rozchod kol z důvodů využívání jedné kolejové stopy navíc, která se nachází mezi rozchodem stop sklízecí mlátičky. Tuto přídatnou kolejovou stopu spolu s jednou stopou po sklízecí mlátiče využívají zemědělské stroje s odlišným rozchodem kol, než má sklízecí mlátička. U tohoto systému je stejně jako u systémů dříve uvedených nutné dodržení stejných pracovních záběrů zemědělských strojů (Kroulík, 2019).

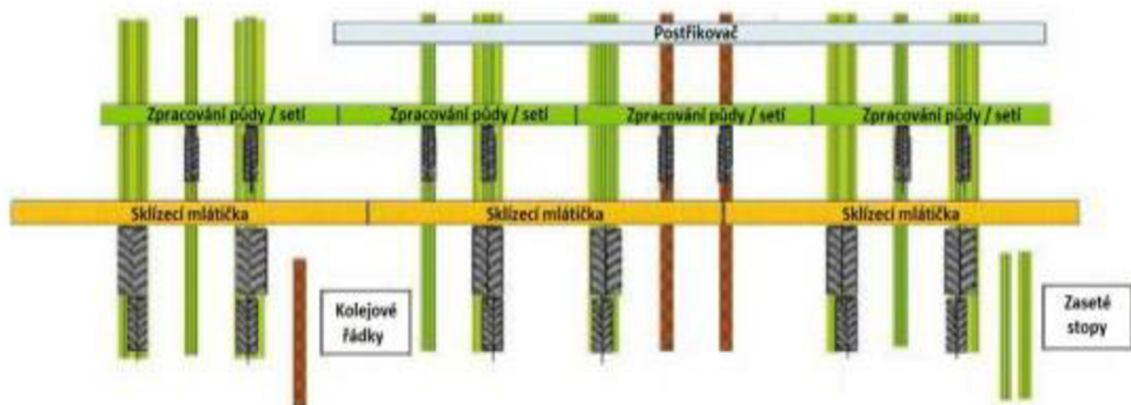


Obrázek č. 6 – Schéma CTF, systém Adtrac, zdroj: (Kroulí, 2019)

Tyto systémy pohybu po pozemku byly uplatněny při pokusech monitorování zemědělských strojů po pozemku. Zpracování půdy bylo prováděno stejným agrotechnickým postupem jako při pohybu zemědělských strojů po pozemku náhodnými přejezdy. Ty dosahovaly hodnot přejeté plochy okolo 63 %. Po využití těchto systémů kontrolovaných přejezdů po pozemku byla zjištěna hodnota přejeté plochy. Při využití systému AdTrac, který využíval pracovní záběr 8 metrů, došlo ke snížení plochy přejeté pneumatikami zemědělských strojů na hodnotu 31 %. U systému TwinTrac využívajícího pracovní záběr 4 metry nebyl pokles přejeté plochy pneumatikami tak intenzivní jako u předchozího systému, ale pokles přejeté plochy na hodnotu 37 % oproti náhodným přejezdům rozhodně také není zanedbatelný. Z těchto výsledků lze určit, že zavedení těchto systémů CTF má smysl, a to i bez nutnosti dalších investic do úpravy zemědělských strojů, díky čemuž jsou tyto systémy ještě zajímavější.

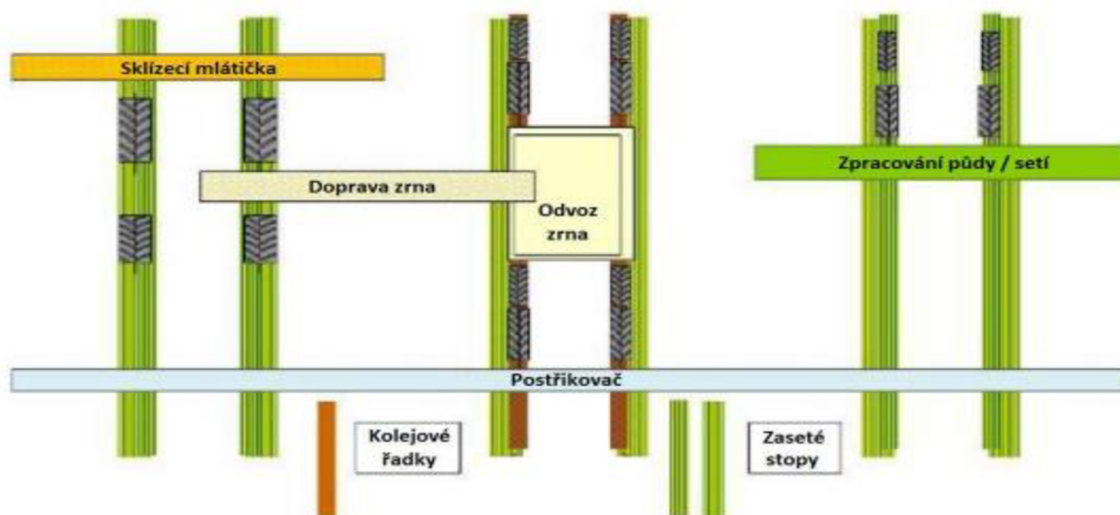
Každý zemědělský podnik využívá spoustu zemědělských strojů od různých výrobců, a proto mohou být záběry pracovních strojů různé. Na změnu pracovních záběrů může mít také vliv způsob zpracování půdy. Při použití diskového kypřiče o pracovním záběru 8 metrů a pracujícím do hloubky 5–10 centimetrů je velice náročné dosáhnout tohoto stejného pracovního záběru při použití radličkového kypřiče pracujícího do hloubky 25–30 centimetrů. Proto využití výše zmíněných systémů CTF, u nichž je nutný totožný pracovní záběr, není možné. Z toho důvodu existují i jiné CTF systémy, schopné tyto problémy vyřešit a jež je možné použít i u lišících se pracovních záběrů.

Jedním z nich je systém HalfTrac (Obrázek č. 7). Tento systém je možné použít pro zemědělské stoje, které mají dva různé rozchody náprav. Stroje pohybující se po pozemku využívají polovinu kolejových stop sklízecí mlátičky a polovinu vlastních paralelních jízdnic stop. Další výhodou systému HalfTrac je možnost 3 různých rozměrů pracovních záběrů.



Obrázek č. 7 – Schéma CTF, systém HalfTrac, zdroj: (Kroulík, 2019)

Další variantou CTF, kde nejsou nutné změny rozchodů náprav zemědělských strojů, je systém OutTrac (Obrázek č. 8), u něhož je nutné využít stejné pracovní záběry nebo jejich násobky. Následná šířka jízdních stop je pak určena strojem s maximálním rozchodem náprav a strojem s minimálním rozchodem náprav. Jedinou nevýhodou tohoto systému jsou široké jízdní stopy, ale i tak je tento systém výhodný a oproti náhodným přejezdům se plocha přejetá pneumatikami značně zmenší. Tento systém představuje nejjednodušší způsob, jak začít využívat CTF bez nijak velkých počátečních nákladů. Podmínkou je vybavení a použití přesné satelitní navigace (Kroulík, 2019).



Obrázek č. 8 – Schéma CTF, systém OutTrac, zdroj: (Kroulík, 2019)

5.3.1 Technologie CTF realizovaná za pomoci traktorových nosičů

Všechny předchozí systémy CTF využívaly ke své realizaci zemědělské stroje, u kterých nebylo ve většině případů nutné nějak výrazně měnit jejich konstrukci. U tohoto systému CTF se však místo běžné zemědělské techniky využívá traktorový nosič se širokým rozchodem kol, jinak také nazývaný agrotechnický most. Tento systém z hlediska zhutnění půdy a intenzity přejezdů po pozemku dosahuje nejlepších výsledků. Při jeho využití se hodnota přejeté plochy pohybuje mezi 5–10 %. Nápad využití agrotechnického mostu pochází už z minulého století, kdy byl několikrát testován, ale z důvodu nízké technické vyspělosti nebyl nikdy realizován. Tento traktor je navržen tak, že jsou jednotlivé páry kol na každé straně od sebe několik metrů a pracovní nástroj, který je možno měnit, je uložen mezi nimi, přičemž kabina stroje je jen na jedné straně tohoto traktoru (Bulgakov, 2017).

Nejnovější řešení agrotechnického mostu představila v roce 2021 německá firma Nexat. Tento zemědělský nosič nářadí Nexat (Obrázek č. 9) je možné využít ke všem zemědělským pracím jen změnou pracovního nářadí, jímž může být kultivátor, secí stroj, stroj na ochranu rostlin, sazeč, stroj pro aplikaci minerálních hnojiv a sklízecí mlátička.



Obrázek č. 9 – Nosič nářadí od firmy NEXAT, zdroj: <https://www.nexat.de/en/media-library/>

Výměna těchto modulů pracovních nářadí trvá jen pouhých 10 minut a je k tomu zapotřebí jen jedné osoby. Do budoucna se počítá s tím, že tento proces výměny nářadí bude plně automatizovaný. Nosič nářadí Nexat je osazen dvěma dieslovými motory o výkonu 550 koní, které slouží jako generátory elektrického proudu pro elektromotory pohánějící páry pásových jednotek na každé straně stroje. Stroj je navržen tak, že dieslové motory bude možné vyměnit a celý stroj pohánět pomocí vodíkových článků. Díky optimálnímu rozložení váhy nářadí připevněného k nosiči dosahuje stroj nižší spotřeby paliva a přesnějšího navádění pomocí satelitních navigací. Přejetí pozemku při využití nosiče nářadí Nexat dosahuje hodnoty jen 5 %, a proto má tato technologie veliký potenciál v budoucím zemědělství, ve kterém je prioritou zdraví půdy a nízké zatížení přírody (Nexat.de, 2022).

6 Vyhodnocení naměřených dat

V praktické části této bakalářské práce byl monitorován pohyb zemědělských strojů na dvou pozemcích po dobu jedné sezóny. V tomto měření byly monitorovány stroje provádějící všechny práce na pozemku mimo sklízecí mlátičku, která nebyla osazena satelitní navigací. Oba pozemky byly obhospodařovány třemi traktory Deutz-Fahr, každý z nich zastával jiné pracovní úkoly. Všechny traktory byly vybaveny satelitními navigacemi a po dobu všech prací byla zaznamenávána jejich trajektorie, jejichž data byla následně zpracována v programech AgLeader SMS Basic a Esri ArcGIS Map. Z takto zpracovaných dat pak byla vyhodnocena hodnota intenzity přejezdů pozemku. Zpracování půdy bylo prováděno minimalizační technologií, což znamená bez použití orby.

6.1 Technické informace o jednotlivých použitých zemědělských strojích

Při tomto monitorování pohybu zemědělských strojů po pozemku byly využity dvě satelitní navigace odlišných značek. První použitou přenosnou satelitní navigací byly vybaveny stroje Deutz-Fahr Agrotron 180.7 (dále jen „DF2“) a Deutz-Fahr M410 (dále jen „DF3“). Druhou vestavěnou satelitní navigací byl osazen traktor Deutz-Fahr Agrotron 250TTV Warrior (dále jen „DF1“). Přenosná satelitní navigace použitá u prvních dvou zmíněných strojů byla značky John Deere a skládala se z přijímače StarFire 6000, displeje Gen4 4240 a sady řízení Autotrac Universal 300. Jako korekční signál byl využit signál SF1 s garantovanou přesností ± 15 cm. Dále byla navigace vybavena modulem pro kompenzaci terénních nerovností (TCM). Vestavěná navigace využitá u traktoru DF1 byla značky Deutz-Fahr Agrosky s přijímačem SRC40. Tato navigace využívala korekční signál EGNOS s přesností 30–40 cm.

Deutz-Fahr Agrotron 250TTV Warrior

Traktor byl vyroben v roce 2015 a výkon motoru je 250 hp. Jeho základní hmotnost je 9100 kg a stroj je dotížen předním závažím o hmotnosti 2000 kg a čtyřmi závažími o hmotnosti 250 kg v zadních kolech traktoru. Stroj má pneumatiky značky Mitas s rozměry předních pneumatik 600/70 R30 a zadních 710/70 R38. Rozchod kol traktoru je 2050 mm. Při polních pracích byl traktor využíván jako tažný prostředek pro diskový kypřič Väderstad

Carrier XL625 o pracovním záběru 6 m a radličkový kypřič Horsch Terrano 5FX o pracovním záběru 5 m.

Deutz-Fahr Agrotron 180.7

Traktor byl vyroben v roce 2008 a výkon motoru je 180 hp. Základní hmotnost traktoru je 6750 kg a stroj je dotížen předním závažím o hmotnosti 1000 kg. Je obut na pneumatikách značky Pirelli o rozměrech předních pneumatik 540/65 R30 a zadních 650/65 R38. Rozchod kol traktoru je 2170 mm a při polních pracích byl využit jako tažný prostředek pro diskový secí stroj Horsch Pronto 4DC o pracovním záběru 4 m a objemu jednokomorového zásobníku osiva o hodnotě 2800 litrů.

Deutz-Fahr M410

Traktor byl vyroben v roce 2010 a výkon motorů je 130 hp. Základní hmotnost traktoru je 5610 kg a stroj je dotížen předním závažím o hmotnosti 1000 kg. Traktor je obut na pneumatikách značky Continental o rozměrech předních pneumatik 480/70 R24 a zadních 520/70 R38. Rozchod kol traktoru je 1800 mm a při polních pracích je využíván spolu s taženým postřikovačem Amazone UX 3200 o pracovním záběru 24 m a objemem nádrže 3200 litrů. Postřikovač je obut na pneumatikách značky Taurus o rozměrech 300/95 R46 a jeho hmotnost s prázdnou nádrží je 3300 kg. Další využití traktoru je spolu s neseným rozmetadlem Amazone ZA-M 2501 o objemu 2500 litrů a čisté hmotnosti 410 kg.

6.2 Hodnocení intenzity přejezdů na pozemku 1

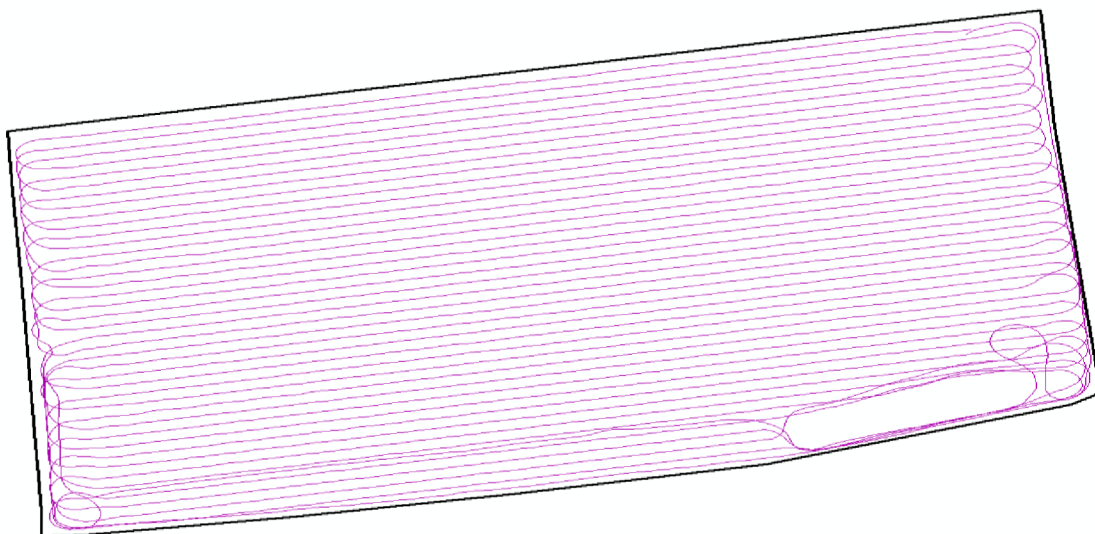
Vybraný pozemek 1 (Obrázek č. 10), na kterém se uskutečnilo měření, leží ve Středočeském kraji v okrese Kladno. Půda je zde středně těžká černozem a pozemek se nachází na rovině se sklonem do tří stupňů. Rozloha pozemku je 100 700 m².



Obrázek č. 10 – Hranice pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

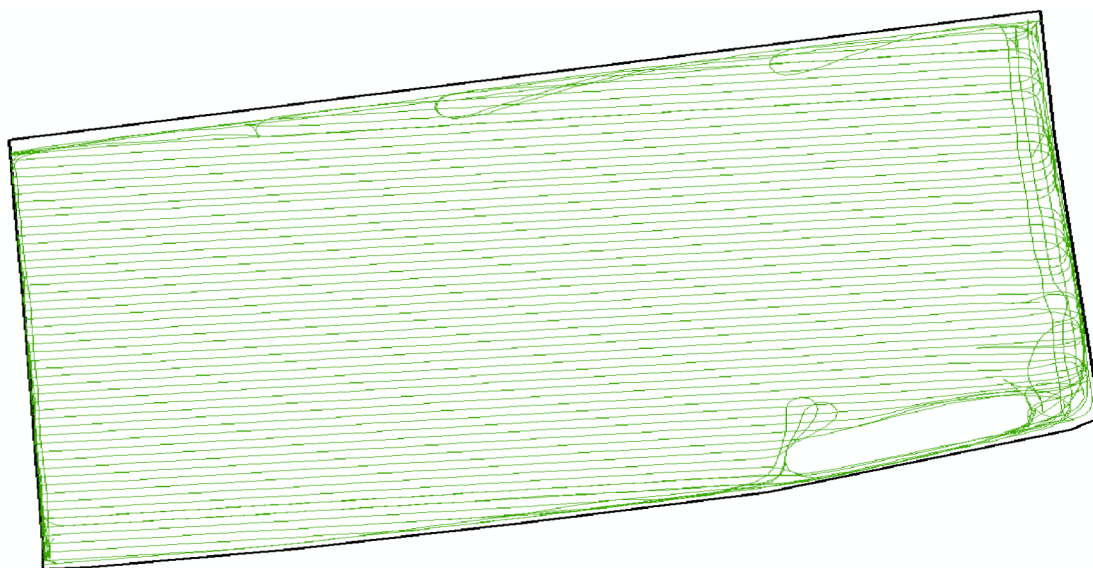
Pozemek byl vybrán z důvodu plánovaného setí jarní plodiny, a tak zde bylo možné získat potřebná data ze všech prováděných zemědělských prací. Pro sezónu 2021 byl pro tento pozemek jako hlavní plodina zvolen sladovnický ječmen jarní odrůdy Bojos. Předplodinou byla na tomto pozemku pšenice ozimá, která se dá považovat za jednu z nejlepších předplodin pro následné pěstování sladovnického jarního ječmene. Při sklizni předplodiny sklízecí mlátičkou byl použit drtič slámy.

První práce provedená na tomto pozemku počítající se do sezóny 2021 byla podmítka strniště, která proběhla 15. 8. 2020 a byla vykonávána traktorem DF1 a diskovým podmítačem Väderstad Carrier XL625 do hloubky 5–7 centimetrů. Ze zaznamenaných trajektorií na (Obrázek č. 11) je vidět, že jízdy byly voleny ob jednu a díky tomu se snížilo množství ujeté plochy při otáčení na souvrati. Tento způsob otáčení přispívá i k urychlení vykonávané práce. Traktor při této práci na pozemku 1 celkově ujel 18264 metrů.



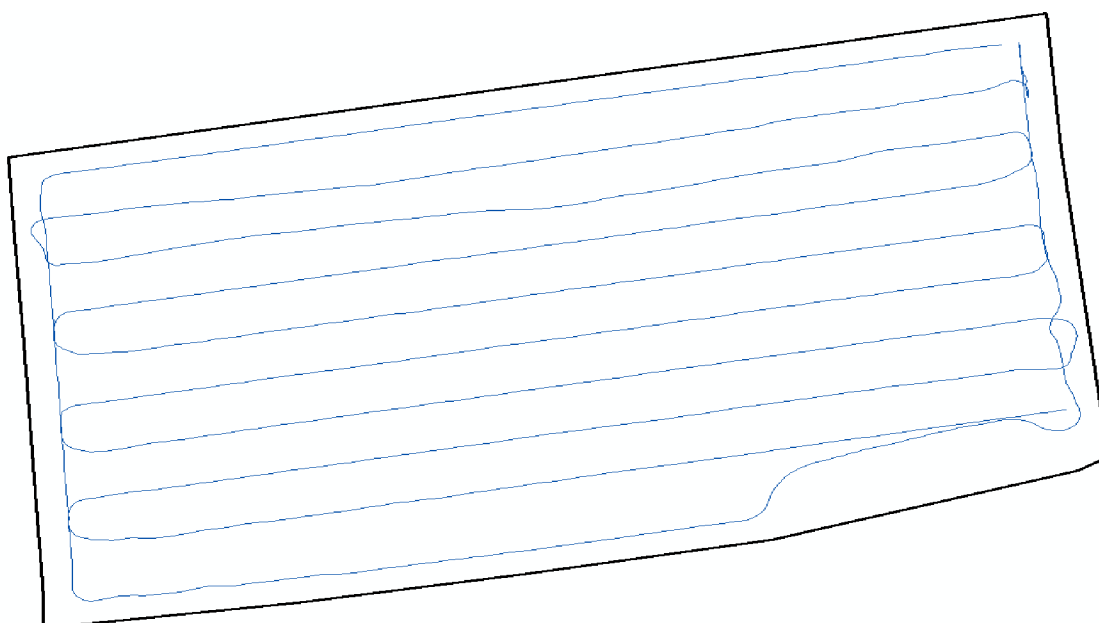
Obrázek č. 11 – Trajektorie pohybu traktoru a diskového podmiťáče při práci na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

Dne 18. 10. 2020 bylo na pozemku 1 provedeno kypření půdy traktorem DF1 a radličkovým kypřičem Horsch Terrano 5FX. Hloubka této provedené práce byla 20 centimetrů. Při kypření došlo k zapravení posklizňových zbytků a také zpracování výdrolu pšenice ozimé. Tato práce na pozemku 1 byla také poslední v roce 2020. Z trajektorií pohybu traktoru při kypření na (Obrázek č. 12) je jasné, že traktor nevyužíval jízd ob jedno a na jedné souvrati se otáčel spíše náhodně, což má za následek větší koncentraci přejetí na této části pole. Dále je také vidět, že na druhé souvrati k otáčení nedocházelo vůbec a traktor se otáčel na vedlejším pozemku. Traktor při kypření ujel po pozemku 28028 metrů.



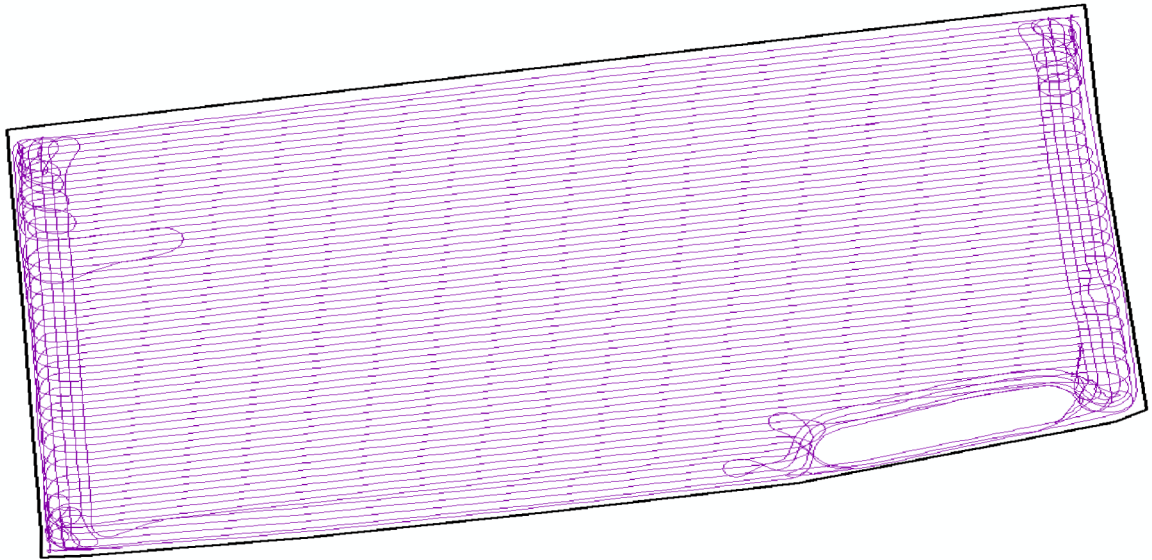
Obrázek č. 12 – Trajektorie pohybu traktoru a radličkového kypřiče na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

První jarní práci provedenou na pozemku 1 dne 21. 3. 2021 bylo hnojení minerálními hnojivy. Tuto práci prováděl traktor DF3 s neseným rozmetadlem Amazone ZA-M 2501. Toto hnojení sloužilo k dodání živin půdě po zimě a mělo ji připravit na následné setí. Trajektorie pohybu traktoru zaznamenané při této práci jsou zobrazené na (Obrázek č. 13). Linie, po kterých se traktor pohyboval, byly vytvořené v počítačové aplikaci MyJohnDeer a mimo využití při aplikaci hnojiva byly využívány při následných dalších polních pracích. Traktor při aplikaci hnojiva ujel po pozemku 1 vzdálenost 4486 metrů.



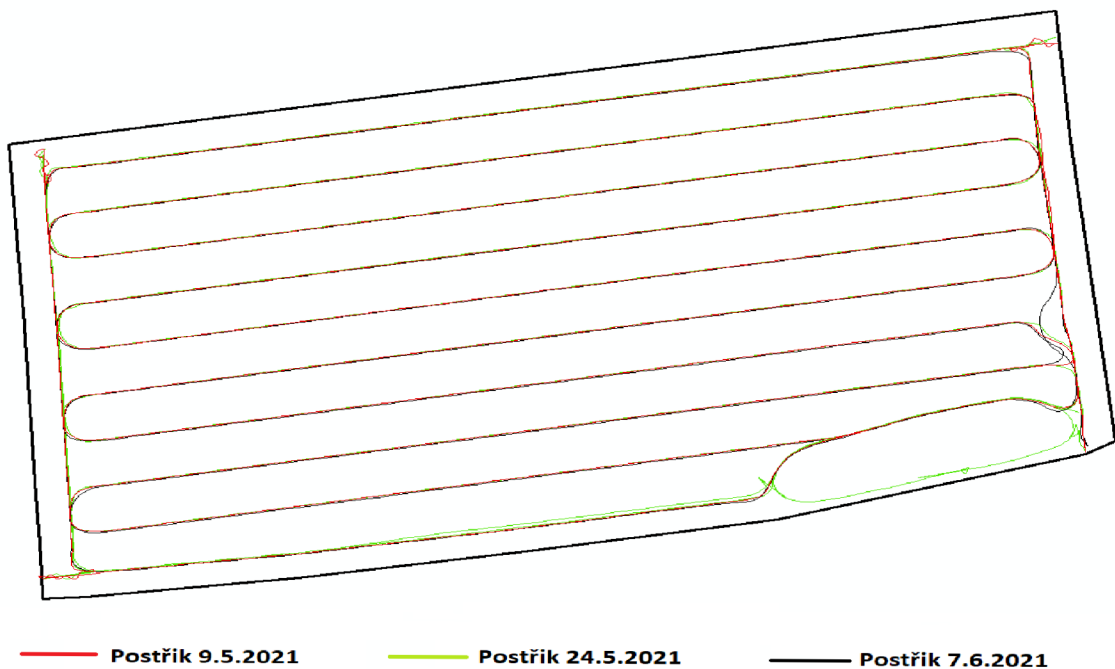
Obrázek č. 13 - Trajektorie pohybu traktoru při aplikaci minerálního hnojiva na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

Následnou polní práci provedenou na pozemku bylo setí jarního ječmene, které se uskutečnilo 26. 3. 2021. Práci prováděl traktor DF2 se secím strojem Horsch Pronto 4DC. Z důvodu udržení půdní vláhly bylo setí prováděno bez předešlého urovnání půdy, které nebylo ani potřeba díky kvalitnímu podzimnímu kypření. Secí stroj je osazen dvěma řady disků, které případné zbylé nerovnosti urovnaly a připravily půdu pro setí. Trajektorie pohybu traktoru při setí jsou zobrazeny na (Obrázek č. 14). Při této práci satelitní navigace využívala stejných linií jako při hnojení jen s pozměněnými hodnotami dle záběru secího stroje. Při této práci bylo také využíváno jízd ob jednu a tím se docílilo lepšího navazování sousedních jízd a snížení počtu konečných jízd při setí souvratě. Traktor při setí ujel po pozemku 1 vzdálenost 29718 metrů.



Obrázek č. 14 – Trajektorie pohybu traktoru a secího stroje na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

Další zaznamenané práce na pozemku 1 po zasetí byly chemické aplikace pomocí postřikovače, jež probíhaly 9. 5., 24. 5., 7. 6. 2021 a byly prováděny traktorem DF3 a taženým postřikovačem Amazone UX 3200. Po pozemku se pohybovaly v kolejevých řádcích a jejich trajektorie jsou zobrazeny dohromady na (Obrázek č. 15). Traktor při všech třech aplikacích dohromady ujel po pozemku 1 vzdálenost 15200 metrů.

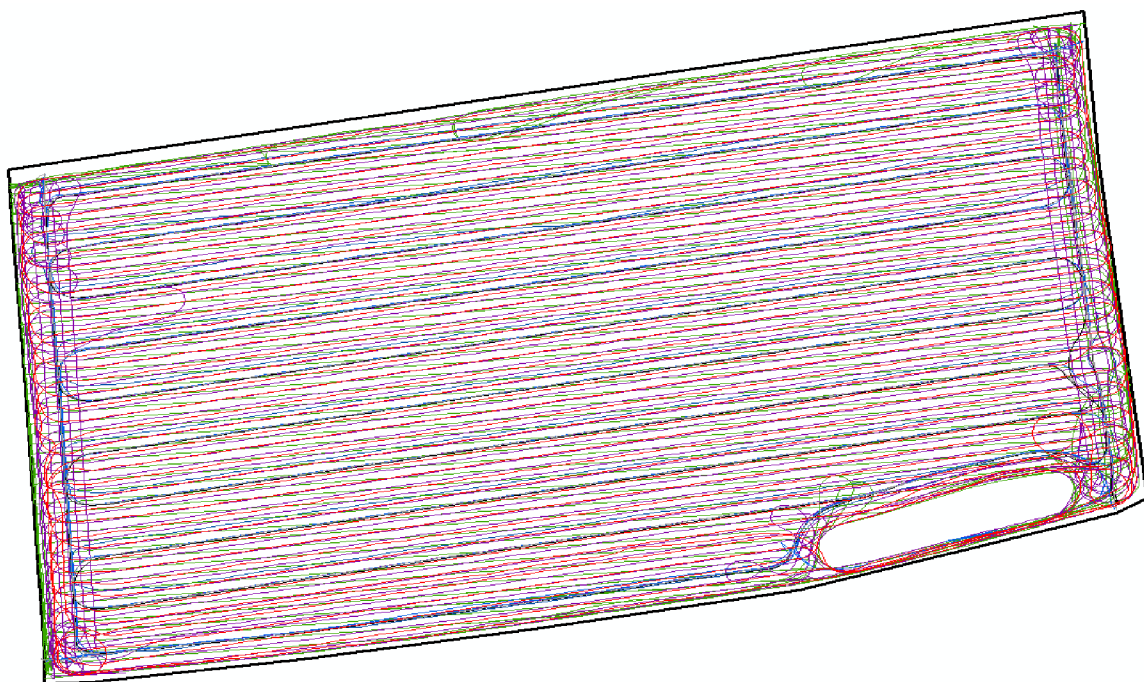


Obrázek č. 15 – Trajektorie všech jízd traktoru a postřikovače na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

Poslední práce prováděná na pozemku 1 byla sklizeň 5. 8. 2021 a její trajektorie nejsou zaznamenány z důvodu neosazení sklízecí mlátičky satelitní navigací. Sklízecí mlátička se po pozemku pohybovala ve směru kolejových řádků a tím pádem alespoň zčásti kopírovala linie, které byly vytvořené při setí. Vyprázdnění sklízecí mlátičky probíhalo vždy na souvrati pozemku, aby nebyl zatížen přejezdy odvozovými soupravami.

6.2.1 Výsledky hodnocení intenzity přejezdů na pozemku 1

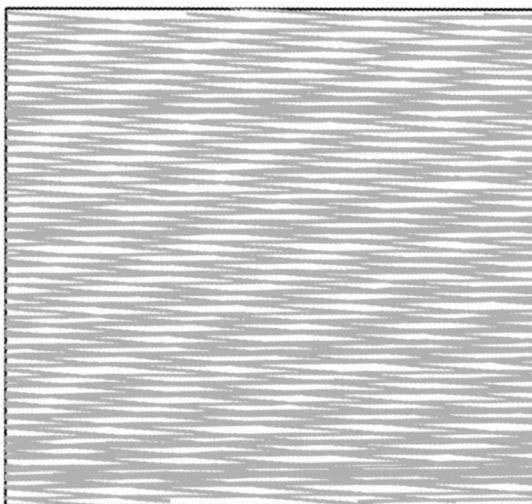
Při pohledu na trajektorie jednotlivých prací by se mohlo zdát, že přejetí pozemku nemůže dosahovat velkých hodnot, ale po spojení všech trajektorií do jedné mapy (Obrázek č. 16) je okamžitě zřejmé, že pohyb strojů po pozemku po dobu jedné sezóny je velice intenzivní a celkově všechny stroje, u kterých byla zaznamenávána data, po pozemku ujely vzdálenost 95696 metrů.



Obrázek č. 16 – Trajektorie všech zaznamenaných prací provedených na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

Pro zjištění procentuální hodnoty zatížení půdy je nutné vytvořit stopy jednotlivých přejezdů traktoru po pozemku 1. K získání těchto stop byly využity zaznamenané trajektorie a rozměry všech traktorů. Pomocí programu Esri ArcGIS Map pak byly vytvořeny stopy traktoru na souvrati a uprostřed pole a díky nim je možno vidět, kde všude se stroje pohybovaly, ještě přesněji.

Pro přesnější zobrazení byl vytvořen výřez ze středu pozemku 1 o rozloze 10308 m², na kterém jsou vyobrazeny otisky pneumatiky všech polních prací po dobu jedné sezóny. Z (Obrázek č. 17) je poměrně snadno vidět intenzivní přejetí pozemku v různých směrech.



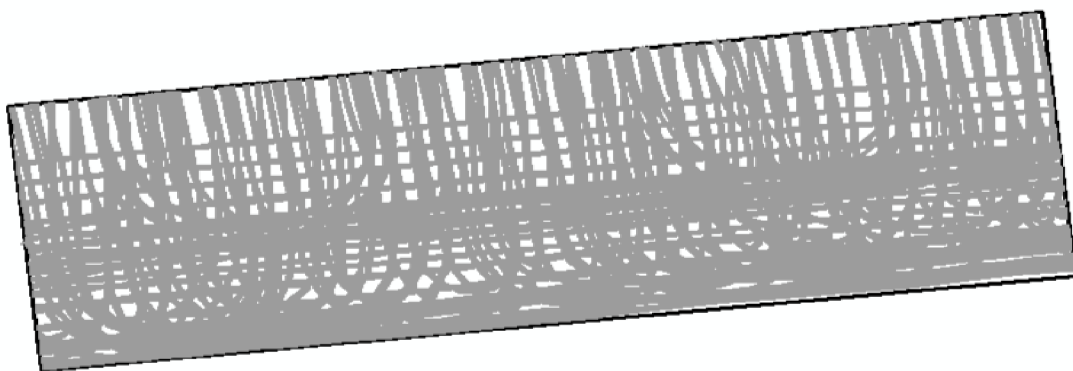
Obrázek č. 17 – Plocha středu pozemku 1 přejetá pneumatikami po dobu jedné sezóny, zdroj: vlastní zpracování

Dle hodnot Tabulka č. 1) je možné zjistit, že výřez ze středu pozemku 1 byl během sezóny přejet ze 61,95 % alespoň jednou. Tato plocha, již jednou přejetá, byla pak následně ze 64,24 % přejeta opakovaně dalšími pracovními vstupy.

Intenzita přejetí výřezu středu pole		
Plocha výřezu - střed pole [m ²]	10308,70	100,00%
Polní práce	Přejetá plocha - výřiznuté plochy [m ²]	Přejetá plocha %
Podmítka	3081,71	29,89%
Kompaktor	2401,87	23,30%
Hnojení	435,38	4,22%
Setí	3264,60	31,67%
Postřik 1	435,26	4,22%
Postřik 2	435,24	4,22%
Postřik 3	435,28	4,22%
Celkem	10489,34	101,75%
Celková přejetá plocha všech jízď	6386,61	61,95%
Plocha přejetá dvakrát a více	4102,73	64,24%

Tabulka č. 1 – Hodnoty intenzity přejetí středu pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

Pro lepší zobrazení intenzity přejetí pozemku 1 byl také udělán výřez souvrati (Obrázek č. 18) tohoto pozemku, jehož rozloha je 2719,5 m². Souvrat' pozemku je vždy přejezdy nejvíce zatěžované místo a z toho důvodu je velice důležité dbát na to, aby byl nejlépe zvolen způsob otáčení s co nejmenším počtem otoček a couváním.



Obrázek č. 18 – Výřez souvratě pozemku s vyznačenými pneumatikami všech přejezdů po dobu jedné sezony, zdroj: vlastní zpracování

Z hodnot (Tabulka č. 2) a (Obrázek č. 18) výše je zcela jasné že intenzita přejetí souvratě je značně vyšší než ve středu pozemku 1. Plocha souvratě byla přejetá z 84,39 % alespoň jednou a z této již jednou přejeté plochy bylo 132,15 % plochy přejeté vícekrát. Proto je zcela jasné, že na souvratích pozemku dochází hlavně k opakovaným přejezdům již přejeté plochy, které půdě škodí nejvíce a mají velký vliv na následnou vodní erozi.

Intenzita přejetí výřezu souvratě		
Plocha výřezu - souvrat' [m ²]	2719,54	100,00%
Polní práce	Přejetá plocha - vyřiznuté plochy [m ²]	Přejetá plocha %
Podmítka	1323,04	48,65%
Kompaktor	996,60	36,65%
Hnojení	242,94	8,93%
Setí	1371,72	50,44%
Postřik 1	378,78	13,93%
Postřik 2	523,97	19,27%
Postřik 3	491,01	18,05%
Celkem	5328,07	195,92%
Celková přejetá plocha všech jízď	2295,08	84,39%
Plocha přejetá dvakrát a více	3032,99	132,15%

Tabulka č. 2 – Hodnoty intenzity přejetí souvrati pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování

6.3 Hodnocení intenzity přejezdů na pozemku 2

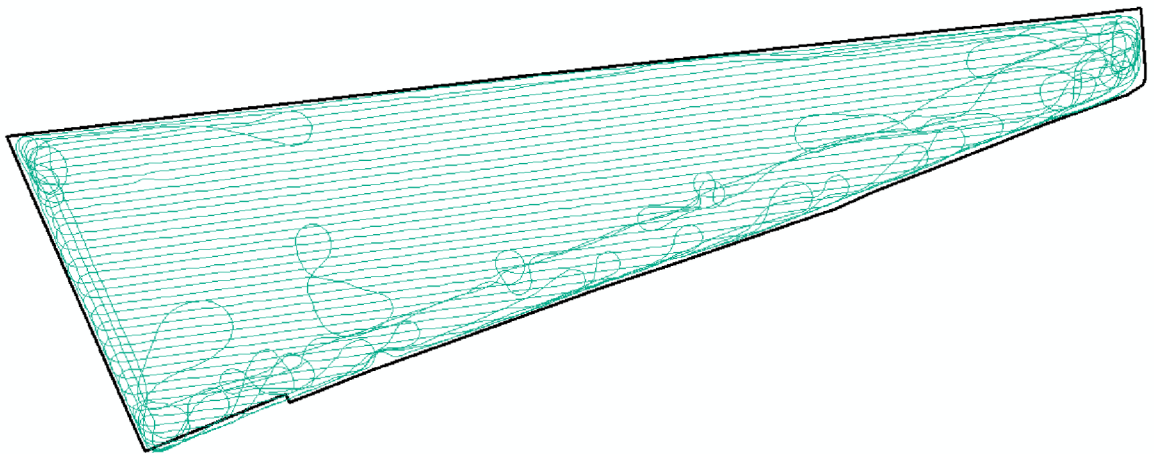
Pozemek 2 (Obrázek č. 19) byl vybrán z důvodu rozmanitějšího tvaru a trasy vysokého napětí vedoucího přes pozemek. Pozemek 2 leží ve Středočeském kraji v okrese Kladno. Půda nacházející se na pozemku je středně těžká černozem a krajina je z velké části rovinatá. Rozloha tohoto vybraného pozemku je 117 000 m².



Obrázek č. 19 – Vybraný pozemek 2, zdroj: vlastní zpracování

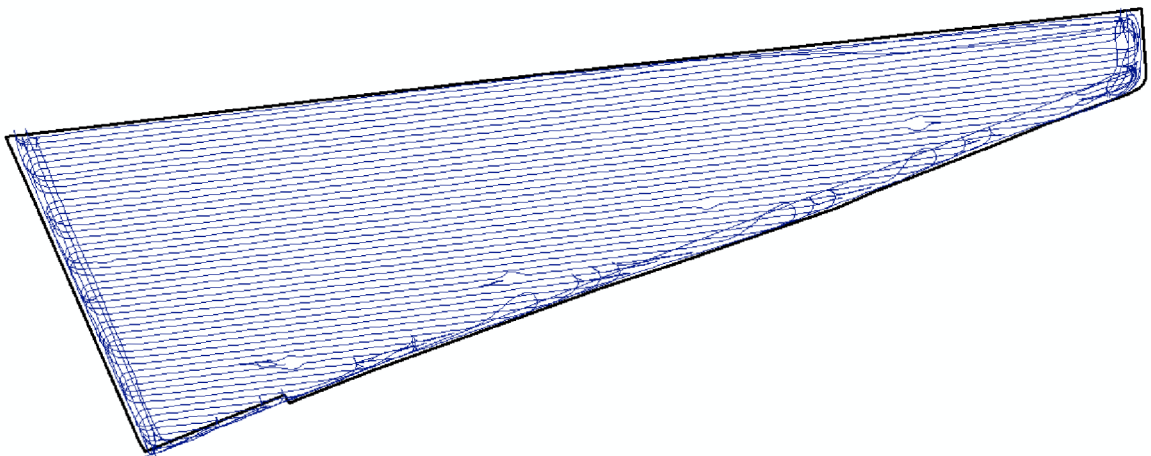
Hlavní plodinou pro sezónu 2021 byl hrách polní a předplodina na tomto pozemku byla pšenice ozimá. Důvodem pro zvolení pěstování hrachu polního byla snaha o změnu rozmanitosti osevního postupu a také velký vliv na výběr hrachu měla jeho schopnost udržet dusík v půdě a tím zlepšit její kvalitu. Sláma předplodiny byla rozdrčena a nechána na poli.

První polní práci sezóny 2021 byla podmítka, která se uskutečnila 16. 8. 2020. Hloubka podmítky zvolena byla 5–8 centimetrů pro dobré promíchání rostlinných zbytků a rychlému vyklíčení výdrolu. Práci prováděl traktor DF1 spolu s diskovým kypřičem Väderstad Carrier XL625. Na (Obrázek č. 20) je možné vidět trajektorie traktoru při práci s diskovým podmítačem. Díky trajektorii je jasné vidět, jak se traktor musel vyhýbat překážkám v podobě sloupů vysokého napětí, dále je také z obrázku vidět způsob otáčení traktoru ob jedno. Traktor po pozemku 2 ujel vzdálenost 29688 metrů.



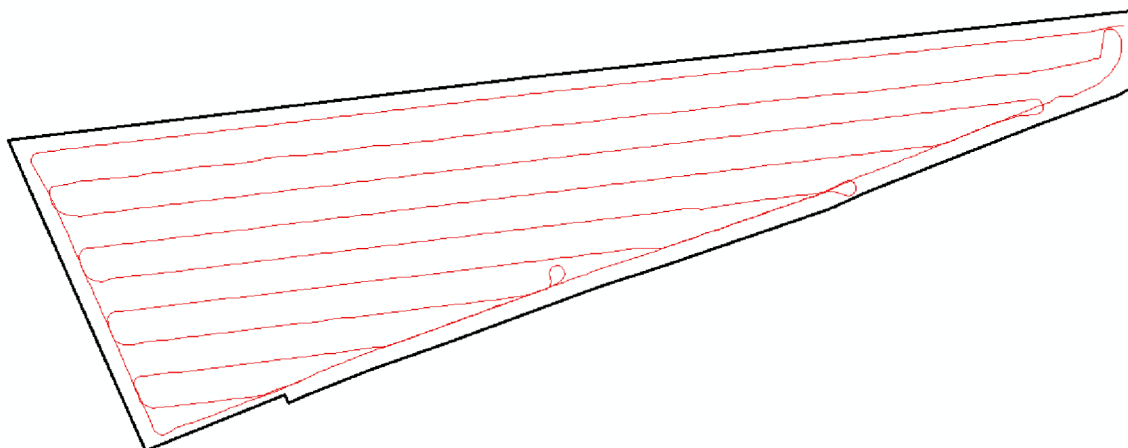
Obrázek č. 20 – Trajektorie pohybu traktoru a diskového podmiťáče po pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování

Druhou prací prováděnou na pozemku 2 bylo kypření, které prováděl traktor DF1 a radličkový kypřič Horsch Terrano 5FX. Práce se uskutečnila 25. 10. 2020. Byla prokypřena půda do hloubky 22 centimetrů a promíchány byly posklizňové zbytky a rostliny výdrolu pšenice ozimé. Z trajektorií na (Obrázek č. 21) je vidět menší počet přejezdů okolo sloupů elektrického vedení než u trajektorií podmiťky, zobrazených v předchozím obrázku. Otáčení traktoru na souvrati prováděl řidič spíše náhodně. Traktor při práci ujel po pozemku 2 vzdálenost 30428 metrů.



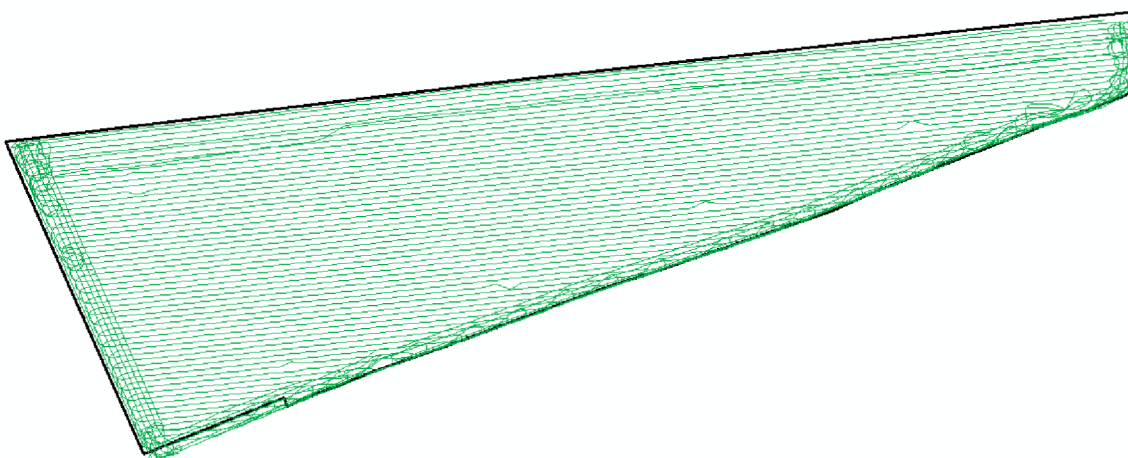
Obrázek č. 21 – Trajektorie pohybu traktoru a radličkového kypřiče při práci na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování

Dne 22. 3. 2021 bylo na pozemku 2 provedeno předset'ové hnojení půdy minerálními hnojivy. Práci vykonával traktor DF3 spolu s neseným rozmetadlem Amazone ZA-M 2501. Trajektorie zaznamenané při vykonávání této práce je možné vidět na (Obrázek č. 22). Traktor ujel při práci vzdálenost 5976 metrů.



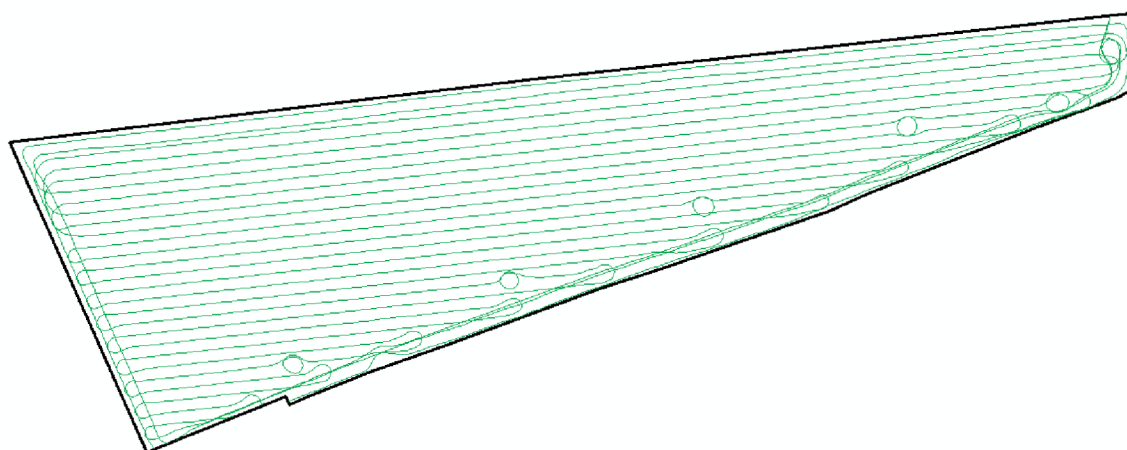
Obrázek č. 22 – Trajektorie traktoru při aplikaci minerálních hnojiv na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování

Následně bylo na pozemku dne 27. 3. 2021 provedeno setí jarního hrachu polního odrůdy Gambit. Práci prováděl traktor DF2 spolu se secí kombinací Horsch Pronto 4DC. Secí kombinace vybavená dvěma řadami disků půdu přímo při setí urovnala a připravila. Trajektorie pohybu traktoru při setí po pozemku lze vidět na (Obrázek č. 23). Setí a otáčení na souvrati probíhalo ob jednu jízdu, díky tomu se ušetřil čas. Traktor při práci ujel vzdálenost 39619 metrů.



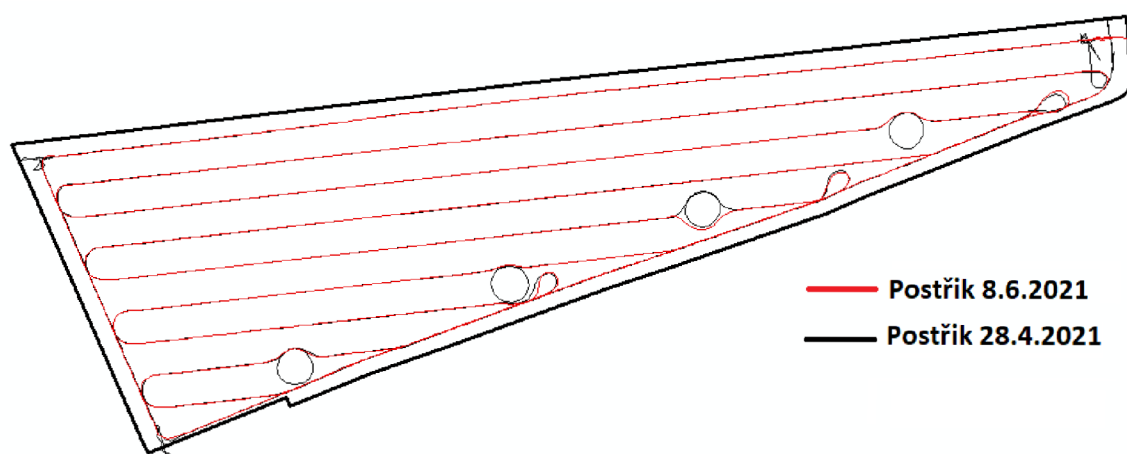
Obrázek č. 23 – Trajektorie traktoru a secí kombinace při práci na pozemku, zdroj: vlastní zpracování

Z důvodu zlepšení klíčení a ochrany před škůdci bylo dne 30. 3. 2021 provedeno válení. Práci prováděl traktor DF3 spolu s Cambridge válci o záběru 8 metrů. Trajektorie zaznamenané při práci traktoru je možné vidět na (Obrázek č. 24) a je z nich zřejmé, že největší koncentrace přejetí se soustředila na pravé souvrátí pozemku.



Obrázek č. 24 – Trajektorie práce traktoru při válení pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování

Poslední dvě zaznamenané práce provedené na pozemku 2 byly aplikace přípravků na ochranu rostlin, které proběhly 28. 4. 2021 a 8. 6. 2021. Práci prováděl traktor DF3 spolu s taženým postřikovačem Amazone UX 3200. Trajektorie obou aplikací jsou zobrazeny viz (Obrázek č. 25) a je možné z nich poznat, že při první aplikaci traktor objížděl sloupy vysokého napětí, kdežto při aplikaci druhé z důvodu vzrostlých rostlin už sloupy takto neobjížděl. Z toho důvodu při první aplikaci ujel traktor vzdálenost 7167 metrů a při druhé jen 6346 metrů.

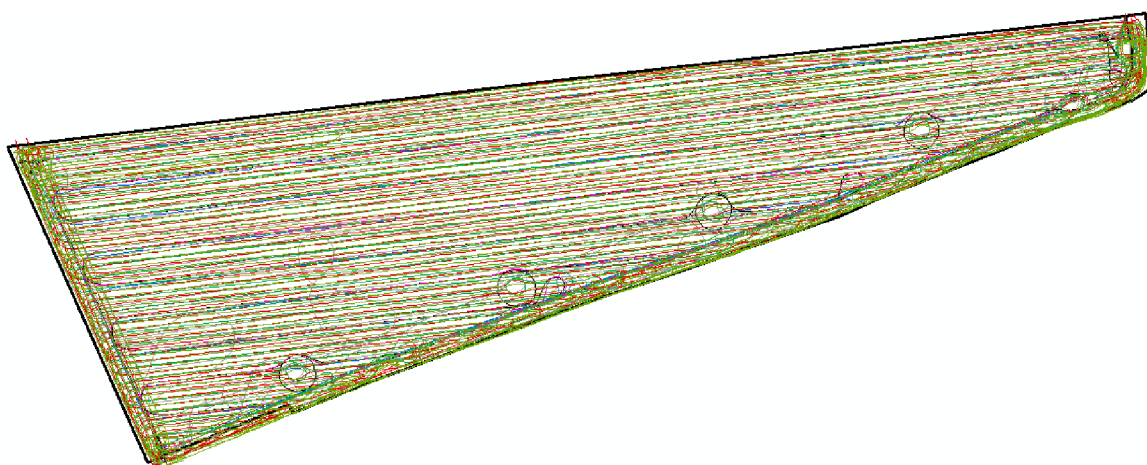


Obrázek č. 25 – Trajektorie práce traktoru při aplikaci 28. 4. 2021 a 8. 6. 2021 na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování

Sklizeň na pozemku 2 proběhla dne 28. 7. 2021. Ze stejného důvodu jako u pozemku 1 zde trajektorie sklízecí mlátičky nejsou zaznamenány. Při sklizni se sklízecí mlátička pohybovala na pozemku sama a kopírovala linie kolejových řádků. Vyprázdňení sklízecí mlátičky probíhalo také na souvratí pozemku.

6.3.1 Výsledky hodnocení intenzity přejezdu na pozemku 2

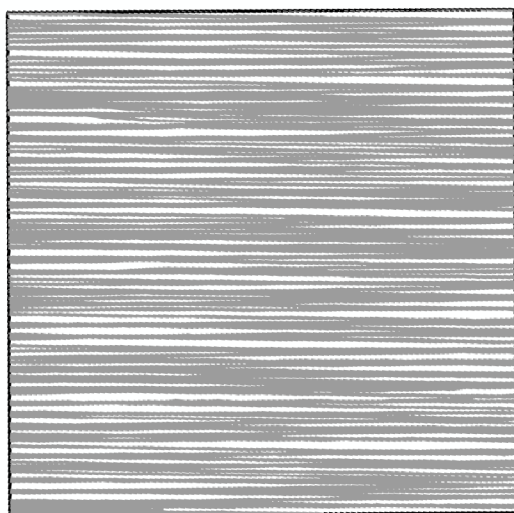
Po vložení trajektorií všech provedených prací na pozemku 2 do jedné mapy (Obrázek č. 26) je zcela zřetelná vysoká koncentrace přejetí na souvratích, ale také podél jižní strany pozemku. Z trajektorií je také jasně vidět přesné místo, kde se nachází každý sloup elektrického vedení. Z důvodu podélného tvaru pole jsou linie všech trajektorií dosti podobné.



Obrázek č. 26 – Trajektorie všech provedených prací na pozemku 2 v sezóně 2021, zdroj: vlastní zpracování

Ze všech zaznamenaných trajektorií byl vytvořen model přejeté plochy uvnitř pole, na souvratí a také okolo sloupů. Model byl vytvořen pomocí programu Esri ArcGIS Map, a to tak, že na třech zmíněných částech pole byl z trajektorie vytvořen obraz pneumatik, které zanechaly na pozemku pohybující se stroje. Plocha tohoto obrazu pneumatik nám přesně ukázala, jak velké množství plochy bylo v dané části pozemku přejetu.

Prvním místem, kde se měřila intenzita přejetí, byl střed pozemku, ze kterého byl udělán výřez (Obrázek č. 27) o ploše 8332 m². Z obrázku je zřetelně vidět, že stroje pohybující se po pozemku využívaly navigační linie s velmi podobným směrem a díky tomu se jejich trajektorie kříží jen minimálně.



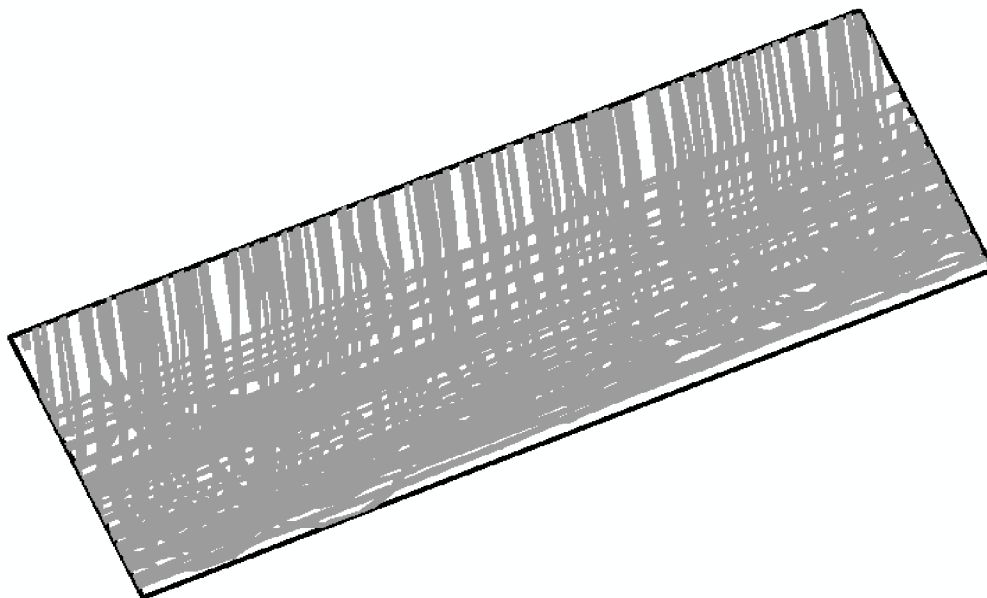
Obrázek č. 27 – Výřez ze středu pozemku 2 ukazující intenzitu přejetí, zdroj: vlastní zpracování

Z (Tabulka č. 3) obsahující hodnoty přejetí středu pozemku 2 lze jasně vyčíst, že po dobu sezóny 2021 byl střed pozemku 2 přejet ze 70,29 % alespoň jednou a z toho 58,03 % bylo přejeto alespoň dvakrát.

Střed pole		
Plocha výřezu - střed pole [m ²]	8332,23	100,00%
Polní práce	Přejetá plocha - vyříznuté plochy [m ²]	Přejetá plocha %
Podmítka	2477,53	29,73%
Kompaktor	1950,21	23,41%
Hnojení	354,40	4,25%
Setí	2752,73	33,04%
Postřik 1	362,23	4,35%
Postřik 2	362,14	4,35%
Válce	995,64	11,95%
Celkem	9254,88	111,07%
Celková přejetá plocha všech jízď	5856,49	70,29%
Plocha přejetá dvakrát a více	3398,38	58,03%

Tabulka č. 3 – Hodnoty intenzity přejetí středu pozemku, zdroj: vlastní zpracování

Druhým vybraným místem, kde se určovala intenzita přejetí, byla souvrať pozemku 2. Zde byl udělán výřez (Obrázek č. 28) o ploše 2759 m².



Obrázek č. 28 – Výřez souvrať pozemku 2 s vyznačenými pneumatikami všech přejezdů v sezóně 2021, zdroj: vlastní zpracování

Díky hodnotám, které je možné vidět v Tabulka č. 4), je jasné vidět, že intenzita přejetí souvrať pozemku 2 dosahuje hodnoty 85,36 % a z této přejeté plochy bylo 128,97 % přejetu jednou a více.

Souvrať		
Plocha výřezu - souvrať [m ²]	2759,74	100,00%
Polní práce	Přejetá plocha - vyříznuté plochy [m ²]	Přejetá plocha %
Podmítka	1459,27	52,88%
Kompaktor	1199,65	43,47%
Hnojení	212,93	7,72%
Setí	1630,21	59,07%
Postřik 1	195,74	7,09%
Postřik 2	197,53	7,16%
Válce	499,17	18,09%
Celkem	5394,49	195,47%
Celková přejetá plocha všech jízď	2355,83	85,36%
Plocha přejetá dvakrát a více	3038,66	128,98%

Tabulka č. 4 – Hodnoty intenzity přejetí souvrať pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování

Posledním místem na pozemku 2, kde byla zjišťována intenzita přejeté plochy, bylo okolí sloupů vysokého napětí. Zde byl proveden výřez (Obrázek č. 29) ukazující, že okolo těchto sloupů narůstá četnost přejezdů podobně jako na souvrati pozemku. Plocha tohoto výřezu je 1056 m².



Obrázek č. 29 – Výřez pozemku 2 okolo sloupů vysokého napětí, zdroj: vlastní zpracování

Z hodnot (Tabulka č. 5) je možné vidět, že plocha okolo sloupu byla přejeta z 87,86 %, což je hodnota větší než u souvratě tohoto pozemku, ale ze 66,25 % byla přejeta více než nejdou, což je hodnota výrazně menší než u souvratě pozemku 2.

Sloup		
Plocha výřezu - souvratě [m ²]	1056,06	100,00%
Polní práce	Přejetá plocha - vyříznuté plochy [m ²]	Přejetá plocha %
Podmítka	310,23	29,38%
Kompaktor	494,01	46,78%
Hnojení	38,26	3,62%
Setí	338,50	32,05%
Postřik 1	132,90	12,58%
Postřik 2	43,04	4,08%
Válce	185,63	17,58%
Celkem	1542,58	146,07%
Celková přejetá plocha všech jízď	927,85	87,86%
Plocha přejetá dvakrát a více	614,73	66,25%

Tabulka č. 5 – Hodnoty intenzity přejetí výřezu plochy okolo sloupů vysokého napětí na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování

6.4 Měření reálné přesnosti použitých satelitních navigací

Přesnost satelitní navigace má zásadní vliv na kvalitu právě prováděné práce a také na možnosti používat trajektorie opakovaně. Aby tento systém mohl pracovat s přesností na několik desítek centimetrů, je nutný příjem korekčního signálu, který nám tuto přesnost zaručí. Předmětem měření byly dvě satelitní navigace od různých výrobců použité na strojích při měření intenzity přejezdů na pozemcích. Měření přesnosti obou navigací probíhalo na jednom pozemku pro zaručení stejné kvality signálu. Oba stroje prováděly totožnou polní operaci, a to přípravu půdy radličkovým kypřičem o pracovním záběru 2,9 metru. Jednotlivé jízdy řízené satelitní navigací vedle sebe navazovaly, a tak bylo možné zjistit přesnost jednotlivých korekčních signálů. První měření probíhalo okamžitě po vytvoření pracovních linií a druhé s časovým odstupem patnáct minut po vytvoření linií z důvodu simulace posunu pracovních linií při nečinnosti stroje. Prvním předmětem měření byla satelitní navigace Deutz-Fahr Agrosky využívající korekční signál Egnos a hodnoty přesnosti jsou zobrazeny v (Tabulka č. 6). Průměrná odchylka této navigace při okamžité práci po vytvoření linie dosahovala 17,9 cm a po uplynutí patnácti minut mezi vytvořením linií a prací stroje se téměř zdvojnásobila na hodnotu 32,9 cm.

Deutz-fahr 250TTV - navigace DF Agrosky - signál EGNOS pracovní nástroj Terrano 3FX - pracovní záběr 290cm - rozestupy linií nastaveny na 280cm								
Přesnost navigace po okamžitém vytvoření line	line:	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
	vzdálenost [cm]:	286,5	324,5	268,0	293,5	258,5	296,5	269,5
	odchylka:	6,5	44,5	12,0	13,5	21,5	16,5	10,5
	Průměrná odchylka:	17,9 cm						
Přesnost navigace po pauze 15 min od vytvoření linií	line:	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
	vzdálenost [cm]:	240,5	311,0	265,0	312,0	196,0	284,0	255,5
	odchylka:	39,5	31	15	32	84	4	24,5
	Průměrná odchylka:	32,9 cm						

Tabulka č. 6 – Výsledky měření přesnosti satelitní navigace Agrosky a korekčního signálu EGNOS, zdroj: vlastní zpracování

Druhým předmětem měření, které bylo prováděno stejným postupem jako u první satelitní navigace, byla navigace od značky John Deere Starfire 6000 pracující na korekčním signálu SF1. Z hodnoty tohoto měření, které jsou uvedeny v (Tabulka č. 7), je možné vidět, že průměrná odchylka navigace při práci okamžitě po vytvoření linie dosahovala 3,9 cm. I u tohoto korekčního signálu došlo téměř ke zdvojnásobení této odchylky po patnáctiminutové pauze mezi vytvoření linie a začátkem práce, a to na hodnotu 6,6 cm.

Deutz-fahr Agrottron 180 - navigace John Deere Starfire 6000 - signál SF1 pracovní nástroj Terrano 3FX - pracovní záběr 290cm - rozestupy linií nastaveny na 280cm								
Přesnost navigace po okamžitém vytvoření linie	line:	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
	vzdálenost [cm]:	283,0	280,0	293,0	280,0	280,0	284,0	287,0
	odchylka:	3,0	0,0	13,0	0,0	0,0	4,0	7,0
	Průměrná odchylka:	3,9 cm						
Přesnost navigace po pauze 15 min od vytvoření linií	line:	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
	vzdálenost [cm]:	274,0	283,0	276,0	285,0	284,0	272,0	264,0
	odchylka:	6,0	3,0	4,0	5,0	4,0	8,0	16,0
	Průměrná odchylka:	6,6 cm						

Tabulka č. 7 – Výsledky měření přesnosti navigace Starfire 6000 a korekčního signálu SF1, zdroj: vlastní zpracování

7 Navržené opatření a jejich výsledky

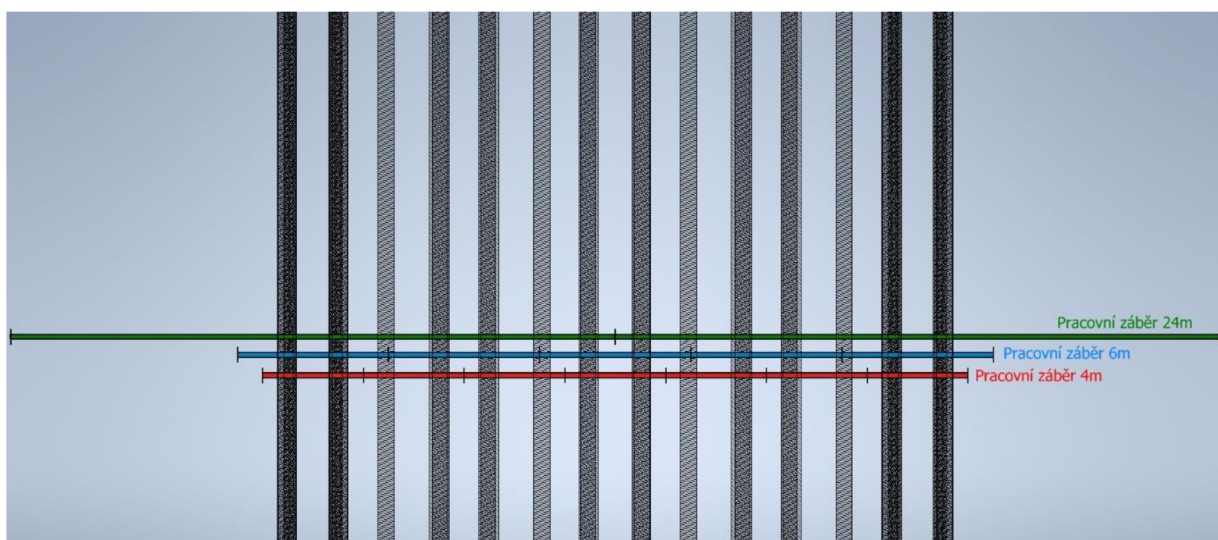
Z hodnot intenzity přejetí u obou pozemků lze jasně určit, že přejetá plocha pozemku je značně vysoká, a to hlavně na místech, kde dochází k vysoké koncentraci otáčení zemědělských strojů, jako jsou souvratě a plocha v blízkosti různých překážek. Proto se v této části práce budeme snažit navrhnout řešení, která by tyto problémy vyřešila.

Jako první způsob, který by byl odpovědí na vysoké procento přejeté plochy souvratě, na níž dochází velmi často k opakovanému přejetí vedoucímu k vysoce utužené půdě, navrhuji provádět každou sezónu hloubkové kypření půdy strojem např. jako Bednar Terreland nebo Farmet Digger. Použitím těchto strojů určených k hloubkovému kypření dosáhneme promáčení a roztrhání utužené půdy až do hloubky 60 centimetrů.

Další způsob navržený pro pozemek 1 a 2 je použití optimalizovaných trajektorií, díky kterým se sníží počet metrů ujetých po pozemku a také náklady s tím spjaté. Výpočet těchto optimálních trajektorií jak pro pozemek 1, tak pro pozemek 2 byl proveden v programu AgLeader SMS Basic, který tuto funkci umožňuje. Prvním krokem bylo vytvoření linií kopírujících trajektorie jednotlivých prací vykonaných na pozemku. Druhým krokem bylo vytvořit pro každý pracovní záběr použitých strojů optimální linie na daném pozemku. Pomocí procentuálního rozdílu vzdáleností těchto dvou typů linií byla přepočítána ujetá vzdálenost každé práce při použití optimálně navržených linií. Z důvodu malé členitosti pozemku a také liniím, které byly dosti podobné těm optimálním, nejsou výsledky nijak ohromující, ale přece jen bylo tímto návrhem dosaženo úspory. Na pozemku 1 by se díky využívání optimálních linií dalo ušetřit 2,5 % nákladů na provoz za jednu sezónu a na pozemku 2 by bylo možné ušetřit 0,5 % nákladů. Obě tyto hodnoty nejsou nijak vysoké, ale při dnešních cenách pohonných hmot a nákladech na mzdy nelze ani jednu z nich zanedbat.

Jako předposlední návrh, který by byl nejlepším řešením vedoucím ke snížení intenzity přejeté plochy, je zavedení systému CTF. K tomu by bylo nutné provést několik změn, z nichž nejdůležitější by byla změna pětimetrového radličkového kypřiče na šestimetrový, nebo čtyřmetrový dle možnosti výkonu traktoru. Díky této změně by se dosáhlo sjednocení rozměru na pouhé tři velikosti s ideálním násobkem. Druhem CTF navrženým pro stroje využitě při měření intenzity přejezdů by byl systém HalfTrac, díky kterému je možné použít více pracovních záběrů. Návrh tohoto systému je zobrazen na (Obrázek č. 30) a v praxi by byl využit tak, že tažený postřikovač a rozmetadlo minerálních hnojiv by využívaly linie

o pracovním záběru 24 metrů. Diskový podmítač, sklízecí mlátička a popřípadě kombinátor by využívaly linie o pracovním záběru 6 metrů a poslední linie o pracovním záběru 4 metry by byly využity při setí a kypření pomocí zaměněného radličkového kypřiče. Pro výpočet jednotlivých stop byly použity rozchody a šířky pneumatiky všech použitých strojů v této práci. Z vypočtených hodnot by při použití tohoto modelu HalfTrac v praxi neměla celková přejetá plocha uprostřed pozemku přesahovat hodnotu 38 %.



Obrázek č. 30 – Návrh systému CTF HalfTrac, zdroj: vlastní zpracování

Posledním návrhem ke zlepšení přesnosti všech pracovních operací je přechod k přesnějšímu korekčnímu signálu RTK. I když u obou satelitních navigací došlo u měření s pauzou k téměř zdvojnásobení hodnoty, průměrná odchylka u navigace využívající korekční signál SF1 nepřesáhla ani hodnotu průměrné odchylky signálu Egnos. I přes velice kvalitní přesnost neplaceného korekčního signálu SF1 navrhuji přechod na placený korekční signál RTK, který zaručí opakovatelnost pohybu strojů po vytvořených liniích výše navrženého systému CTF.

8 Diskuse výsledků

V zadání této bakalářské práce byla vyslovena hypotéza, jejíž znění je následovné: „Sběr dat a jejich využití má výrazný ekonomický potenciál v hospodaření na pozemcích“. Na základě výsledků zaznamenaných dat na pozemku 1 a 2 lze hypotézu označit za potvrzenou.

V dnešní době je možné pomocí zemědělských strojů získat data o každé provedené práci na pozemku a díky tomu je možno řídit další kroky při rozhodování o daném pozemku. V této práci byly uvedeny návrhy, jak tato data využít a zvýšit tak ekonomický potenciál pozemku. Prvním návrhem hloubkového kypření je snaha o odstranění utužené půdy v oblasti souvratě pozemků a zlepšení pronikání vody do půdy. Dle výzkumu (Brant, 2018) zabývajícího se vlivem hloubkového kypření na půdu můžeme jasně říct, že po hloubkovém prokypření půdy se značně zvýší infiltrační schopnost půdy a dojde k narušení utužených vrstev zeminy. Díky těmto efektům můžeme dosáhnout nárůstu homogenosti porostu v oblasti souvratě a zvýšením tak výnosu.

Dalším návrhem, který jasně potvrzuje tuto hypotézu, jsou optimalizace linií, podle kterých se pohybují zemědělské stroje po pozemku. Díky navržené optimálních linií bylo možné na pozemku 1 dosáhnout snížení nákladu na provoz o 2,5 % a na pozemku 2 o 0,5 %. Tyto hodnoty byly získané, přestože již používané linie byly téměř v optimálních směrech. Při použití těchto optimalizací na pozemku se značně větší členitostí hranic by hodnoty snižující náklady na provoz výrazně narostly a tento ekonomický potenciál týkající se sběru dat by byl o to větší. Dle výzkumu (Zhang, 2016) je možné optimalizací trajektorií dosáhnout poklesu ujeté vzdálenosti při otáčení stroje na souvratí až o 50 %.

Dále z dat získaných z pozemků 1 a 2, které byly po dobu sezóny 2021 obdělávány pomocí minimalizačního principu zpracování půdy, lze vidět, že přejetá plocha obou pozemků se pohybuje v rozmezí 60–70 %, což odpovídá výsledkům výzkumu (Kroulík, 2019). Přejetá plocha po uplatnění minimalizační technologie dosahovala hodnoty 65,2 %. Ke snížení takto intenzivně přejeté plochy byl v této práci také vypracován návrh na systém CTF využívající zemědělské stroje, které byly použity při sběru těchto dat. Z důvodu většího množství rozměrů pracovních záběrů těchto strojů byl vybrán model HalfTrac, který umožňuje tyto odlišné pracovní záběry použít.

Po vypočítání všech hodnot bylo zjištěno, že pomocí tohoto návrhu by plocha přejetá pneumatikami klesla na hodnotu 38 %, což je velice přívětivé číslo. Podobných závěrů bylo dosaženo i ve výzkumu (Kroulík,2019), kde před úpravou jízdy činila přejetá plocha hodnotu 63 %. Po zavedení dvou různých systémů CTF tato hodnota dosahovala 31 % u modelu AdTrac a 37 % u modelu TwinTrac.

Naměřené hodnoty přesnosti satelitních navigací v obou případech odpovídají hodnotám, které uvádí výrobci. Hodnoty průměrné odchylky u navigace Deutz-Fahr Agrosky při použití korekčního signálu Egnos se pohybovaly v rozmezí 15–35 cm a výrobce uvádí přesnost navigace 30–40 cm (Deutz-Fahr.cz, 2018). Hodnoty průměrné odchylky u satelitní navigace John Deere Starfire 6000 využívající korekční signál SF1 se pohybovaly v rozmezí 3–7 cm a výrobce uvádí přesnost 15 cm (John Deere.cz, 2017).

9 Závěr

V této bakalářské práci bylo provedeno měření intenzity přejezdu pozemku zemědělskými stroji. Měření probíhalo na soukromé farmě, kde byly vybrány dva vhodné pozemky ke sběru dat. Výměra obou pozemků se pohybovala kolem 10 hektarů a nejzásadnějším rozlišením byly jejich rozdílné tvary. Shromážděná data byla následně v kapitole 6 zpracována a pro každou zemědělskou operaci byla vytvořena mapa znázorňující pohyb stroje po pozemku. Následně byly pomocí rozměrů strojů pro každou tuto zemědělskou operaci vytvořeny otisky pneumatiky, ze kterých se na vybraných částech pozemku určila procentuální hodnota přejeté plochy. Následující vytvořené návrhy v kapitole 7 měly za úkol snížit zjištěnou hodnotu přejeté plochy a také již ztuhlé půdě navrátit její původní strukturu.

Všechny výsledky vypracovaných návrhů byly tématem diskuse v kapitole 8, kde byly potvrzeny porovnáním s výsledky jiných prací se zaměřením na stejnou problematiku. V této kapitole byla také potvrzena hypotéza vyslovená v zadání této práce. Lze tak konstatovat, že sběr dat a jeho následné využití má výrazný ekonomický potenciál pro hospodaření na pozemcích.

V kapitole 6 bylo také vyhodnoceno vedlejší měření, které mělo za úkol zjistit reálnou přesnost použitých satelitních navigací a ověřit tak hodnoty udávané prodejci. Obě satelitní navigace používají odlišný neplacený korekční signál a měření ukázalo, že i když se přesnost obou těchto satelitních navigací od sebe výrazně lišila, hodnoty se pohybovaly v mezích určených od výrobce. Pro toto měření byl také vytvořen návrh, jehož doporučením je přechod na korekční signál RTK, díky kterému by bylo možné lépe využívat již dříve navržené postupy opatření a také přidat do již zavedeného způsobu hospodaření více prvků precizního zemědělství.

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Pohyb zemědělských strojů po pozemku o rozloze 1 ha během jedné sezóny, zdroj: (Kroulík, 2019).....	12
Obrázek č. 2 – Délky pracovních a nepracovních jízd stanovené pro jednotlivé azimuty trajektorií pro hodnocený pozemek, zdroj: (Kroulík, 2019).....	17
Obrázek č. 3 – Pásové střídání plodin, zdroj: https://agronavigator.cz/aktualita/video-pasove-stridani-plodin	18
Obrázek č. 4 – Schéma CTF systém ComTrac, zdroj: (Kroulík,2019)	19
Obrázek č. 5 – Schéma CTF systému TwinTrac, zdroj: (Kroulík,2019).....	20
Obrázek č. 6 – Schéma CTF, systém Adtrac, zdroj: (Kroulí, 2019).....	20
Obrázek č. 7 – Schéma CTF, systém HalfTrac, zdroj: (Kroulík, 2019).....	22
Obrázek č. 8 – Schéma CTF, systém OutTrac, zdroj: (Kroulík, 2019)	22
Obrázek č. 9 – Nosič nářadí od firmy NEXAT, zdroj: https://www.nexat.de/en/media-library/	23
Obrázek č. 10 – Hranice pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	27
Obrázek č. 11 – Trajektorie pohybu traktoru a diskového podmičáče při práci na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	28
Obrázek č. 12 – Trajektorie pohybu traktoru a radličkového kypřiče na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	28
Obrázek č. 13 - Trajektorie pohybu traktoru při aplikaci minerálního hnojiva na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	29
Obrázek č. 14 – Trajektorie pohybu traktoru a secího stroje na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	30

Obrázek č. 15 – Trajektorie všech jízd traktoru a postřikovače na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	30
Obrázek č. 16 – Trajektorie všech zaznamenaných prací provedených na pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	31
Obrázek č. 17 – Plocha středu pozemku 1 přejetá pneumatikami po dobu jedné sezóny, zdroj: vlastní zpracování	32
Obrázek č. 18 – Výřez souvratě pozemku s vyznačenými pneumatikami všech přejezdů po dobu jedné sezony, zdroj: vlastní zpracování	33
Obrázek č. 19 – Vybraný pozemek 2, zdroj: vlastní zpracování	34
Obrázek č. 20 – Trajektorie pohybu traktoru a diskového podmítače po pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování	35
Obrázek č. 21 – Trajektorie pohybu traktoru a radličkového kypřiče při práci na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování	35
Obrázek č. 22 – Trajektorie traktoru při aplikaci minerálních hnojiv na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování	36
Obrázek č. 23 – Trajektorie traktoru a secí kombinace při práci na pozemku, zdroj: vlastní zpracování	36
Obrázek č. 24 – Trajektorie práce traktoru při válení pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování	37
Obrázek č. 25 – Trajektorie práce traktoru při aplikaci 28. 4. 2021 a 8. 6. 2021 na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování	37
Obrázek č. 26 – Trajektorie všech provedených prací na pozemku 2 v sezóně 2021, zdroj: vlastní zpracování	38
Obrázek č. 27 – Výřez ze středu pozemku 2 ukazující intenzitu přejetí, zdroj: vlastní zpracování	39

Obrázek č. 28 – Výřez souvratě pozemku 2 s vyznačenými pneumatikami všech přejezdů v sezóně 2021, zdroj: vlastní zpracování	40
Obrázek č. 29 – Výřez pozemku 2 okolo sloupů vysokého napětí, zdroj: vlastní zpracování	41
Obrázek č. 30 – Návrh systému CTF HalfTrac, zdroj: vlastní zpracování.....	45

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Hodnoty intenzity přejetí středu pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování	32
Tabulka č. 2 – Hodnoty intenzity přejetí souvrati pozemku 1, zdroj: vlastní zpracování ...	33
Tabulka č. 3 – Hodnoty intenzity přejetí středu pozemku, zdroj: vlastní zpracování	39
Tabulka č. 4 – Hodnoty intenzity přejetí souvratě pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování...	40
Tabulka č. 5 – Hodnoty intenzity přejetí výřezu plochy okolo sloupů vysokého napětí na pozemku 2, zdroj: vlastní zpracování	41
Tabulka č. 6 – Výsledky měření přesnosti satelitní navigace Agrosky a korekčního signálu EGNOS, zdroj: vlastní zpracování.....	42
Tabulka č. 7 – Výsledky měření přesnosti navigace Starfire 6000 a korekčního signálu SF1, zdroj: vlastní zpracování	43

Seznam použitých zdrojů

BATEY, T., 2009. Soil compaction and soil management. *Soil Use and Management*. **25**(4), 335–345. ISSN 02660032. Dostupné z: doi:10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x

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

BRANT, Václav a Petr ZÁBRANSKÝ, 2018. Hloubkové kypření. *Centrum precizního zemědělství* [online]. 16. 4. 2018 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://cpz.czu.cz/cs/r-12241-aktuality/hloubkove-kypreni.html>

BRENNENSTHUL, Marek a David CHOLENSKÝ, 2015. Charakteristika pneumatiky pro zemědělství. *Agrojournal* [online]. 10. 3. 2015 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.agrojournal.cz/clanky/charakteristika-pneumatiky-pro-zemedelstvi-38>

BULGAKOV, Volodimir, Valeriy ADAMCHUK, Volodymyr KUVACHOV a Semjons IVANOV, 2017. *Investigation of technological properties of wide span tractors for controlled traffic farming*. 2017-05-24, -. Dostupné z: doi:10.22616/ERDev2017.16.N060

Deutz-Fahr, 2018. *Deutz-Fahr* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.deutzfahr.cz/precizni-zemedelstvi/gps-navadeni/agrosky/>

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

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

John Deere, 2017. *Strom Praha* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.strompraha.cz/zemedelska-technika/ams-precizni-zemedelstvi/prijimace-a-displeje-1/prijimace-a-displeje>

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

MISTR, Martin a Zbyněk JANOUŠEK, 2021. *Vrstevnicové obdělávání a pásové střídání plodin jako účinná protierozní opatření* [online]. 12.01.2021 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.ctpz.cz/vyzkum/vrstevnicove-obdelavani-a-pasove-stridani-plodin-jako-ucinna-protierozni-opatreni-1136>

Nexat.de, 2022. *NEXAT* [online]. 2022 [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.nexat.de/en/the-system/>

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

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

VERMEULEN, G. D., J. N. TULLBERG a W. C. T. CHAMEN, 2010. Controlled Traffic Farming. *Soil Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010-11-11, 101-120. *Soil Biology*. ISBN 978-3-642-03680-4. Dostupné z: doi: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.